

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

**Estudo Comparativo entre Métodos de Perda de Água e Parâmetros
Hidráulicos – Análise do Ciclo de Vida e Aplicação em rede do Sul de Minas
Gerais**

Ana Cláudia da Silva

ITAJUBÁ
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Ana Cláudia da Silva

**Estudo Comparativo entre Métodos de Perda de Água e Parâmetros
Hidráulicos – Análise do Ciclo de Vida e Aplicação em rede do Sul de Minas
Gerais**

Projeto de pesquisa apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Itajubá, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva

ITAJUBÁ

2019

DEDICATÓRIA

Aos meus familiares e amigos, presentes em todos os momentos de minha vida, aos colegas de trabalho pelo suporte e exemplo em busca de soluções por um mundo melhor.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Ana e Amauri, que me deram suporte e estrutura para finalizar o trabalho, a meu irmão Fernando e ao Pedro pela ajuda psicológica nos estudos, nos perrengues, nas alegrias e pela parceria e paciência de sempre. Agradeço também os amigos que sempre estiveram na torcida e que me deram suporte nos momentos que precisei.

À UNIFEI, seu corpo, direção, administração e funcionários que fizeram possível esta oportunidade de crescimento profissional e pessoal.

Ao professor e orientador Dr. Fernando das Graças Braga da Silva, pela confiança e pelo empenho em atender e buscar soluções para os novos desafios.

Aos meus parceiros de trabalho Luane Silva, Alex Takeo e Matheus Siqueira que sempre se mostraram dispostos e alegres para resolver todos os problemas.

Agradeço ao Projeto REDECOPE Finep – MCT (Ref. 0983/10) Ministério da Ciência e Tecnologia intitulado “Desenvolvimento de tecnologias eficientes para a gestão hidro energética em sistemas de abastecimento de água” e Programa Pesquisador Mineiro da FAPEMIG pelo PPM - 00755-16 além de ser grato ao NUMMARH- Núcleo de Modelagem em Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos da UNIFEI.

À CAPES pelas bolsas de estudos concedidas, número 1756031, durante o período do mestrado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de alguma maneira para a realização deste trabalho.

RESUMO

Em momentos de baixas vazões inerentes ciclo hidrológico leva a população a enfrentar problemas com a escassez dos recursos hídricos, assim, torna-se necessária ações preventivas para otimizar seu uso, reduzindo perdas e alcançando a sustentabilidade. As perdas decorrentes das redes de distribuição são uma consequência da qualidade e idade das tubulações, bem como do mau planejamento no crescimento dessas redes e muitas vezes a falta de manutenção de forma correta. Entre os métodos utilizados nesse trabalho estão o método mínimo noturno, balanço hídrico, e Jowitt e Xu. É possível através destes, a identificação dos pontos críticos de perdas físicas na rede de distribuição. Existem inúmeros estudos sobre as perdas nas redes de distribuição, entretanto poucos analisam e destacam os impactos ambientais causados por essas perdas. A análise do ciclo de vida (ACV) define e avalia esses impactos. Este presente estudo tem por objetivo identificar as perdas físicas em um sistema de distribuição de água, em uma cidade do Sul de Minas e avaliar os impactos resultantes através do ciclo de vida. Identificou-se as emissões de CO_{2eq} na atmosfera, os impactos ambientais e humanos envolvidos nas perdas de água.

Palavras Chave: Perdas na rede de distribuição. Análise do ciclo de vida (ACV). Impactos ambientais.

ABSTRACT

In times of scarcity, especially due to climate, when there are little rain falls, leads the population to face problems with the scarcity of water resources, thus, it becomes necessary to direct preventive actions that can optimize its use, reducing losses and achieving sustainability. Losses from distribution networks are a consequence of the quality and age of pipelines, as well as poor planning in the growth of these networks and often the lack of proper maintenance. Among the methods used in this work are the minimum night flow method, water balance, and Jowitt and Xu. It is possible through these, the identification of the critical points of physical losses in the distribution network. There are many studies related to losses in distribution networks, however only a few analyze and highlight the environmental impacts caused by these losses. Life-cycle analysis (LCA) defines and assesses these impacts. This study aims to identify the real losses in a water distribution system in a city in the South of Minas Gerais and to evaluate the resulting impacts throughout the life cycle. CO₂eq emissions in the atmosphere, the environmental and human impacts involved in water losses were identified.

Key Words: Losses in the distribution's networks. Life Cycle Analysis (LCA). Environmental impacts.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Problemática dos Recursos Hídricos.....	17
Figura 2 - Balanço Hídrico proposto pela IWA.....	20
Figura 3- Sequência Metodológica	34
Figura 4 - Fluxograma do Setor Estudado	36
Figura 5 - Zonas de Pressão	39
Figura 6 - Interface WESTWeb	43
Figura 7 - Distâncias das fases do setor em estudo.....	44
Figura 8 - Reservatórios de distribuição	45
Figura 9 - Carga de Geração de Energia.....	46
Figura 10 - Porcentagem das Fontes de Energia.....	46
Figura 11- Vazões Monitoradas.....	49
Figura 12 Infraestrutura	57
Figura 13 - Eletricidade	59
Figura 14 - Perdas x Emissões na Atmosfera	60
Figura 15 - Representatividade dos fatores nas emissões.....	62
Figura 16- Contribuição relativa de cada etapa para os resultados.....	63
Figura 17 - Resultante das Tubulações	66
Figura 18 - Redução de proporcional de perdas e energia.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Índice de perdas na distribuição de água dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2016.	16
Tabela 2 -Variação do coeficiente N1 em relação ao tipo de tubulação.....	22
Tabela 3 - Balanço Hídrico	38
Tabela 4 - Consumo de insumos (kg/m ³).....	48
Tabela 5 - Média da Vazão Noturna	50
Tabela 6 - Média das Vazões Diárias	50
Tabela 7 - Médias das Pressões (mca).....	51
Tabela 8 - Perdas MMN.....	51
Tabela 9 - Valores de C1 e N1.....	53
Tabela 10 - Perdas no Sistema.....	53
Tabela 11 - Perdas em m ³ /ano	54
Tabela 12- Resultado da análise do Ciclo de Vida	55
Tabela 13 - Cenários após redução de perdas.....	65
Tabela 14 - Reduções Aleatórias	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Análise do Ciclo de Vida
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ANA	Agência Nacional de Águas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CO	Cobalto
CO ₂	Gás Carbônico/ Dióxido de Carbono
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
EPANET	Simulador Hidráulico - <i>Environmental Protection Agency Software</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FND	Fator Noite/Dia
Fofo	Ferro fundido
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IWA	<i>International Water Association</i> (Associação Internacional de Água)
MG	Minas Gerais
MMN	Método do Mínimo Noturno (Vazões Mínimas Noturnas)
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
NH ₄	Amônia
NH ₃	Amoníaco
N ₂ O	Óxido Nitroso
NUMMARH	Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PVC	Cloreto de Polivinila
REDECOPE	Rede Cooperativa de Pesquisas
SAAE	Sistema Autônomo de Água e Esgoto
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFMS	Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
UFMT	Universidade Federal do Mato Grosso
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
WEST	Water Energy Sustainability Tool
WESTWeb	Water Energy Sustainability Tool – Web

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C1	Variável de decisão
L	Comprimento da tubulação
l	Comprimento do trecho da rede
N1	Variável de decisão
P	Pressão
Pi24h	Pressão horária ao longo de 24h
Pmn	Pressão no horário de mínimo noturno
Q	Vazão
Ql	Vazão legítima de consumo noturno
Qmn	Vazão mínima noturna
Qperdas	Vazão de perdas reais

SUMÁRIO

1	Introdução	13
2	Objetivos	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivo Específicos.....	15
3	Revisão Bibliográfica	16
3.1	Perdas na Rede de Distribuição.....	16
3.2	Metodologias para determinação de perdas de água.....	18
3.2.1	Balanco hídrico.....	18
3.2.2	Método das Vazões Mínimas Noturnas (MMN)	21
3.2.3	Metodologias de relação de coeficientes e expoentes de vazamentos e pressões	23
3.3	Gestão de Pressão e Setorização da rede	24
3.4	Análise do Ciclo de Vida.....	26
3.5	Perdas de água, energia e Efeitos Ambientais.....	31
4	Materiais e Métodos.....	34
4.1	Caracterização da Área de Estudo	35
4.2	Determinação e Análise das Perdas Reais	36
4.2.1	Cálculo do Método dos Mínimos Noturnos	36
4.2.2	Cálculo do Método do Balanço Hídrico	37
4.2.3	Cálculo do Método de Jowitt e Xu.....	38
4.3	Cálculo do Ciclo de Vida – Software Water Energy Sustainable Tool.....	40
4.3.1	Base de Cálculos do WESTWeb	41
4.3.1.1	Infraestrutura	41
4.3.1.2	Operações.....	41
4.3.2	Parâmetros para Modelagem.....	42
4.3.3	Produção Anual.....	42
4.3.4	Infraestrutura.....	43
4.3.5	Operação.....	45
4.3.6	Análise.....	48
5	Resultados e Discussões	49
5.1	Vazão de entrada no Sistema	49
5.2	Vazão mínima noturna	50
5.3	Método de Jowwit e Xu	52
5.4	Análises do Ciclo de Vida	54

5.4.1	Análise de sensibilidade	56
5.4.1.1	Produtos químicos	56
5.4.1.2	Infraestruturas	56
5.4.1.3	Eletricidade	58
5.5	Relação volumétrica das Perdas x Emissões	60
5.6	Proporção de emissões	61
5.7	Impactos na Mudança Climática, Uso da água e Poluição da água	62
5.8	Cenários Futuros.....	63
5.8.1	Redução proporcional de perdas na distribuição e de energia.....	64
5.8.2	Redução aleatória de perdas e de energia.....	67
6	Conclusão.....	70
7	Recomendações para novas pesquisas	72
8	Referências.....	73

1 INTRODUÇÃO

Em momentos de baixas vazões inerentes ao ciclo hidrológico, populações enfrentam problemas com a escassez dos recursos hídricos, o que moveu uma atenção maior para a necessidade de práticas de conservação e melhor aproveitamento de um recurso natural que é finito, a água.

A distribuição de água ocorre por meio das redes enterradas ao longo da via pública para abastecimento da população. Muitas das tubulações que compõem essa rede de distribuição são antigas e não passam por muitas reformas ou substituições, devido à dificuldade de acesso e pelo alto custo de substituição. As perdas decorrentes das redes de distribuição são uma consequência da qualidade e idade das tubulações, bem como do mau planejamento no crescimento dessas redes.

Como a população tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, a busca por água potável provinda das concessionárias também aumentou. Para suprir a demanda dos consumidores finais, as redes de distribuição são inseridas em redes já existentes de forma desordenada. A fim de evitar problemas na entrega final da água, muitas concessionárias aumentam significativamente a pressão das redes, essa pressão ajuda a suprir os consumidores finais, porém também diminui a vida útil das tubulações e causam quebras nas peças, consequentemente aumentam-se as perdas existentes na tubulação.

As perdas decorrentes de concessionárias, caracterizam-se por ineficiências técnicas, e é um tema bem atual devido aos problemas de escassez, ao alto custo dos insumos, como energia e produtos. Tais perdas, não só prejudicam a saúde financeira das concessionárias, como também desperdiçam recursos naturais e operacionais.

No Brasil, aproximadamente 38% da água tratada são perdidas durante o processo de distribuição, que podem ser caracterizadas por perdas reais e perdas aparentes. As perdas reais são as perdas que ocorrem durante a distribuição de água seja ela por tubulações quebradas, por vazamentos nas peças, por extravasamento de reservatórios. Já as perdas aparentes são perdas que não são computadas pela concessionária, podem ocorrer por medidores imprecisos, por consumos não autorizados. (SNIS, 2016)

Localizar as perdas na rede de distribuição nem sempre é uma tarefa fácil, muitos vazamentos existentes não são visíveis, sendo necessária a utilização de equipamentos sonoros para localizá-los. A diminuição da pressão injetada na rede também é um meio de conter perdas, pois com uma pressão menor os vazamentos diminuem, e a vida útil da tubulação aumenta.

A diminuição das perdas de água não só economiza o recurso natural, mas também energia, visto que a água que está sendo perdida precisou de energia para ser tratada e distribuída. Segundo SNIS (2016) o alto consumo de energia nas redes de distribuição contribui significativamente pelo aumento dos impactos ambientais mundiais.

Dessa forma, este estudo visa a correlacionar às perdas de água existentes, com a energia desperdiçada, dentro do sistema de abastecimento, diagnosticando os impactos gerados ao meio ambiente. Trata-se de uma análise das perdas na distribuição por diversos métodos de determinação de perdas reais junto a uma avaliação do ciclo de vida. A aplicação foi feita para uma rede real do sul de Minas Gerais.

O projeto está associado à REDECOPE FINEP – Fundo de Financiamento de Estudos de Projetos e Programas, uma agência brasileira de inovações que engloba seis universidades no país: UNIFEI, UFMG, UFMS, UFMT, UFPA e UFRGS.

Durante as pesquisas realizadas para fomentação teórica deste trabalho, não foram encontrados trabalhos e/ou estudos com enfoque específico na análise do ciclo de vida para as perdas na rede de distribuição. Deste modo este trabalho visa colaborar com essa área em específico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O Objetivo geral deste trabalho é analisar as perdas de água existentes na rede de distribuição, por diversos métodos de determinação de perdas reais, avaliando quais os impactos ambientais (emissões de CO₂), resultantes do processo de perdas na rede, a partir de uma análise do ciclo de vida.

2.2 Objetivo Específicos

- Estimar perdas reais de água na rede de distribuição em estudo a partir de diferentes métodos.
- Analisar as emissões de CO₂ através do ciclo de vida do sistema de distribuição de água;
- Comparar qualitativamente a correlação das perdas físicas e ambientais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Perdas na Rede de Distribuição

A escassez de água é um dos principais problemas enfrentados por sociedades e pelo mundo no século XXI. Aproximadamente 1,2 bilhões de pessoas vivem em áreas afetadas pela escassez ou estão próximas de enfrentarem esse problema. (SENANTE; ARCE; GARRIDO, 2016). A água é um recurso estratégico para a humanidade, ela mantém a vida do planeta e impulsiona o desenvolvimento econômico, sociocultural e ecológico. Por essa razão, tem sido uma preocupação comum entre gestores à importância da conservação da água, principalmente para as companhias de água, que necessitam de uma melhor eficiência no sistema de distribuição. A Tabela 1 demonstra o índice de perdas do sistema de abastecimento (SNIS, 2016).

Tabela 1-Índice de perdas na distribuição de água dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2016.

Região	Total (%)
Norte	47,3
Nordeste	46,3
Sul	34,7
Sudeste	36,3
Centro Oeste	35,0
Brasil	38,1

Fonte: adaptado de SNIS, 2016.

O crescimento populacional tem sido desafiador para as concessionárias, visto que a população urbana tem aumentando mais rápido que as redes domésticas de distribuição. Assim, garantir o acesso à água potável significa um aumento súbito na pressão das tubulações. Entretanto, ao mesmo tempo uma grande quantidade de água acaba sendo perdida na rede, devido ao aumento de pressão. A figura 1 representa a problemática gerenciamento dos recursos hídricos.

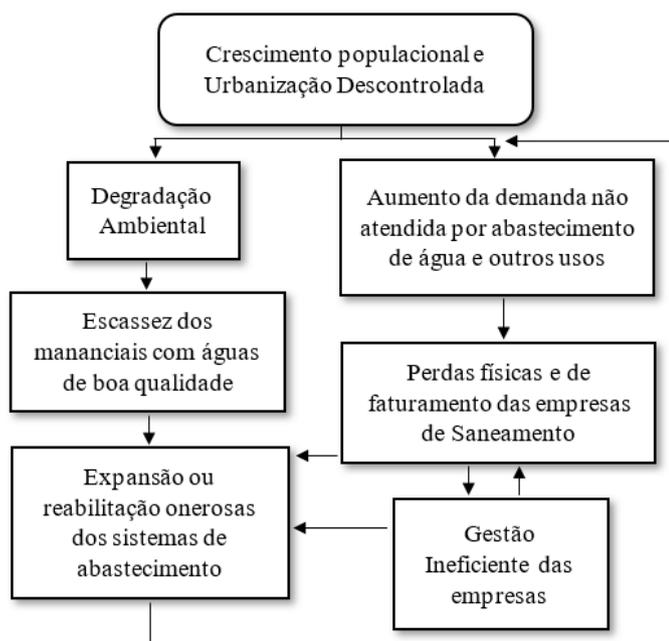


Figura 1 - Problemática dos Recursos Hídricos.
Fonte: Venturini (2013)

Perdas excessivas podem causar em contaminação por intrusão devido à baixa pressão ou até mesmo pressão negativa o que podem resultar em incidentes nocivos ou graves para a qualidade da água.(MULTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2013; ALKASSEH et al., 2013)

Segundo a Norma Técnica NBR nº 12.218/2017, da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 kPa, e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPa. Porém, valores fora dessa faixa podem ser aceitos desde que sejam justificados os motivos técnicos e econômicos.

As leis restringem a pressão mínima de operação das redes a fim de evitar problemas de retorno, contaminação por intrusão e carga de incêndio insuficiente. Apesar de existir um limite máximo de pressão estipulado (PORTO, 2006) as concessionárias injetam uma alta pressão no sistema para suprir as demandas dos consumidores, o que acaba contribuindo para maiores danos na rede por quebras e diminuição da vida útil das tubulações. (STOKES; HORVATH; STURM, 2013)

Teoricamente as perdas de água na rede de distribuição ocorrem quando a resistência das tubulações não suporta a pressão da água, de modo que a infraestrutura começa a quebrar e/ou deteriorar. (XU et al., 2014b) As perdas de água ao redor do mundo ocorrem tanto em países desenvolvidos, quanto em países em desenvolvimento. (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008)

Perdas no sistema de distribuição podem ser classificadas em dois tipos: as reais e as aparentes.

A “perda de água física” ou “real”, quando o volume de água disponibilizado no sistema de distribuição pelas operadoras de água não é utilizado pelos clientes, sendo desperdiçado antes de chegar às unidades de consumo, e a “perda de água comercial” ou “aparente” quando o volume utilizado não é devidamente computado nas unidades de consumo, sendo cobrado de forma inadequada. (ABES, 2013)

Segundo Stokes, Horvath e Sturm (2013), a sociedade americana de engenheiros civis estimou que aproximadamente 7 bilhões de litros de água tratada estão sendo perdidas diariamente durante o processo de distribuição de água nos Estados Unidos. O Comitê de Vigilância no Uso de Recursos de Água reforça as evidências de perdas ao longo do processo de distribuição, apresentando uma perda de água na Itália (aparente e real) aproximada em 20-65%, com uma média nacional de 42%. (FONTANA; GIUGNI; PORTOLANO, 2012).

Segundo diagnóstico do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) a média de perdas na distribuição de água do Brasil tem diminuído ao longo dos anos e situa-se no patamar de 38%. (SNIS, 2016)

3.2 Metodologias para determinação de perdas de água

Algumas das metodologias para determinação de perdas reais estão descritas nos tópicos a seguir.

3.2.1 Balanço hídrico

O perfil das perdas do sistema pode ser feito por meio do balanço hídrico. O balanço hídrico é caracterizado pela equação das entradas e saídas de água no sistema, ele mostra a diferença entre a quantidade de água que entrou no sistema para ser distribuída e a quantidade de água que está sendo efetivamente sendo utilizada pelos usuários.

Segundo Melato (2010) a avaliação de perdas de água em um sistema de abastecimento, ou parte dele, pode ser realizada através da metodologia de auditoria das águas, onde são identificados os volumes de água perdidos, com o objetivo de auxiliar as empresas de saneamento com dados e informações que ajudem na implantação de programas para reduzir as perdas, o balanço hídrico, também conhecido por método Top-Down, é um dos métodos mais utilizados para a avaliação das perdas de água.

Devido à grande diversidade das metodologias utilizadas mundialmente para o cálculo do balanço hídrico faz-se necessário a implantação de uma metodologia que fizesse uma abordagem padrão compondo as melhores práticas existentes para o cálculo do balanço hídrico, mediante a definição de todos os termos envolvidos. (VICENTINI, 2012). O balanço hídrico é padronizado pela “*International Water Association*” – IWA, através de um esquema, onde a água que entrou no sistema é dividida em consumo autorizado (faturado e não faturado) e perdas de água (aparentes e reais). (MAMADE et al., 2017)

Andrade (2016) realizou o estudo de um setor na cidade de Cambuí no sul de Minas Gerais onde foram avaliadas as perdas na rede de distribuição através do balanço hídrico proposto pela IWA. As perdas totais estimadas foram equivalentes a 28,42% do volume de entrada do sistema, enquanto que as perdas reais equivalem a 27,77 % do montante. Em sua análise foi observada que as perdas físicas são as maiores responsáveis pelas perdas de água no sistema de distribuição.

Para cálculo do balanço hídrico inicia-se com a quantidade de água que entra no sistema a ser estudado. Assim esse volume se divide em dois grandes grupos: os consumos que são autorizados e as perdas de água. Dentro do consumo autorizado faturado (medições feitas através de hidrômetros e consumos que são estimados) são os responsáveis pela composição da água que é faturada no sistema. Os consumos autorizados que não são faturados (utilização operacional, uso dos bombeiros, entre outros) juntamente com as perdas reais (proveniente de vazamentos) e as perdas aparentes (falhas de cadastro, fraudes, erros de macro e micromedição) compõem as parcelas de água que não são faturadas.

Esse esquema está detalhado na figura 2.

Água que entra no sistema (inclui água importada)	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido (inclui água exportada)	Água faturada
			Consumo faturado não medido (estimado)	
		Consumo autorizado não faturado	Consumo não faturado medido (uso próprio, caminhão pipa, entre outros)	Água não faturada
			Consumo não faturado não medido	
	Perdas de água	Perdas aparentes	Uso não autorizado (fraudes e falhas de cadastro)	
			Erros de medição (macro e micromedição)	
		Perdas Reais (Físicas)	Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios (de adução e/ou distribuição)	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes (de distribuição)	
Vazamentos nos ramais até o ponto de medição do cliente				

Figura 2 - Balanço Hídrico proposto pela IWA
Fonte: IWA (2004)

Fortes (2016) determinou as perdas existentes na rede de distribuição em estudo, pelo método do balanço hídrico, com os dados obtidos ao longo de campanhas de campo realizadas no local de estudo e por dados fornecidos pela concessionária. Os valores estimados para as perdas total e real do sistema estão em torno de 56 % e 55% respectivamente.

A metodologia utilizada por Fortes (2016) para determinação do balanço hídrico na rede em estudo é definida pela *International Water Association (IWA)* e reforçado por Alegre et al. (2005) e Cabrera et al (2010).

Dentre os componentes do balanço hídrico que foram determinados segundo a metodologia de IWA por Fortes (2016) para cálculo do Balanço Hídrico estão:

- Volume que entra no sistema;
- Águas Faturadas;
- Águas não faturadas;
- Consumos medidos faturados;
- Consumos medidos não faturados;
- Consumos não-medidos faturados;
- Consumos não-medidos não faturados;

- Consumos autorizados não faturados;
- Consumos autorizados;
- Consumos não autorizados;
- Imprecisão de medidores;
- Perdas aparentes;
- Perdas reais;
- Perdas de água;
- Vazamento na adutora de água bruta e nas estações de tratamento;
- Vazamento nas adutoras de água e perdas na rede de distribuição;
- Vazamentos e extravasamentos nos aquedutos e nos reservatórios de distribuição;
- Vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro;

3.2.2 Método das Vazões Mínimas Noturnas (MMN)

Para estimar a cota de perdas reais que ocorrem no sistema, a vazão mínima noturna (MMN) é um indicador de perdas na distribuição e consumo. A MMN mede a vazão dentro de um distrito de medição durante os períodos de menor consumo, que são, entre 1:00 e 4:00 da manhã. Nesse período é possível estimar as perdas que ocorrem no sistema de maneira mais exata, visto que a demanda utilizada é menor. (ALKASSEH et al., 2013)

Análise das vazões do distrito de medição permitem gerar uma estimativa de perdas, quando a vazão no sistema é mínima, sendo o período noturno de maior ocorrência, uma vez que a demanda é mínima, por consequência as perdas equivalem a maior porcentagem da vazão. As condições do sistema de distribuição, assim como os fatores influenciáveis na condição de demanda, podem ter efeitos significativos na análise dos mínimos noturnos. (ALKASSEH et al., 2013; BRANDT et al., 2016)

De acordo com Cheung et al. (2009), os vazamentos diários estimados poderiam ser obtidos por meio da multiplicação das vazões mínimas noturnas pelas 24 horas do dia. Porém, os vazamentos são sensíveis a pressão assim, é necessário a correção por um fator noite/dia (FND) a fim de evitar uma supervalorização dos volumes pedidos. A vazão de perdas reais é o resultado da multiplicação do FND pelas vazões mínimas subtraídas às vazões legítimas desta, como por exemplo, hospitais e indústrias durante a madrugada. A equação 1 representa essa relação.

$$Q_{perdas} = (Q_{mn} - Q_l) \times FND \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Q_{perdas} = Vazão de perdas reais (m³/dia);

Q_{mn} = Vazão mínima noturna (m³/h);

Q_l = Vazão legítima de consumo noturno (m³/h);

FND = Fator noite/dia (h/dia).

A determinação do FND se dá por meio do somatório de pressão ao longo do dia dividido pelas pressões durante o horário de consumo mínimo noturno, conforme apresentado na equação 2 a seguir.

$$FND = \sum \left(\frac{P_{i\ 24h}}{P_{mn}} \right)^{N1} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$P_{i\ 24h}$ = Pressões horárias ao longo de 24 h (mca);

P_{mn} = Pressão horário mínimo noturno (mca);

N1 = Fator adimensional, correlaciona pressão e vazamento variando de acordo com o tipo de material da tubulação.

Alguns experimentos têm determinado valores de N1 = 0,5 para tubulações metálicas e de 1,5-2,5 para tubulações plásticas.

Para Gonçalves e Lima (2007 apud ANDRADE, 2016) os valores de N1 podem variar de 0,5 até 1,5 dependendo do material das tubulações, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2 -Variação do coeficiente N1 em relação ao tipo de tubulação

N1	Características
0,5	Seção do tubo não se altera com vazamentos (ferro fundido e aço).
1,0	Avaliação simplificada (ex.: na redução de 1% na pressão do sistema, haverá redução de 1% no vazamento).
1,15	Condições gerais da rede de distribuição de água composta de diferentes materiais (ferro fundido, PVC, aço, PEAD, etc.).
1,5	Seção do tubo se altera com vazamentos (ex.: PEAD, PVC).

Fonte: Baseado em Gonçalves e Lima, 2007 APUD ANDRADE, 2016.

3.2.3 Metodologias de relação de coeficientes e expoentes de vazamentos e pressões

Para o controle de perdas no sistema, podem ser realizadas algumas ações dentre elas seria substituição dos equipamentos deteriorados, o que exigiria um custo alto de substituição. Já uma outra alternativa, seria o manejo adequado da pressão da água nos sistemas, visto que perdas de água estão positivamente relacionadas à pressão da água, assim redução na pressão resultaria em diminuição de perdas. (XU et al., 2014a). Quando existe um ponto de perda na tubulação ocorrem alterações na pressão e vazão desse local, de forma que essa perda pode ser identificada. (XU et al., 2014b)

Para consideração e controle desses pequenos vazamentos, aqueles que ocorrem nas junções e se distribuem ao longo de toda a rede de distribuição. Um modelo hidráulico os incorpora e identifica por meio da equação 3 (JOWITT e XU, 1990) apud Silva (2003).

$$L = C_1 \cdot l \cdot P^{N_1} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

L = Vazamento (l/s);

C_1 e N_1 = Variáveis de decisão;

l = Comprimento do trecho da rede (m);

P = Carga de pressão média no trecho considerado (mca).

Inúmeros estudos utilizam o modelo hidráulico de Jowitt e Xu (1990) para identificar e simular através de diferentes softwares pontos de perda de carga, identificando possíveis pontos de vazamentos na rede de distribuição e contribuindo para o controle de pressão. (PAGE; ABU-MAHFOUZ; YOYO, 2017)

Page, Abu-Mahfouz e Yoyo (2017) utilizaram do modelo hidráulico de Jowitt e Xu (1990) implementado por Araujo, Ramos e Coelho (2006) para analisar dois diferentes modelos de controladores, um controlador com parâmetros para regulação e outro sem parâmetro, dependente apenas da vazão. Em seu estudo foram testados diferentes controladores que em momentos se saíram melhores outros não.

Paola, Giugni e Portolano (2017) compararam métodos de otimização da rede de distribuição utilizando válvulas reguladoras, para evitar perdas na rede e diminuição da pressão excessiva. Foram realizados testes de simulação por softwares em diferentes redes, dentre elas a rede de distribuição de água de Jowitt e Xu (1990) que é uma literatura amplamente reconhecida e utilizada.

Santos (2016) utilizou de algoritmos para calibração dos coeficientes C_1 e N_1 em uma rede de São Lourenço (MG), utilizando o modelo hidráulico de Jowitt e Xu (1990) várias possibilidades de ajuste foram testadas no trabalho envolvendo as variáveis C_1 e N_1 , rugosidade e demanda aleatória. Desta forma ocorreu a calibração da rede e análise de vazamentos.

3.3 Gestão de Pressão e Setorização da rede

Vicente et al. (2016) expõem que a gestão da pressão injetada na rede é outra forma de evitar perdas. Particularmente a utilização de válvulas reguladoras de pressão reduzem valores excessivos de pressão na rede durante o dia, sendo uma prática comumente utilizada pelas companhias de distribuição.

Para Stokes, Horvath e Sturm, (2013) o primeiro passo na gestão da pressão é criar um distrito de medição, fechando ou instalando válvulas adicionais para isolar hidráulicamente as áreas. As vazões e demandas são monitoradas, assim as perdas reais podem ser observadas mais facilmente.

Sistemas de distribuição de água são infraestruturas chave das cidades por vários motivos econômicos e sociais. Esses sistemas são estruturas complexas devido a fatores como dimensão (milhares de tubulações), topografia, e equipamentos hidráulicos. Muitos estudos propõem, para simplificação de uma gestão complexa, a divisão do sistema em distritos por questões de monitoramento. (LAUCELLI et al., 2017)

Para Vicente et al. (2016) alguns fatores são importantes para a determinação da divisão dos distritos de medição: tamanho, área geográfica do local, comprimento das tubulações principais, número de conexões, topografia do local, tipos de consumidores, demanda uniforme e variável, qualidade da água dentre outros.

Os distritos de medição não podem ser muito grandes, assim é possível que eles mantenham a variação de consumo em um nível tolerável para monitoramentos. Acredita-se que um tamanho apropriado seria a inserção de não mais do que 5 mil habitantes ou 15 km de rede. (ALKASSEH et al., 2013)

Laucelli et al (2017) propõem que a divisão da rede de distribuição de água em distritos é um trabalho de dois passos. Primeiramente são criados cenários das “divisões conceituais” em módulos. Divisões conceituais são os locais que serão segmentados o sistema sem contabilizar os dispositivos que vão ser instalados. O segundo passo é a decisão de onde serão instalados os medidores e válvulas para contabilizar as perdas.

Nesse ponto deve ser levada em consideração a demanda e a vazão necessária de cada segmento, para não comprometer o abastecimento dos consumidores finais.

A escolha da melhor divisão de cada rede é muito individual de cada sistema, impossibilitando a generalização, porém, usualmente são levadas em considerações três características existentes no sistema. Primeiro, a estrutura da distribuição (topografia e características hidráulicas), segundo os propósitos técnicos específicos (monitoramento de consumo, perdas, vazões) e por último, parâmetros técnicos relativos ao orçamento disponível, dispositivos já existentes na rede, custo operacional.

Vários estudos e experimentos tem provado que a divisão de áreas em distrito de medições traz inúmeras vantagens na gestão de distribuição de água. Medições das vazões de entrada e saída dos distritos proporcionam uma avaliação simplificada do balanço de água, melhora a redução de perdas e a qualidade da água. As áreas de medição são mais efetivas quando implementadas junto a outras medidas de gestão de pressão, por exemplo, instalação de válvulas de redução de pressão.

Uma zona de gestão de pressão nada mais é que um distrito de medição com válvulas de redução de pressão instaladas na entrada da rede, assim a pressão é limitada e controlada por uma variação na frequência de bombeamento.

O controle efetivo de pressão durante o dia assegura uma pressão constante e suficiente para os consumidores, conseqüentemente, vazamentos e quebras na tubulação no período da noite são evitados. O controle de pressão pode envolver um grande número de atividades com diferentes tipos de equipamentos de regulação de pressão, por exemplo, controle por bombas, regulação por reservatórios, válvulas de redução entre outros.

É importante destacar os benefícios provindos de um controle eficiente de pressão, sendo o objetivo principal a redução de vazamentos, essa importância vem sendo destacada em diversos estudos. (MULTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2013; THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008). Além disso, desenvolvimentos tecnológicos e científicos, levam ao surgimento de técnicas inovadoras que melhoram os processos de utilização de válvulas reguladoras de pressão para uma melhor gestão de pressão. As áreas de medidores de pressão têm experimentado várias mudanças, dentre elas a otimização dos modelos com novas abordagens para a introdução da gestão da pressão de maneira mais prática. (VICENTE et al., 2016)

As válvulas de redução de pressão podem ser controladas por meio de controles hidráulicos com válvulas piloto ou através de controles eletrônicos. Válvulas operadas por controles hidráulicos são as mais tradicionais e mais usadas pelas concessionárias.

Uma válvula piloto controla a pressão de toda a ramificação de sua área, independente da demanda existente, para alterações é necessário ajuste manual na válvula piloto. Também é possível o ajuste baseado no tempo, assim existiriam duas pressões por dia, no período diurno e noturno, porém são necessárias duas válvulas piloto, um solenoide e um controlador de tempo simples.

O controle da pressão através de controles eletrônicos funciona através de programação que podem ser baseadas no tempo, na vazão ou na setorização dos nós.

A redução da pressão na rede deve ser previamente estudada a fim de buscar a melhor solução para cada demanda existente, pois reduzir pressão não só reduz o consumo de água, como também leva a uma eficiência energética reduzindo o gasto de energia, perdas na rede e diminuição nas quebras das tubulações. Entretanto o sistema deve ser capaz de suprir todas as demandas existentes inclusive à carga de incêndio em ocasiões extraordinárias. (GHORBANIAN; KARNEY; GUO, 2016)

Para Senante, Arce e Garrido (2016) um ponto importante na estratégia de controle de perdas é estimar uma cota de economia de perdas, ou seja, quando o custo para redução de perdas seja equivalente aos custos dos benefícios gerados pela economia gerada.

3.4 Análise do Ciclo de Vida

A análise do ciclo de vida é um método estabelecido e padronizado para estimar e reduzir os impactos ambientais associados com todas as fases de vida de um produto, processo ou serviço. Iniciando pela extração do material, passando pela manufatura e uso e finalizando na disposição final ou reciclagem. Essa análise “*cradle to grave*” identifica os maiores impactos relativos as entradas e saídas do sistema, sinaliza quaisquer riscos e as possibilidades de melhorias. (RACOVICIANU et al., 2007; BUCKLEY; FRIEDRICH; BLOTTNITZ, 2011)

O escopo de análise inclui a extração e processamento da matéria prima, manufatura, transporte e distribuição, uso/reuso/manutenção, reciclagem e disposição final. Desta forma o ACV quantifica as entradas e saídas de todas as fases. Com base nisso, permite o cálculo de pontuações ambientais para categorias de impacto definidas (aquecimento global, destruição do ozônio, acidificação, entre outras.)

Nos últimos anos, estudos relacionados a avaliação do ciclo de vida (ACV) em sistemas de distribuição de água têm aumentado. A utilização do ACV se dá pela sua capacidade de identificar “trade-offs” através de uma ampla gama de situações ambientais

e tecnológicas. Estudos do ciclo de vida em todo o sistema são capazes de identificar os impactos ambientais associados aos sistemas de distribuição de água, e quais os principais componentes responsáveis por esses impactos. (LANE; HAAS; KANT, 2015)

A análise do ciclo de vida vem sendo aplicada em pesquisas recentes sobre o sistema de abastecimento de água e no tratamento de água residuais. O ciclo de vida da água em uma rede de tratamento e distribuição inicia-se com a extração de rios, lagos, aquíferos ou oceanos. O tratamento mais simples consiste na remoção de microrganismos e sólidos suspensos, quando a água é provinda de rios e lagos. Os casos de tratamentos mais avançados removem partículas e compostos orgânicos para garantir uma boa qualidade da água. (PLAPPALLY et. al, 2012)

No inventário ACV são usualmente analisadas algumas literaturas para que se encontrem valores onde os impactos possam ser expressados, assim como o consumo de energia, combustíveis e consumo de água. Na avaliação do impacto normalmente são apresentadas as mudanças climáticas, como eutrofização, estimativas de impacto através do consumo, resultando em uma avaliação de possíveis contribuições para o cenário estudado. (SIQUEIRA et. al, 2018)

Stokes e Horvath (2009) estudaram as opções de abastecimento de água na Califórnia através de uma avaliação híbrida do ciclo de vida, com isso concluíram que para abastecer os locais que sofrem com a seca, água reciclada é uma escolha mais sensata que a dessalinização e comparável a importação. Quando utilizado água importada para o abastecimento necessário a demanda existente de 326m³ anuais, utiliza-se 5,8 GJ de energia o que gera uma pegada de carbono de 360 kg de CO₂ equivalente. Com a dessalinização o uso de energia passa a ser de 800 GJ e as emissões de carbono equivalente 800 kg de CO₂.

Xu et al. (2014a) realizaram a análise do ciclo de vida sobre o uso de água importada para abastecimento em Beijing. Seu estudo foi realizado em um distrito fechado de rede, onde era possível medir e controlar a pressão de entrada do sistema, bem como a vazão. A vazão e a pressão de entrada eram medidas automaticamente de 15 em 15 minutos e posteriormente eram feitas análises, para avaliar o comportamento da rede, após os ajustes de pressão. Foram estimadas a economia de energia e a redução de emissões de CO₂ equivalentes, associadas à diminuição da pressão no sistema de abastecimento. No estudo citado, com a redução dos níveis de pressão ajustados, 62.633 m³ de água foram economizadas, o que correspondem a 1,1 x 10⁶ MJ de energia e 68t de emissões equivalentes de CO₂ na atmosfera. (XU et al., 2014a)

Xu et al. (2014a) destacou que para uma implementação prática de seu estudo maiores estudos são necessários e que o consumo de energia e emissões equivalentes de CO² devem ser analisados com base no ciclo de vida de um sistema piloto. Outros fatores também devem ser avaliados considerando o novo cenário de redução de pressão, bem como o impacto nos sistemas de aquecimento, o maior acúmulo de minerais nas tubulações devido a menor velocidade da água, porém esses fatores não foram incluídos em seu estudo.

Stokes, Horvath e Sturm (2013) utilizaram o WESTWeb para a análise do ciclo de vida de duas unidades públicas com zonas de pressão monitoradas, a *Philadelphia Water Department* (Pensilvânia) e a *Halifax Regional Water Commission* (Nova Escócia), para comparar os efeitos ambientais antes e depois da implementação do gerenciamento de pressão, comparando o volume de perdas, a energia consumida, os produtos químicos utilizados e os equipamentos utilizados para funcionamento do sistema.

Segundo Stokes, Horvath e Sturm (2013) a implementação de uma única zona de monitoramento de pressão, acarreta em uma mudança pequena nas emissões do ciclo de vida das concessionárias. As emissões de gases de efeito estufa salvos pela implementação do monitoramento de pressão, são equivalentes a retirada de 10 e 15 carros da estrada por um ano, na Filadélfia e em Halifax respectivamente. Já a energia economizada é compatível com a energia consumida por 19 casas por ano.

Comparando o volume unitário e os resultados anuais, foi observado que Halifax possui impactos ambientais mais expressivos quando comparados a Philadelphia, isso se dá pelo fato de que Halifax produz maior quantidade de água e possui uma perda de água maior, também utiliza mais do que o dobro de eletricidade para bombear e tratar a água, 942 KWh comparados com 378 KWh por milhão de litros. (STOKES, HORVATH, STURM, 2013)

Stokes, Horvath e Sturm (2013) concluíram que, o efeito do uso de produtos químicos para o tratamento da água, e a subseqüentes perdas na rede de distribuição é de importância significativa para o departamento de água da Filadélfia. Na análise do ciclo de vida, o sistema da Filadélfia demonstrou resultados maiores para carcinógenos, depleção da camada de ozônio, ecotoxicidade aquática e terrestre e eutrofização. Essas categorias de impacto são mais afetadas pelo consumo de produtos químicos do que pela energia utilizada no sistema. O sistema de abastecimento da Filadélfia utiliza 2,5 vezes mais produtos químicos por unidade de água tratada que o sistema de Halifax.

Lemos et al. (2013) e Barjoveanu et al (2013) avaliaram os impactos ambientais gerados por sistemas de distribuição em duas cidades distintas, de países diferentes, Portugal e Romênia, através da análise do ciclo de vida, ambos concluíram que o estágio de extração e tratamento da água foram as fases com maior contribuição para as categorias de impacto avaliadas, isso pode ser explicado pela quantidade de energia demandada para que esses processos funcionem. Nos estudos também foram apresentados possíveis cenários para melhorias.

Os impactos gerados pelo consumo de energia, não só dependem da quantidade de energia consumida pelos processos, mas está também diretamente ligada ao mix da fonte de produção de energia. No estudo de Lemos et al., (2013) mostrou que em 2008, ano de referência da análise, aproximadamente 65% da energia produzida por Portugal era provinda de combustíveis fósseis, o que implica em um impacto ambiental maior, quando comparado a fontes limpas de produção de energia.

Para Barjoveanu et al (2013) o sistema de distribuição é o grande responsável pelas emissões não só pela energia consumida para os processos, mas também pelos processos de manutenção. A idade das tubulações, que em algumas áreas da cidade, a rede de distribuição tem mais de 100 anos, é um fator agravante que contribui para que exista uma perda no sistema de distribuição de 75% nesses pontos. O sistema da Romênia possui uma perda total no sistema de 41 % da água tratada.

Dentre os cenários apresentados por Lemos et al (2013) para contribuir com a mitigação das emissões estão a redução de perdas no sistema de distribuição.

O cenário 1 apresentado seria a redução de perdas na distribuição de 38% para uma perda de 25%. Para isso algumas medidas deveriam ser levadas em consideração, como a substituição das tubulações antigas e um tempo de reparo mais curto das tubulações danificadas. Reduzindo as perdas a quantidade de água a ser tratada passa a ser menor, conseqüentemente utiliza-se menos energia, menos produtos químicos. Neste cenário é esperado uma mitigação de 4-5% dos impactos finais. (LEMOS et al, 2013)

Outro cenário seria a redução de 15%, meta definida para 2020 pelo Plano de Água dos portugueses. O resultado das categorias de impacto seria melhorado numa escala de 8-9%, excluindo a eutrofização marinha e a ecotoxicidade. (LEMOS et al, 2013)

Godskesen et al. (2013), utilizou a análise do ciclo de vida para avaliar quatro cenários diferentes de abastecimento de água, o sistema era de Copenhague, abastecia uma população de alta densidade e com uma disposição de recursos hídricos relativamente escassos. Os avaliados eram captação de água das chuvas de alguns pontos

específicos da cidade (utilização não potável), o sistema de abastecimento existente através dos lençóis freáticos inserindo ações de compensação pela utilização de recursos naturais, estabelecimento de poços mais distantes da cidade e dessalinização. Foram avaliados os impactos ambientais, acidificação, ecotoxicidade humana, do solo e da água, mudança climática.

Segundo Mahgoub et al. (2010), as categorias de impactos ambientais da ACV do sistema de água podem ser exemplificadas e interpretadas como:

- Carcinógenos: Danos à saúde humana devido a substâncias cancerígenas. Metais pesados em efluentes podem causar efeitos cancerígenos em humanos.
- Mudança Climática: Impactos indiretos de mudanças climáticas a saúde humana pela antecipação do aumento de temperatura, aumento do nível do mar entre outros. Emissões atmosféricas resultantes do tratamento de água e efluentes produzem gases de efeito estufa (CO₂, NH₄, N₂O);
- Ecotoxicidade: Danos a qualidade do ecossistema (água, ar e solo) causados por substância ecotoxicais. O lodo gerado do tratamento de água e efluentes podem conter substâncias tóxicas;
- Depleção Mineral: Danos aos recursos minerais pela depleção. Indiretamente o processo de tratamento de água causa depleção mineral, devido as substâncias químicas utilizadas;
- Efeitos respiratórios causados por substâncias orgânicas: Efeitos respiratórios causados por substâncias orgânicas emitidas na atmosfera. Algumas substâncias usadas no tratamento de água (como ozônio) causam danos respiratórios;
- Radiação: Danos à saúde humana causado pelas liberações de rotina de material radioativo para o meio ambiente.
- Eutrofização e Acidificação: Danos causados pela acidificação e eutrofização devido a deposição de substâncias orgânicas. Nutrientes (sulfatos, fosfatos e nitratos) em águas residuais (águas residuais brutas ou submetidas a tratamentos primários e secundários) causam eutrofização e acidificação;
- Depleção de recursos fósseis: Danos aos recursos fósseis devido a depleção. Quando a energia usada no tratamento e distribuição de água são geradas através de combustíveis fósseis.
- Efeitos respiratórios causados por substâncias inorgânicas: Efeitos respiratórios causados por substâncias inorgânicas emitidas na atmosfera. Tratamento de efluentes

podem produzir emissões atmosféricas (NH_3 , NO_2 , CO) causando problemas respiratórios;

- Camada de Ozônio: Danos à saúde humana causados pela depleção da camada de ozônio (impactos causados pela radiação ultravioleta). Cloro utilizado no tratamento de água possui um efeito negativo na camada de ozônio;
- Uso do Solo: Impactos no uso do solo afetam a qualidade do ecossistema. A infraestrutura do sistema de abastecimento de água impacta no uso da terra.

O estudo de cenários para abastecimento foi realizado através de uma ferramenta ACV chamada WEST – Water-Energy Sustainability Tool, essa ferramenta tem capacidade de avaliar todas as fases do ciclo de vida, sendo assim um suporte para a tomada de decisão em futuros arranjos, de modo que seja levado em consideração o melhor uso da energia e conseqüentemente um menor impacto ao meio ambiente.

3.5 Perdas de água, energia e Efeitos Ambientais

A indústria de tratamento e distribuição de água podem contribuir de maneira significativa para o aumento global dos impactos mundiais devidos ao alto consumo de energia, bem como a poluição de forma indireta de através de emissões no ar, na terra e na água pelo uso dos produtos químicos. (BARBEAU, FOTSING e PREVOST, 2011)

Para Xu et al. (2014a), perdas de água existem em qualquer sistema de distribuição, devido à deterioração das estruturas do sistema, no entanto, anualmente aproximadamente 35% do total de água tratada é perdida nos sistemas de distribuição ao redor do mundo. A mesma quantidade de energia é perdida, pois as perdas de água são responsáveis por 25% da energia utilizada. (ALKASSEH et al., 2013)

O uso de água para geração de energia no Brasil é evidente, mas pouco se fala sobre o uso da energia para o abastecimento e distribuição de água. O uso médio de energia para a distribuição de água no Brasil é de 0,69 KWh por metro cúbico. (BALESTIERI E VILANOVA, 2014)

Segundo Mamade (2017 apud WWAP, U.N.W.W.A.P., 2014), os custos com energia representam uma média global de 30-40% dos custos operacionais dos distribuidores de água. Assim, dentro contexto de mudanças climáticas, a preocupação com secas e escassez tem alertado sobre a necessidade de conservação da água, inclusive uma atitude de mudança das concessionárias para uma melhor eficiência reduzindo perdas no sistema.

Para Alkasseh et al. (2013) todo esse cenário de perdas na rede impacta em um gasto excessivo de recursos para o abastecimento, de pressão na rede, e um aumento de energia, resultando em emissões de carbono.

No Brasil, onde a matriz energética é bem diversificada, sendo boa parte fonte de geração de energia através de usinas hidrelétricas. As emissões de geração energia para produção de 1 metro cúbico de água no Brasil em 2012 liberaram 0,0504 kg de CO_{2eq}, sendo que 0,0141 kg CO_{2eq}/m³ estão associados aos volumes de perda de água. Neste mesmo ano, os sistemas de abastecimento representaram 1,9% do consumo de energia do país. Com as perdas de água na rede de abastecimento aproximadamente 30% dessa energia foi desperdiçada. (BALESTIERI E VILANOVA, 2014)

De acordo com Balestieri e Vilanova (2014) é de grande importância que os gestores de abastecimento e distribuição de água considerem o uso de energia, visto que o link entre os usos de energia e a distribuição de água podem ajudar em grande parte da economia de energia e na redução das emissões de CO_{2eq}.

Na Austrália está previsto que a demanda por água vai aumentar de 200-250% até 2030, assim o custo de energia adicionado nas infraestruturas de água tende a aumentar 600% diante da necessidade da infraestrutura de distribuição e o aumento da população. Da mesma forma as estruturas tendem a ficarem mais velhas e ineficientes aumentando as perdas, assim maior quantidade de água deve ser bombeada e tratada para suprir as demandas. (MAMADE et al., 2017)

Xu et al. (2014a) alertam que abastecimento de água é uma indústria de consumo de energia intensa, utilizando de 2-3% da energia mundial, assim a diminuição das perdas melhora a eficiência energética, visto que uma menor quantidade de água é retirada, tratada e transportada para suprir a demanda. As perdas de água no sistema não afetam somente o valor de revenda das concessionárias, como também desperdiçam uma alta quantidade de energia.

Emissões de gases na atmosfera estão diretamente relacionados com energia. De acordo com Stokes e Horvath, (2009) 60,7 gramas de CO_{2eq} são emitidos na atmosfera a cada 1MJ de energia consumida na produção e distribuição de água. Assim, Senante, Arce e Garrido (2016) reforçam que reduzir perdas é essencial para que exista eficiência no sistema tanto ambiental quanto financeiro.

Stokes, Horvath e Sturm (2013) afirmam que alguns programas de redução de perdas comprovam que o valor econômico da água perdida, incluindo a energia necessária

para o sistema funcionar, é mais alto que o valor econômico do custo adicional para operar o sistema com controle, para redução de perdas.

Segundo Senante, Arce e Garrido (2016) é de grande importância a avaliação do balanço ambiental junto ao plano econômico de perdas, para que possam ser avaliados não somente as perdas econômicas, mas também o fator ambiental envolvido.

O uso eficiente da energia elétrica e a redução das perdas de água, além de permitirem um retorno financeiro vantajoso, possibilitam melhoria do aproveitamento das infraestruturas e postergam os investimentos financeiros desperdiçados para que sejam aplicados na ampliação dos sistemas. (SNIS, 2016)

Segundo Mamade et al. (2017) a inserção de um plano de eficiência energética, através de um balanço de energia é possível separar a energia associada ao consumo e perdas de água no sistema, apresentando uma perspectiva sobre a eficiência das atividades realizadas, possibilitando a diminuição das perdas aparentes e específicas do sistema de distribuição.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho aconteceu em fases, nas primeiras fases foram realizados os levantamentos teóricos necessários para a execução das análises; nas fases subsequentes foram realizadas as avaliações do estudo de perdas correlacionado com o ciclo de vida.

Para melhor uma visualização da sequência metodológica e alinhamento do trabalho suas etapas estão ilustradas na figura 3.

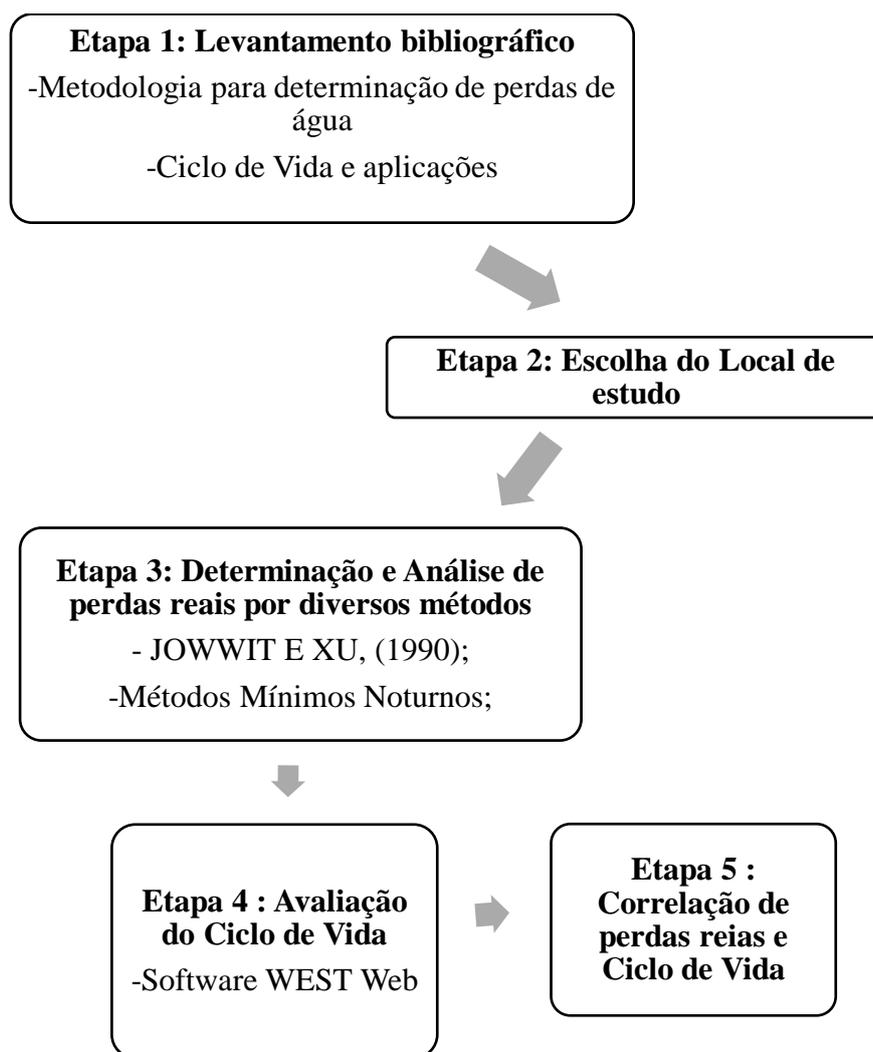


Figura 3- Sequência Metodológica
Fonte: Próprio Autor (2017)

A metodologia consistiu inicialmente no levantamento de dados bibliográficos necessários para fundamentação do trabalho e desenvolvimento da Revisão bibliográfica, onde obtiveram-se os respaldos teóricos necessários para as etapas subsequentes.

A sequência do trabalho consistiu na determinação do local de estudo. Foi escolhido uma cidade do sul de Minas Gerais. A escolha da cidade se deu devido a ela ser um local de estudo de um projeto vinculado a FINEP: Monitoramento, simulação e operação de sistemas de distribuição de água – 983-10 de responsabilidade do grupo de pesquisa do Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos – NUMMARH.

Na etapa subsequente foram realizadas as análises de determinação de perdas dos pelo método de determinação de JOWITT E XU (1990), foram utilizados os dados da campanha de campo realizada em 2015 por SANTOS (2016) e FORTES (2016).

Para análise dos métodos mínimos noturnos as análises realizadas utilizaram os dados da campanha de 2015 de modo que foram construídos gráficos para que fossem comparadas as pressões e vazões noturnas (madrugada) com a vazão e pressão durante o dia.

Para análise do ciclo de vida foram levantados os dados necessários para aplicação do estudo de ciclo de vida, esses dados foram determinados através de estudos e levantamentos anteriores feitos pelos membros do grupo NUMMARH, bem como por levantamento de pesquisas existentes.

A etapas 5 consistiu na fase de avaliação dos estudos e análises da etapa 3.

4.1 Caracterização da Área de Estudo

O setor de rede de distribuição de água em estudo encontra-se localizado no sul do estado de Minas Gerais. Segundo o IBGE (2010), a cidade possui, como uma estimativa de população em 2018 de 45.488 habitantes, uma área de 58.019 Km². O rio que é utilizado para captação da água de abastecimento é o Rio Verde, principal rio da cidade, que faz parte da bacia hidrográfica do Rio Grande.

Por ser uma das estâncias hidrominerais mais conhecidas do Brasil, tem como base de sua economia as atividades comerciais e turísticas. Segundo Fortes (2016) a cidade possui significativa população flutuante que vai para a cidade nos fins de semana, férias e feriados. Para Bobsin (2014) a cidade chega a receber uma população flutuante de até 100 mil pessoas, ocasião que alerta para picos de demanda hídrica em determinadas épocas do ano. Localizada a aproximadamente 75 km de Itajubá – MG e a 393 km de Belo Horizonte.

A rede em estudo engloba três bairros: Vale dos Pinheiros, Morada da Serra e Palmela. De acordo com o SAAE, a água que abastece a cidade é captada no Rio Verde

e passa por um sistema de tratamento convencional antes de ser distribuída para a população.

Após captação e tratamento a água vai para a estação de bombeamento Vila Nova, depois para o reservatório Solar dos Lagos. A distribuição é feita por gravidade para os bairros estudados. Na figura 4 é representado o fluxograma do setor.



Figura 4 - Fluxograma do Setor Estudado
Fonte: Fortes (2016)

4.2 Determinação e Análise das Perdas Reais

Nesta etapa foram determinadas as perdas reais por dois métodos diferentes, abaixo segue a explanação de como foi avaliado cada método.

4.2.1 Cálculo do Método dos Mínimos Noturnos

A metodologia utilizada para cálculo dos métodos mínimos noturnos é um aprimoramento do trabalho de Alkassah et al. (2013) e Fortes (2016) onde foi considerado o período de menor consumo sendo o período de 01:03 h até 05:03 h.

Como os vazamentos estão susceptíveis a pressão Cheung et al. (2009) afirma a necessidade de correção por um fator afim de evitar a supervalorização de resultados. O volume perdido foi calculado com a correção do fator noite/dia (FND).

A vazão mínima noturna foi calculada pela média das vazões noturnas que ocorrem no período de 01:03 h até 05:03 h. A vazão legítima de consumo noturno foi considerada nula, visto que o setor estudado não possui nenhuma atividade noturna, como hospitais ou indústrias noturnas.

O valor de N1 utilizado na equação para determinação do FND foi adotado 1,5 visto que a tubulação no setor de estudo é de sua maioria PVC conforme tabela 2 descrita anteriormente neste trabalho.

Os valores de pressão ao longo do dia foram extraídos da pressão de entrada no sistema que foi monitorada na pesquisa de campo realizada por Santos (2016). As vazões foram monitoradas por sete dias consecutivos no período da madrugada.

4.2.2 Cálculo do Método do Balanço Hídrico

O método do balanço hídrico foi realizado por Fortes (2016). Durante seu estudo o SAAE forneceu alguns dados, como consumo de água autorizado, para alimentação dos dados necessários, para que o cálculo do balanço hídrico fosse realizado.

Visto que muitos fatores incluídos no cálculo, não eram monitorados pela companhia de distribuição, foram necessários que alguns dados fossem estimados baseando-se na literatura. Os valores elevados de perdas, podem ser explicados pela idade das tubulações da rede, pela elevada pressão a qual esse sistema está sujeito e pelos erros de medição.

Dentre os cálculos de Fortes (2016) pode-se destacar que nas perdas aparentes, o maior volume de perdas ocorre devido aos erros de medição, o que reforça a necessidade de manutenção periódica e da vida útil dos equipamentos. Já dentro das perdas reais nota-se que os vazamentos na distribuição são responsáveis por uma grande parcela das perdas.

O resultado do balanço hídrico realizado mostrou que as perdas totais do sistema estão contabilizadas em 56,76%. Já as perdas reais são responsáveis por 55,46% das perdas do sistema. Os valores determinados por Fortes (2016) estão dispostos na tabela 3.

Tabela 3 - Balanço Hídrico

Água entrada Sistema	Consumo autorizado 149.376,00 (m ³ /ano)	Consumo autorizado faturado 149.376,00 (m ³ /ano)	Consumo faturado medido 149.376,00 (m ³ /ano)	Água Faturada 149.376,00 (m ³ /ano) 43,24%
			Consumo faturado não medido não existe	
	43,24%	Consumo autorizado não faturado não existe	Consumo não faturado medido não existe	Água não faturada 196.099,95 (m ³ /ano) 56,76%
			Consumo não faturado não medido não existe	
	Perdas de água	Perdas aparentes 4.508,04 (m ³ /ano)	Uso não autorizado 586,05 (m ³ /ano)	
			Erros de medição 3.922,00 (m ³ /ano)	
		Perdas reais 191.591,90 (m ³ /ano) 55,46%	Vazamentos adução e/ou distribuição 141.191,96 (m ³ /ano)	
			Vazamento nos reservatórios 12.354,30 (m ³ /ano)	
			Vazamentos nos ramais 38.045,64 (m ³ /ano)	
345.475,95 (m ³ /ano)				
100%				

Fonte: Fortes (2016)

4.2.3 Cálculo do Método de Jowitt e Xu

Para consideração das perdas através de Jowitt e Xu (1990) utilizou-se dos valores de C1 e N1 que foram adotados no estudo de Santos (2016) que calibrou os coeficientes para a rede em análise, em seu trabalho foram testadas várias possibilidades de ajustes envolvendo as variáveis C1 e N1, rugosidade e demanda aleatória.

Para melhor ajuste de valores ao perfil da rede existente foram definidas três áreas de zonas de pressão por Santos (2016), que levou em consideração os níveis de altitude dos pontos da rede.

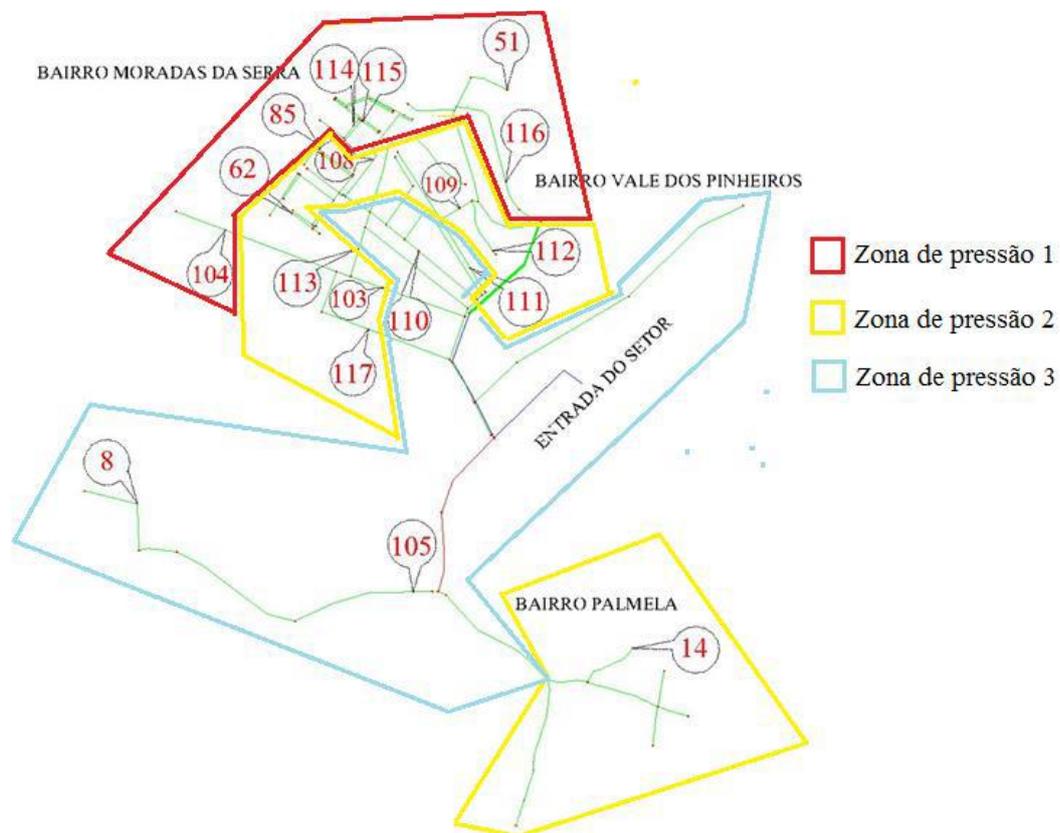


Figura 5 - Zonas de Pressão
Fonte: Santos (2016)

No trabalho de Santos (2016) foram testadas três rotinas, rotina 1, rotina 2 e rotina 3, a Rotina 3 utilizada nesse trabalho, está descrita a seguir.

Rotina 3, assume que os valores de rugosidade são gerados aleatoriamente, os valores de demanda são obtidos por cálculos baseado em dados reais aleatórios, na sequência, ocorre um processo iterativo para obter o ajuste das constantes de vazamento (C1 e N1) por zonas de pressão.

O comprimento da rede em estudo foi retirado do anexo C de Lamoglia (2013).

As cargas de pressão média no trecho considerado foram determinadas pelos valores de pressão determinados por Santos (2016) levando em consideração os valores mínimos e máximos delimitados pelas zonas de pressão.

Sequencialmente ao levantamento de todos os valores foram calculadas as perdas existentes na rede.

4.3 Cálculo do Ciclo de Vida – Software Water Energy Sustainable Tool

O estudo dos cenários para cálculo do ciclo de vida foi realizado utilizando a ferramenta de ACV WEST – Water Energy Sustainability Tool, desenvolvida pela *University of California at Berkeley*. (WEST WEB, 2011)

O WEST Web é uma ferramenta desenvolvida por Dr. Jennifer Stokes e Prof. Arpad Horvath no departamento de Engenharia Civil e Ambiental na Universidade da Califórnia em Berkeley com fundos da Comissão de energia da Califórnia.

O WEST Web fornece uma estrutura simples para aplicar uma análise de ciclo de vida em sistemas de água e de esgoto. Ele se concentra especificamente nos efeitos de ciclo de vida da fabricação dos componentes principais de infraestrutura (tubulações, estruturas e alguns equipamentos de processo), produção de produtos químicos, energia provinda da eletricidade, gás natural, gasolina, diesel. Para sistemas de tratamento de esgoto também é levada em consideração a disposição do lodo e geração de metano provindos diretamente do processo. (WESTWEB, 2011)

A análise do ciclo de vida se baseia em duas abordagens principais, a primeira é uma análise baseada em processos, a segunda é uma análise econômica de saída e entrada.

O inventário de dados modelados conta com uma série de dados coletados de diversos processos para todo o ciclo de vida envolvendo produtos e serviços. A análise do ciclo de vida é um processo iterativo, assim a interpretação dos resultados ocorre a cada passo. A análise de impacto determina os impactos das emissões e dos resíduos nos humanos e no meio ambiente. (STOKES E HORVATH, 2006)

O WEST Web leva em consideração toda a cadeia de processo (*supply chain*) dos processos avaliados. Exemplificando, se está sendo avaliando a energia provinda de fontes fotovoltaicas, o programa está levando em consideração todo o processo de fabricação das placas, assim como os efeitos da extração, processamento, transporte e manufatura de todas os componentes envolvidos. (WEST WEB, 2011)

Com essa ferramenta é possível avaliar todas as fases do ciclo de vida, assim tem a capacidade de sustentar o suporte na tomada de decisão para futuros arranjos. Após as análises do ciclo de vida, o programa informa as categorias de impacto intermediárias, ou seja, um passo da avaliação de impacto.

Na avaliação de impacto intermediária, são expostas emissões químicas relacionados aos impactos na saúde humana e nos aspectos ambientais, relatados em termos de equivalência de massa de uma substância, que é referência em cada categoria. Por exemplo, todos os gases do efeito estufa (dióxido de carbono, metano, óxido nítrico)

são relatados em termos equivalentes de CO₂. Categorias de avaliação intermediárias podem ser utilizadas para determinar os danos finais. (WESTWEB, 2011)

Utilizou-se a ferramenta Web Tool que possibilita que o cálculo do ciclo de vida seja feito online, após a inserção das informações necessárias.

4.3.1 Base de Cálculos do WEST Web

WEST é uma ferramenta baseada no Excel[®] de suporte de decisão. O WEST Web é uma versão simplificada do WEST. Ele permite uma gama menor de entrada de material do que o WEST. Assim existem alguns cálculos básicos que são executados pelo WEST Web. As descrições da base de cálculo do programa estão abaixo, organizadas pela fase do ciclo de vida.

4.3.1.1 Infraestrutura

A maioria dos cálculos de produção de material, incluindo toda a infraestrutura e os “outros produtos químicos” na fase de operação usam os fatores de emissão em uma análise econômica. A equação 4 é para os materiais que são substituídos quando sua vida útil termina.

$$infraest. = \sum_{k=1}^x \frac{Un.Custo_k * Unidades_k * EIOLCAEF_k * Unidade Funcional}{tempo de vida * produção anual} \quad \text{Equação 4}$$

O custo unitário de cada material é incorporado no programa e não pode ser alterado. Um custo padrão de todos os materiais foi retirado de Means (2004, apud WEST WEB, 2011), assim os valores são convertidos em custo. As unidades são inseridas pelos usuários, bem como a unidade funcional e o volume produzido. Os materiais são da análise econômica. O tempo de vida dos materiais podem ser alterados, desde que seja optado pela a análise detalhada. (WEST WEB, 2011)

4.3.1.2 Operações

Os impactos operacionais consistem no uso de energia e de produtos químicos.

A equação geral para os impactos ambientais provenientes do uso de combustível está representada abaixo.

$$efeitos comb. = \frac{Uso de comb. * Comb.EF * unid.funcional}{Produção anual} \quad \text{Equação 5}$$

O uso de combustível, a unidade funcional e a produção anual para cada cenário são inseridas pelo usuário. As fontes para cada categoria de combustível estão detalhadas abaixo.

- Eletricidade: Os dados de eletricidade foram extraídos da Agência de proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos - E-GRID (EPA,2007) assim, a base de cálculo combina os dados de emissões diretas gerados com as emissões que irão ser resultantes do processo. (apud WESTWEB, 2011)
- Gasolina e Diesel: Os efeitos resultantes são retirados do departamento de Energia dos Estados Unidos, GREET model. (2009, apud WESTWEB, 2011)

A relação de cálculo para a base de produtos químicos utilizados no tratamento está representada na equação 6.

$$efeitos\ químicos = \sum_{k=1}^x \frac{massa\ anual_k * Gabi\ EF_k * unid.\ funcional}{produção\ anual} \quad \text{Equação 6}$$

- A massa anual, a unidade funcional e a produção anual são informadas pelos usuários. Os efeitos dos produtos químicos foram extraídos do programa Gabi Software (2003, apud WESTWEB, 2011) e reportados em termos de massa.

4.3.2 Parâmetros para Modelagem

Nesta etapa é inserido dados para início da modelagem do ciclo de vida, dentre as informações necessárias estão, o tipo de sistema, a unidade de medida que será utilizada, o número de cenários estudados e a unidade funcional do sistema. A unidade funcional é o valor definido para comparação, por exemplo, adotou-se 1 metro cúbico, assim o resultado das emissões é dado para cada 1 m³ de água potável produzida para consumo.

4.3.3 Produção Anual

Na primeira fase é necessário a inserção de dados sobre a produção anual. Como a ferramenta utilizada pode calcular processos de tratamento de esgoto, o primeiro passo foi a determinação do tipo de sistema que estamos avaliando, assim nessa primeira fase foi selecionado o sistema de abastecimento de água. Trabalhou-se com as unidades do

sistema internacional e prospectou-se os cenários para análise. A figura 6 demonstra como é a interface do WEST Web.



WEST Web 

Modeling Parameters

Select system type:

Units selection:

Enter number of scenarios:

Functional Unit: (liters)

Annual Water or Wastewater Production

Enter scenario production volume (in liters):

Scenario #	Scenario Name	Annual Scenario Production
1	Scenario 1	1000000

Figura 6 - Interface WEST Web
Fonte: WEST WEB (2011)

4.3.4 Infraestrutura

Na infraestrutura o WEST divide em três parâmetros, comprimento das tubulações e materiais, estruturas de concreto e equipamentos de processamento.

O comprimento das tubulações e materiais permite que se escolha detalhar ou não a rede em estudo. Caso a opção seja por não utilizar o cálculo não detalhado, o usuário somente precisa informar as dimensões (comprimento) da rede em cada fase do processo, no programa são divididas em três fases.

A primeira delas é a fase de abastecimento do sistema, que consiste no processo de retirada da água da fonte natural até o sistema de tratamento. A segunda fase consiste na unidade de tratamento até o local de distribuição. Já a última fase é a de abastecimento, que consiste no processo de distribuição para os consumidores. Na figura a seguir está detalhado as distancias da entrada do sistema para a estação de tratamento de água (ETA), dos reservatórios até a entrada do setor.

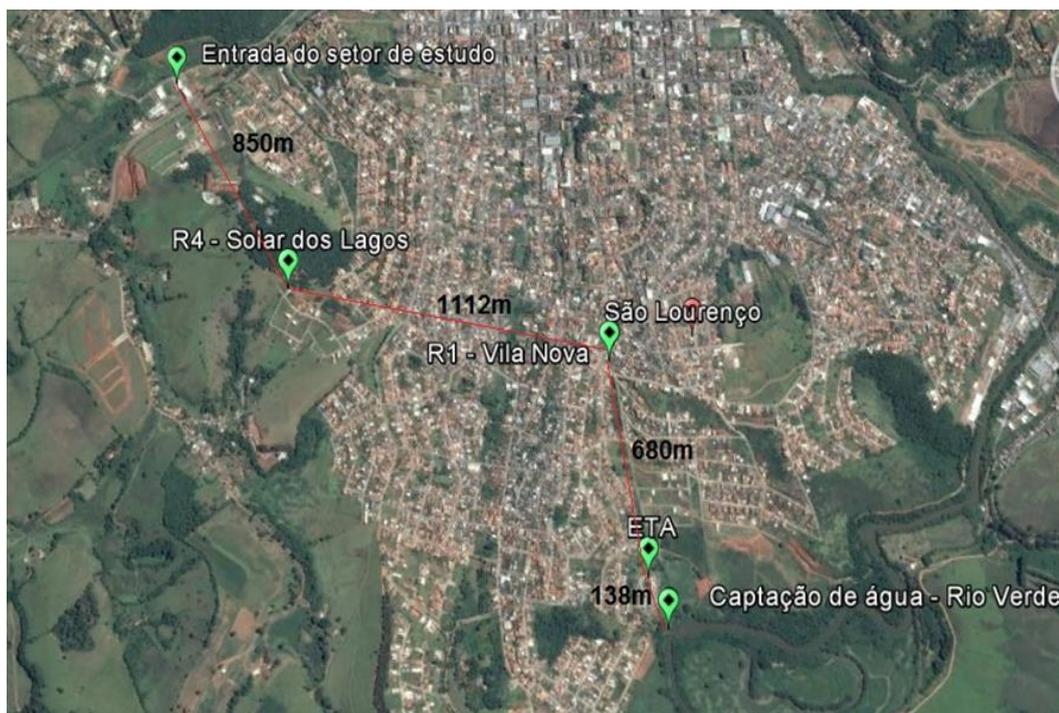


Figura 7 - Distâncias das fases do setor em estudo
 Fonte: Santos (2016)

Para as especificações necessárias na Infraestrutura, foram inseridas as distâncias desde a adução até a entrada da distribuição do setor. Para o processo de produção de água tratada (*supply*) foi considerado a distância da captação de água – Rio Verde até a estação de tratamento que possui 138 metros. Para o processo de tratamento (*treatment*), foi considerada a distância da estação de tratamento até o ponto de entrada do sistema, contabilizando 2642 metros. Na distribuição (*distribution*), foi considerado o comprimento da rede existente equivalente a 12484,25 metros.

Para as estruturas de concreto, o programa WEST pede-se que sejam detalhadas as estruturas de concreto que fazem parte do sistema, como reservatórios. Para essa etapa foram considerados os reservatórios de concreto existentes no reservatório Solar dos Lagos com capacidade de 300 m³ cada. Para o cálculo do volume de concreto do reservatório considerou-se as seguintes dimensões:

- Reservatório com dimensões de 10 x 15 x 2,5 m;
- Paredes laterais de 0,20 m;
- Paredes de piso com 0,30 m;
- Não foram consideradas fundações.

Não foram consideradas fundações no reservatório, por se tratar de reservatório apoiado com uma área de pressão bem distribuída, considerou-se ainda que ele se encontra em solo resistente, não havendo necessidade de fundações. Assim, pode-se

constatar que para cada reservatório de concreto foram utilizados 70 m³ de concreto, contabilizando 140 m³ de concreto nas estruturas de tratamento.



Figura 8 - Reservatórios de distribuição
Fonte: Próprio Autor

Em equipamentos de processamento é opcional o detalhamento, nessa etapa pode-se detalhar materiais utilizados (filtros, bombas, turbinas entre outros) e seu custo de aquisição. Como não existia acesso à essas informações, essa fase do processo não foi detalhada.

4.3.5 Operação

A fase operação permite o detalhamento durante a operação do sistema, é possível detalhar as fontes de energia utilizadas.

Foram utilizados os dados disponíveis em geração de energia do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS (2018), visto que o sistema de energia elétrica no Brasil é interligado, impossibilitando que se reconheça a fonte de abastecimento elétrico exata para determinada região ou local. Pode-se observar que a geração de energia hidráulica é a fonte de maior representatividade no cenário energético brasileiro, sendo considerada uma fonte de energia limpa. Nas figuras 9 e 10 abaixo, estão representados os dados utilizados para inserção na análise do ciclo de vida.

05/11/2018 09:45	
Carga:	68243,0 MW
Exportação:	0,0 MW
Ger. Eólica:	3825,8 MW
Ger. Hidráulica:	55041,8 MW
Ger. Térmica:	6668,3 MW
Ger. Nuclear:	1363,4 MW
Ger. Solar:	797,8 MW
Importação:	545,7 MW

*Arredondamento de valores pode causar diferenças de até 1 MW

Figura 9 - Carga de Geração de Energia
Fonte: ONS (2018)

As fontes de energia inseridas na figura 9 estão representadas em megawatt, porém, para análise do ciclo de vida é necessária a conversão para porcentagem relativa de produção, provinda de cada fonte. Assim, na figura 10 estão representadas as porcentagens equivalentes a cada megawatt gerados, sendo 76,6% equivalentes a produção através de energia hidráulica, 12,6% energia térmica, 7,9% provindos de fontes eólicas, 2,4% de fontes nucleares, 0,2% energia solar e 0,3% de fontes de importação.

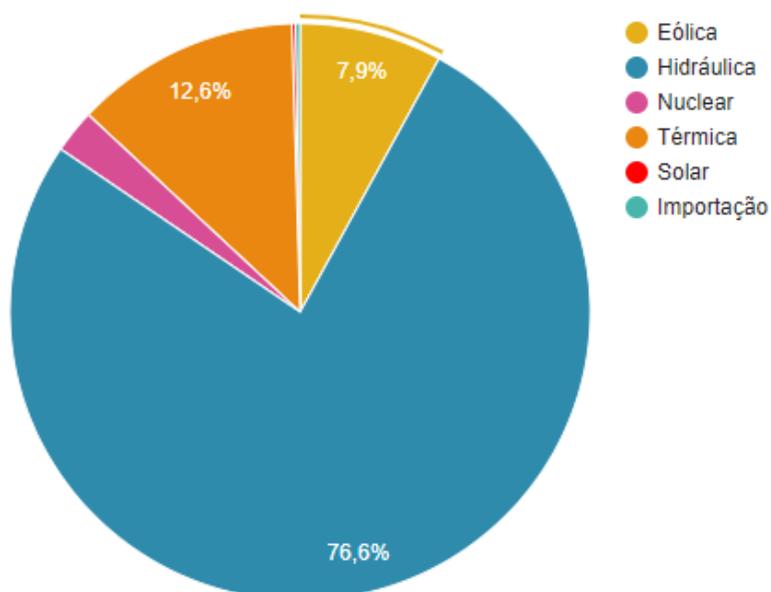


Figura 10 - Porcentagem das Fontes de Energia
Fonte: ONS (2018)

Ainda na fase de operação é necessário determinar quais os gastos com energia para cada processo, o detalhamento de energia utilizada anualmente é separado em eletricidade, gás natural, gasolina e diesel. O gás natural é considerado a produção no sistema, no caso não se aplica, visto que estamos analisando um sistema de abastecimento de água e não de tratamento de esgoto. Já a gasolina é a quantidade de combustível utilizada pelos veículos para realizar as manutenções na rede. O diesel é adotado para uso em equipamentos de construção.

Para os gastos de energia utilizados para o funcionamento do sistema, foram utilizados os dados levantados por Fortes (2016), onde ele levantou o balanço de energia da rede em estudo. Em seu trabalho, ele identificou que se utiliza 92.289,18kWh/ano de energia para que o sistema funcione, esta energia de entrada é fornecida cem por cento através do funcionamento das bombas.

Como o gasto com combustíveis para manutenção são informações sazonais, visto que alguns meses a ocorrência de manutenção é maior do que outros, assim, para cálculo dos gastos com combustíveis na rede, foram consideradas que as manutenções ocorrem ao menos uma vez na semana, e que a distância média percorrida é de 25 km. Considerou-se um consumo médio de 8 km/litro, e que existem manutenções durante as 52 semanas do ano, utiliza-se uma média de 162,5 litros de gasolina por ano para fins de manutenção da rede.

Como não disponibilizamos de informações precisas quanto as estruturas da rede, os gastos com diesel utilizados pelos equipamentos na construção não foram contabilizados na análise do ciclo de vida, visto que, também não consideramos que os equipamentos utilizados para construção do reservatório utilizassem diesel em seu funcionamento.

Na fase de operações é necessário informar quais os produtos químicos são utilizados para reagentes no tratamento da água captada. Para que a análise seja efetivada devemos inserir a quantidade de reagentes químicos utilizados durante o tratamento da água, em quilos por ano.

A captação do setor de estudo acontece no Rio Verde, segundo a deliberação normativa do COPAM - ANA (1998) classifica como trecho 3 onde ocorre a captação do SAAE, sendo a qualidade da água se enquadra na classe II. Santos (2016) levantou os insumos utilizados como reagentes na estação de tratamento SAAE em Cambuí, sendo que a classificação da fonte também é classe II. Desta forma, foram considerados que os mesmos insumos são utilizados no SAAE da cidade em estudo. Na tabela 4 abaixo, estão

disponíveis os insumos e seus valores médios de consumo representados em quilos/metros cúbicos.

Tabela 4 - Consumo de insumos (kg/m³)

Sulfato de Alumínio	0,0263 kg/m ³
Cal hidratada	0,0057 kg/m ³
Fluossilicato de Sódio	0,0007 kg/m ³
Cloro Gás	0,0010 kg/m ³

Fonte: Santos (2016)

4.3.6 Análise

Após preenchimento de todos os campos detalhados acima, é possível realizar a análise dos cenários. Existem duas opções de análises, a primeira análise determina a quantidade de energia e emissões de gases na atmosfera, já a segunda análise determina a energia, as emissões de gases e os potenciais impactos humanos e ambientais gerados.

Na primeira análise são contabilizadas as emissões de gases na atmosfera que contribuem com as mudanças climáticas, essas emissões são representadas em gramas de CO₂ equivalentes por unidade funcional, que neste caso é para cada 1 metro cúbico de água processada. Nesta análise também são dispostas a energia produzida pelo sistema, representada em Mega Joule por unidade funcional.

Realizou-se a análise de emissões para diversos cenários de perdas, dos diversos métodos existentes de determinação de perdas reais. Também foram projetados cenários futuros, com alterações no volume de perdas de água e de energia.

Para o sistema existente foi avaliado adicionalmente as emissões os impactos gerados pelas emissões com os riscos ambientais a saúde humana. Nesta segunda análise foi contabilizados a energia do sistema, Carcinógenos, não Carcinógenos, Efeitos respiratórios causados por substâncias inorgânicas, potencial de depleção da camada de ozônio, Efeitos respiratórios causados por substâncias orgânicas, ecotoxicidade aquática, ecotoxicidade terrestre, acidificação terrestre, Acidificação aquática e eutrofização aquática.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todas as análises realizadas serão apresentadas a seguir.

5.1 Vazão de entrada no Sistema

A figura 7 representa as vazões de entrada do sistema. Através desse monitoramento Santos (2016) gerou um gráfico de vazões na entrada do setor. Com vazões monitoradas ao longo dos sete dias consecutivos, com intervalos de registros de dez minutos. Durante os dias de vazão monitorada o sistema apresentou um comportamento constante, com vazão mínima durante o período das 01:00 até as 06:00 horas, logo depois um consumo crescente, apresentando o primeiro pico de consumo das 08:00 às 09:00 h, o segundo acontece entre 10:00 e 11:00 e o terceiro pico ocorre entre 17:00 e 19:00 onde a vazão passa a decrescer atingindo o comportamento mínimo novamente. Por ser um bairro familiar com incidências de algumas pousadas os picos de consumo se referem a rotina diária usual das famílias indicando os horários de maior consumo.

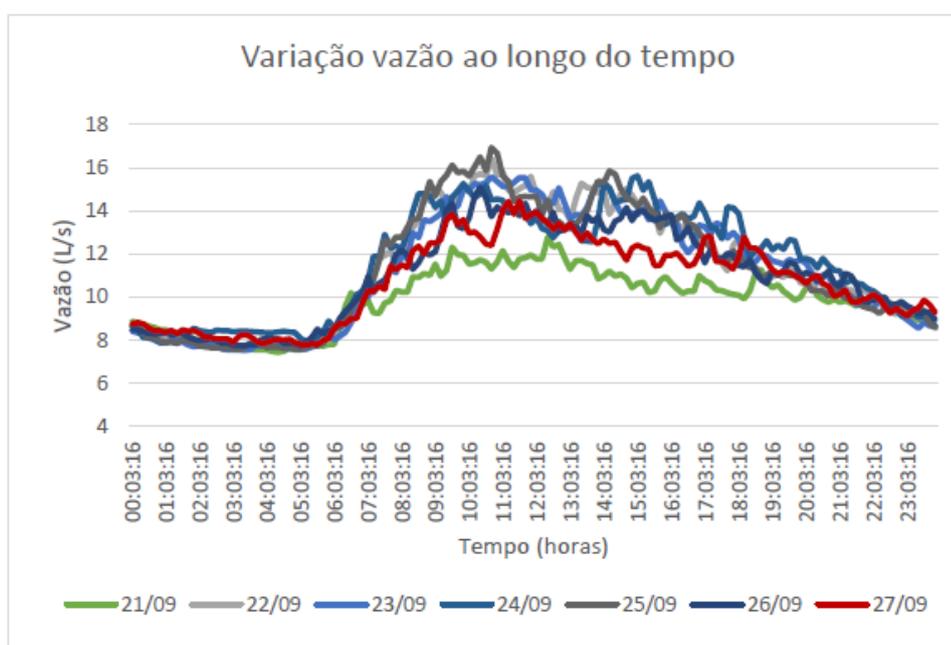


Figura 11- Vazões Monitoradas
Fonte: Santos (2016)

5.2 Vazão mínima noturna

Para o cálculo das perdas noturnas foram estipuladas as vazões médias que ocorreram durante o período da madrugada, entre 01:03h até 05:03h, durante os sete dias consecutivos de monitoramento. Assim, foi estipulada a média geral noturna da semana monitorada, que se encontra no patamar de 7,96 litros/segundo, conforme demonstrado na tabela 5.

Tabela 5 - Média da Vazão Noturna

Média da Vazão Noturna (01:03-05:03h)								
21/set	22/set	23/set	24/set	25/set	26/set	27/set	28/set	Média Geral
7,81	7,86	7,72	8,32	7,74	7,99	8,14	8,12	7,96

Através do monitoramento durante os sete dias também foram gerados as médias de vazões diárias, e conseqüentemente uma média geral de vazão do sistema que se encontra no patamar de 11,04 litros/segundo, demonstrado na tabela 6.

Tabela 6 - Média das Vazões Diárias

Médias das Vazões Diárias (l/s)								
21/set	22/set	23/set	24/set	25/set	26/set	27/set	28/set	Média Geral
9,91	11,34	11,25	11,54	11,36	11,02	10,76	10,46	11,04

Comparando a média de vazão noturna com a média de vazão diária, considerando que não existem consumos durante o período noturno/madrugada ou que este consumo é de uma dimensão pequena, constatou-se que são perdidos um valor de 72% de água no sistema.

Para cálculo da vazão mínima noturna, foi adotado o mesmo período considerado de menor consumo, entre 01:03h até 5:03h, assim a médias da vazão noturna durante os dias de monitoramento é de 7,96 l/s que é resultante da média das vazões monitoradas, que já foram expostas na tabela 5.

Para cálculo do Fator noite/dia foram calculadas as médias horárias de pressão para cada dia dos quais ocorreram os monitoramentos, depois novamente foi calculada uma média geral de pressão horária. A pressão média noturna foi calcula através da média da pressão média geral no horário de 01:00 até 5:00 horas, sendo seu valor de 59,75 mca. Os valores de FND e as médias das pressões estão dispostos na tabela 7 a seguir.

Tabela 7 - Médias das Pressões (mca)

Média das pressões dos sete dias consecutivos (mca)										
HORA	Nó 104	Nó 112	Nó 113	Nó 113	Nó 62	Nó 85	Nó 115	Nó 114	Média Geral	FND
00:00	53,89	65,17	55,03	85,32	65,95	70,15	48,96	43,42	60,99	1,03
01:00	50,61	65,34	55,30	85,71	66,20	70,50	44,71	39,75	59,76	1,00
02:00	50,56	65,37	55,35	85,89	66,21	70,52	44,78	39,84	59,82	1,00
03:00	50,53	65,28	54,56	85,89	66,17	70,49	44,72	39,79	59,68	1,00
04:00	50,52	65,21	55,26	85,87	66,10	70,42	44,69	39,73	59,72	1,00
05:00	50,68	65,25	55,25	85,75	66,10	70,54	44,76	39,79	59,76	1,00
06:00	49,46	64,54	53,10	84,33	64,85	69,16	52,99	48,06	60,81	1,03
07:00	46,07	60,55	50,01	80,90	61,06	65,40	58,37	53,50	59,48	0,99
08:00	41,45	57,04	44,02	76,29	54,90	59,98	48,90	43,92	53,31	0,84
09:00	37,59	58,78	38,17	64,44	49,84	55,55	40,84	35,86	47,63	0,71
10:00	36,04	58,34	37,22	59,31	48,49	53,87	40,10	35,00	46,05	0,68
11:00	41,72	58,82	38,00	59,01	49,54	54,53	41,35	36,11	47,38	0,71
12:00	43,73	59,86	39,44	60,88	51,60	56,37	43,22	38,15	49,16	0,75
13:00	43,73	59,62	39,39	60,94	48,54	55,86	43,25	38,01	48,67	0,74
14:00	42,83	59,22	37,92	60,53	48,90	54,83	43,05	36,89	48,02	0,72
15:00	44,85	59,89	39,17	65,44	53,26	57,11	46,09	40,41	50,78	0,78
16:00	48,23	61,15	44,05	68,10	56,64	60,65	50,72	45,71	54,41	0,87
17:00	50,06	59,82	46,06	68,99	58,13	62,26	53,97	46,89	55,77	0,90
18:00	51,85	61,83	49,06	70,23	60,05	64,50	57,22	52,19	58,36	0,97
19:00	51,84	62,67	47,87	70,07	59,51	64,11	55,14	50,09	57,66	0,95
20:00	52,73	63,05	49,03	70,79	59,25	65,34	56,91	51,96	58,63	0,97
21:00	54,08	63,91	51,27	71,29	61,49	66,64	59,66	54,70	60,38	1,02
22:00	55,39	64,14	52,70	72,25	62,38	67,95	62,13	57,29	61,78	1,05
23:00	56,34	64,71	52,67	72,95	64,73	68,90	63,97	59,15	62,93	1,08

Para determinação das perdas pelo método mínimo noturno foram considerados os seguintes dados, representados na tabela 8.

Tabela 8 - Perdas MMN

FND (h/dia)	21,78
Q _{mn} (l/s)	7,96
Q _l (l/s)	0,0
P _{i24h} (mca)	Variável (tabela 5)
P _{mn} (mca)	Variável (tabela 5)
N ₁	1,5
Q _{perdas} = 624,13 m ³ /dia	
Q_{perdas} = 227.807,45 m³/ano	

Conforme os dados da tabela 8 pode-se perceber que existe uma perda real de 227.668,65 m³/ano, que quando comparada a vazão de entrada no sistema de 345.475,95m³/ano, demonstra uma perda na rede de distribuição equivalente à 65,9%. Essa perda está diretamente ligada a pressão excessiva existente na rede em estudo.

Fortes (2016) determinou em seu trabalho que as perdas pelo método noturno eram de 65,4 %. A diferença dos valores se deve ao aprimoramento da metodologia, através de variação das condições consideradas, para cálculo do FND e da média noturna.

5.3 Método de Jowitt e Xu

Para cálculo das perdas pelo método de Jowitt e Xu, inicialmente foram determinados os diversos trechos da rede existentes, seu respectivo comprimento, através do esquema da rede desenvolvido no EPANET e sua zona de pressão determinada por Santos (2016). Assim, para cada trecho da rede, estão determinados quais os valores de pressão mínimos e máximos aquele ponto de rede está sujeito.

Todos os cálculos foram estimados através da equação de Jowitt e Xu (equação 3) e os coeficientes C_1 e N_1 variam de acordo com cada método utilizado.

Para o método de Jowitt e Xu (1990) utiliza-se os valores de $C_1 = 0,5 \times 10^{-5}$ e $N_1 = 1,18$. Para cálculo das perdas utilizando a rotina do trabalho de Santos (2016) foram ajustados os coeficientes C_1 e N_1 de acordo com os dados calibrados para cada zona de pressão existente. As zonas de pressão estão divididas em três zonas:

- Zona de pressão 1 (área vermelha) - Região de maior altitude, consequentemente menores pressões, as pressões dessa área estão no intervalo de pressão que variam de 25-50 mca;
- Zona de pressão 2 (área amarela) – Região de altitudes intermediárias e valores de pressão médios, as pressões desta área estão no intervalo de pressão que variam de 50-75 mca;
- Zona de pressão 3 (área azul) – Região de menor altitude e maiores valores de pressão, são as áreas que possuem pressão variável entre 75-100 mca.

Na tabela 9 abaixo estão demonstrados os valores de C_1 e N_1 utilizados para a rotina de trabalho 3 determinado por Santos (2016). Neste trabalho foi utilizado somente ela para cálculo das perdas.

Tabela 9 - Valores de C1 e N1

Rotina	Área 1		Área 2		Área 3	
	$C_1 \times 10^5$	N_1	$C_1 \times 10^5$	N_1	$C_1 \times 10^5$	N_1
3	2,2520	0,4961	1,7478	0,9809	4,5191	0,4863

Os cálculos da vazão através da equação de Jowitt e Xu para cada rotina estão dispostos na tabela 10 abaixo, através dela pode-se observar quais são as estimativas de vazão no patamar mínimo e no patamar máximo de cada zona de pressão. Após a estimativa de cada patamar, foram utilizados os valores mínimos de pressão para estimar as perdas existentes na rede, para comparação utilizou-se a média da vazão de entrada do sistema que é de 11,04 l/s.

A porcentagem de perdas do sistema pode ser identificada como resultado da seguinte operação:

$$\text{Porcentagem de perdas} = (\text{vazão mínima} / \text{vazão de entrada do sistema}) \times 100.$$

Tabela 10 - Perdas no Sistema

	<i>Perdas Noturnas</i>	<i>MNF</i>	<i>Balanço Hídrico</i>	<i>Método Jowitt e Xu</i>	<i>Santos, Rotina 3</i>
Vazão mínima (l/s)	-	-	-	7,22	6,66
Vazão máxima (l/s)	-	-	-	11,12	8,23
Porcentagem de perdas	72%	65,9%	56,76%	65%	60%

Como pode-se observar as perdas calculadas pelo método Jowitt e Xu e pelo método mínimo noturno estão próximas. O maior índice de perdas calculado foi pelas perdas noturnas, quando calculadas de forma simples, sem a inserção do fator de correção. Já as perdas menores foram estimadas através do balanço hídrico, uma hipótese seria que, para cálculo por esse método deveriam ser utilizadas informações com maior número de dias monitorados.

Para melhor visualização da porcentagem de perdas ocorridas no sistema, na tabela 11 estão dispostas as dimensões volumétricas das perdas estimadas na tabela 10. A vazão de entrada no sistema segundo Fortes (2016) é de 345.475,95 m³/ano.

Tabela 11 - Perdas em m³/ano

	Perdas Noturnas	MNF	Balanço Hídrico	Método Jowitt e Xu	Santos - Rotina 3
Perdas (m³/ano)	248.742,69	227.668,65	196.092,15	227.535,73	209.949,69

5.4 Análises do Ciclo de Vida (ACV)

Foram realizadas as análises com diversos cenários, utilizando as perdas determinadas pelos métodos de perdas reais previamente calculados, assim através da análise do ciclo de vida, pode-se comparar a quantidade de emissões de CO_{2eq} para cada cenário de perdas em questão.

O primeiro cenário foi o de Perdas Noturnas, que após a inserção dos dados, resultou em uma emissão anual de 37,81 toneladas de CO_{2eq} na atmosfera.

O segundo cenário foi o método dos mínimos noturnos, que com uma produção anual de 227.668.650 litros/ano gera uma emissão na atmosfera anual de 37,34 toneladas de CO_{2eq}. Seguido pelo cenário do Balanço hídrico, cenário Jowitt e Xu, cenário Rotina 3 sequencialmente com emissões anuais de 36,67; 37,32 e 36,95 toneladas de CO_{2eq}.

O sistema analisado possui uma produção anual de 345.475.950 litros de água por ano foi considerado o cenário total e resultou em uma emissão de 39,73 toneladas de CO_{2eq} anualmente.

A tabela 12 representa os dados exibidos pelo software WEST Web após análise dos cenários do Ciclo de Vida.

Tabela 12- Resultado da análise do Ciclo de Vida

Cenário		Perdas Noturnas	MNF	Balanco Hídrico	Jowitt e Xu	Rotina 3	Total	
Produção Anual (l/ano)		248.742.690	227.668.650	196.092.150	227.535.730	209.949.690	345.475.950	
Infraestrutur a	Tubulação	Abastecimento	3	3	4	3	4	2
		Tratamento	8	9	10	9	9	6
		Distribuição	59	64	74	64	69	42
	Concreto & Construções		1	1	2	1	2	1
Operações	Eletricidade		56	61	71	61	66	40
	Combustível dos equipam.	Gasolina	1	2	2	2	2	1
		Produtos Químicos	Ajuste pH	0	0	0	0	0
	Floculantes/ Coagulantes		7	7	7	7	7	7
	Desinfetantes		11	11	11	11	11	11
	Outros		1	1	1	1	1	1
Total - gCO _{2eq} p/ cada1000 l		152	164	187	164	176	115	
Total Geral - gCO_{2eq}		37808888,9	37337658,6	36669232,0	37315859,7	36951145,4	39729734,3	
Toneladas de CO ₂ por ano		37,81	37,34	36,67	37,32	36,95	39,73	

5.4.1 Análise de sensibilidade

5.4.1.1 Produtos químicos

Pode-se observar que alguns parâmetros foram menos sensíveis à análise do ciclo de vida, por exemplo os produtos químicos utilizados para o tratamento da água. Nota-se que, independentemente da quantidade de água tratada pelo sistema, não houveram oscilações na quantidade de toneladas de emissões resultantes pelo uso desses produtos.

Exemplificando, avaliou-se o sistema do balanço hídrico, onde se contabilizam uma produção de 196.092.150 litros anuais, emitindo 7g de CO_{2eq} a cada 1 metro cúbico produzido. Da mesma forma ao produzir um volume anual de 345.475.950 litros por ano de água tratada, também são emitidos 7g de CO_{2eq} para cada 1000 litros de água produzidos. Isso mostra que a quantidade de produtos químicos utilizados é um fator que não tem sensibilidade no ciclo de vida, sobre as emissões de CO_{2eq}.

Esse fator também pode ser explicado, devido a quantidade utilizada de produtos químicos serem proporcionais ao volume de água que será produzida. Impossibilitando que sejam evidenciados possíveis desperdícios de produtos pelo programa de análise do ciclo de vida.

Dentre os impactos na mudança climática provindos da utilização de produtos químicos, se pode citar depleção na camada de ozônio e depleção de recursos minerais.

A utilização de produtos químicos no tratamento de água possui influência em aspectos como depleção da camada de ozônio e depleção dos recursos minerais. A utilização de substâncias contendo cloro usadas no tratamento de água possuem efeito negativo sobre a camada de ozônio, gerando danos à saúde humana devido ao impacto da radiação ultravioleta, causando assim o esgotamento da camada de ozônio.

Pode-se afirmar também, que o processo de tratamento da água, contribui indiretamente para o esgotamento de recursos minerais através do uso de produtos químicos.

5.4.1.2 Infraestruturas

Avaliando as infraestruturas, observa-se que quanto menor o volume de água avaliado, maior é a emissão resultante, pode-se dizer então, que a infraestrutura é um parâmetro mais sensível, dentro da análise do ciclo de vida.

Uma suposição para essa sensibilidade do fator infraestrutura é de que, em todas as análises consideramos que a infraestrutura não se alterou, seguindo com as mesmas

dimensões independentemente da quantidade de água utilizada para a produção anual. Assim, supõem-se que o programa identifica uma subutilização da infraestrutura, gerando assim uma emissão de CO_{2eq} maior.

A mesma suposição aplica-se as estruturas de concreto utilizadas, demonstrando que foram utilizadas mais estruturas de concreto do havia necessidade, devido à dimensão de água produzida anualmente pelo sistema para distribuição. A figura 12 demonstra o volume de água produzido/perdido relacionado a cada parâmetro levantado para avaliação do ciclo de vida na infraestrutura.

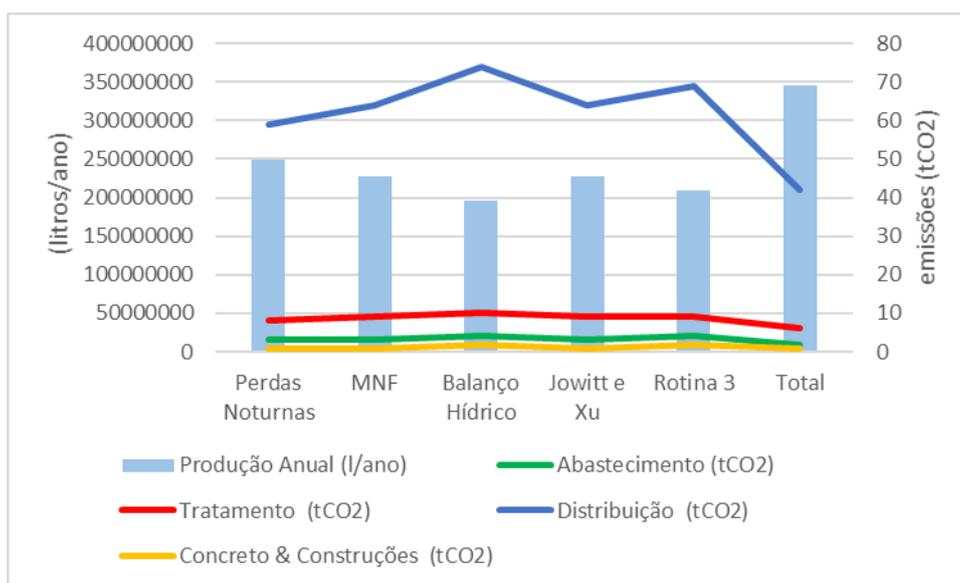


Figura 12 Infraestrutura

Através da figura percebe-se que a maior emissão dentro do parâmetro infraestrutura é resultante do fator distribuição analisado, ficando claro a relação de que, quanto maior a produção de água anual, menor são as emissões relativas à distribuição. O que reforça a suposição de que o programa avalia se as estruturas estão sendo subdimensionadas ou superdimensionadas.

Avaliando os impactos na mudança climática, se pode citar que a infraestrutura é a maior responsável pela ecotoxicidade, que são os danos causados à qualidade do ecossistema (ar, água e solo) por substâncias ecotóxicas. Um exemplo disso é o lodo gerado no tratamento de água que podem conter essas substâncias tóxicas.

Observa-se que a fase de tratamento é a segunda maior responsável pelas emissões dentro do fator infraestrutura avaliado, na categoria de impactos na mudança climática se pode citar que o tratamento influencia na depleção de recursos minerais, visto que indiretamente, o processo de tratamento de água provoca o esgotamento de minerais

através da utilização de produtos químicos. Da mesma forma se pode afirmar que a fase de tratamento contribui para efeitos respiratórios causados por poluentes orgânicos emitidos para o ar.

5.4.1.3 Eletricidade

O maior consumo de eletricidade avaliada no sistema está na fase de operações, a maior representatividade do uso dessa energia é provinda das bombas utilizadas no processo de tratamento. Já no processo de distribuição a maior utilização de energia está na distribuição da estação de tratamento até os reservatórios, do reservatório para o consumidor final é utilizada a gravidade, reduzindo assim a necessidade de utilização de energia elétrica. Por conta da topografia do local, existe um *booster* que ajuda a elevar a pressão para que a água consiga atender um ponto específico da rede.

No parâmetro eletricidade utilizada, percebe-se uma sensibilidade maior durante a análise do ciclo de vida. As oscilações na quantidade de emissões estão proporcionais a quantidade de água produzida anualmente. Na análise de energia utilizada no sistema, foram considerados que a mesma quantidade de energia demandada para abastecer um sistema de 345.475.950 litros anuais, era utilizada para o abastecimento de 196.092.150 litros, que foi o menor valor anual de produção estimado para os cenários de perdas.

Através dessa análise supõe-se que o programa, considera que o sistema de água está desperdiçando energia. Para melhor entendimento se pode citar, se o sistema produz menos água, entende-se que ele deveria utilizar uma menor quantidade de energia, visto que as dimensões volumétricas para abastecimento, tratamento e distribuição de água são menores. A figura 13 representa as emissões de CO_{2eq} resultantes do parâmetro eletricidade avaliados para cada método de perdas.

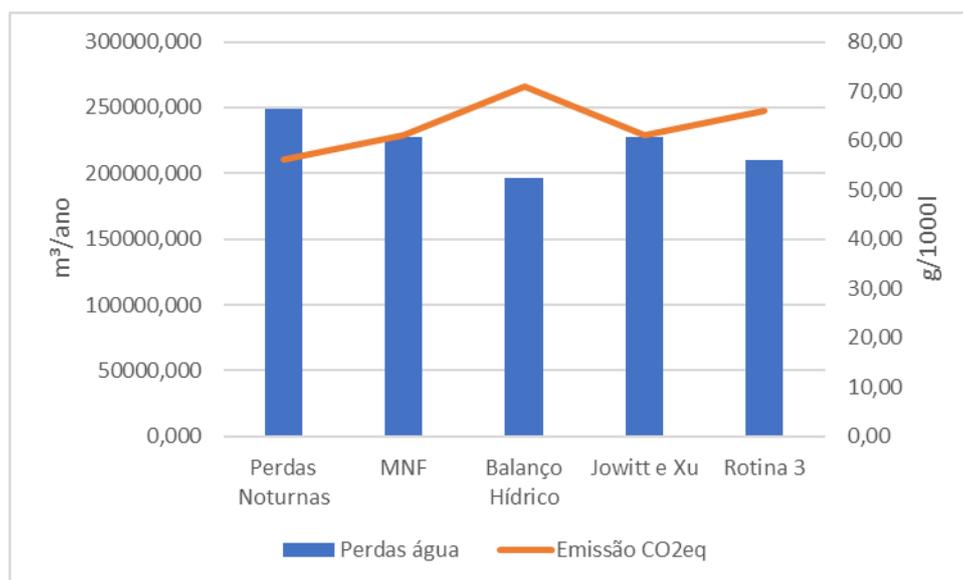


Figura 13 - Eletricidade

Quando se avaliam as perdas pelo método do balanço hídrico, considera-se que o sistema produz 196092,15m³ de água, sendo utilizados 0,47 KWh de energia para cada 1m³ de água tratada produzidas. Sendo emitidos 71 g de CO_{2eq}.

O sistema de distribuição de água existente produz 345.475,95 metros cúbicos de água tratada, utilizando 92280 KWh de eletricidade. Assim, se pode afirmar que a cada 1 m³ de água tratada produzidos são utilizados 0,27 KWh de energia elétrica. Deste processo são emitidos 40 g de CO_{2eq} na atmosfera.

Analisando as emissões equivalentes de CO₂ no uso de energia elétrica observamos que quando se compara as emissões existentes hoje com os cenários de perdas, percebemos que existe uma emissão menor, visto que o programa considera que toda a água que está sendo produzida, está sendo entregue ao consumidor. Este fato comprova que são levados em consideração a subutilização dos equipamentos do sistema no ACV.

Outro fator importante na consideração de emissões provindas da eletricidade é a fonte de geração de energia utilizada. O Brasil possui como fonte principal de geração de energia a energia hídrica, que pode ser considerada uma fonte de energia limpa, quando comparada a geração de energia elétrica provinda de combustíveis fósseis.

É importante salientar a importância de a energia vir de uma fonte geradora limpa, isso contribui diretamente para a melhoria dos aspectos ambientais na análise do ciclo de vida. Se o Brasil estivesse utilizando uma matriz energética com maior fonte de geração

provinda de combustíveis fósseis, provavelmente o sistema teria um desempenho pior em relação a utilização da energia e em sua avaliação no ciclo de vida.

5.5 Relação volumétrica das Perdas x Emissões

Foi constatado pelas análises que o volume de água produzido/perdido possui uma relação direta com a resultante de emissões na análise do ciclo de vida. Assim quanto maior as perdas de água no sistema, maiores são os fatores ambientais, em emissões de CO_{2eq}, resultantes do processo de tratamento da água.

Através da figura 14 se avalia a quantidade de água que está sendo perdida no sistema anualmente, por cada método de análise de perdas reais e compara-los com as emissões de CO_{2eq} na atmosfera.

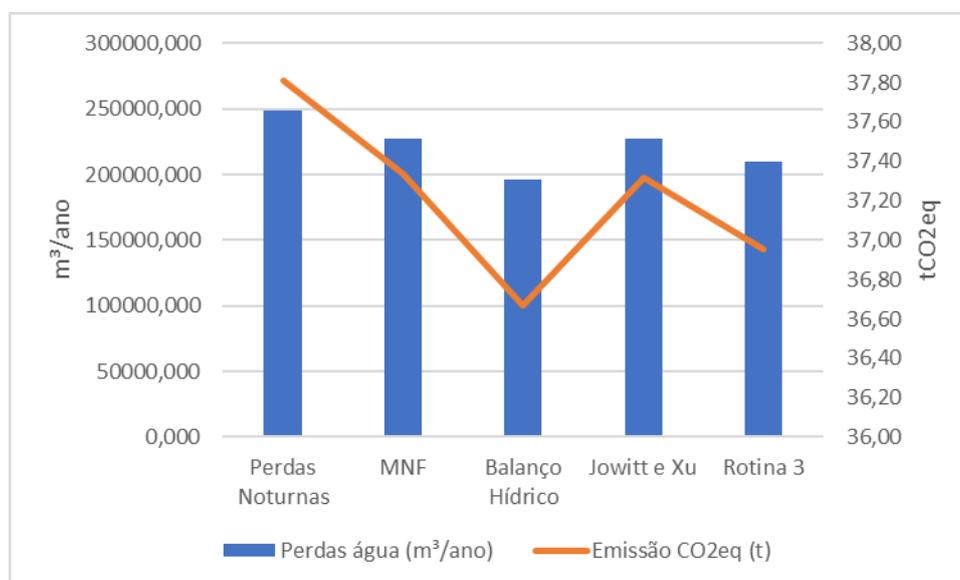


Figura 14 - Perdas x Emissões na Atmosfera

Nota-se que o método do balanço hídrico que apresenta uma perda de 196.092,00 metros cúbicos de água por ano, é o menor volume de perdas avaliado consequentemente representa a menor emissão de CO_{2eq} no sistema, com 36,60 toneladas por ano. Já as emissões de CO_{2eq} pelas perdas noturnas é a maior, visto que sua dimensão volumétrica é de 248.742,69 metros cúbicos por ano representando o maior valor de perdas na distribuição.

Adotando que a cada 1m³ de água tratada produzida são gastos 0,27 KWh de energia elétrica, pode-se ainda afirmar que a energia desperdiçada avaliada pelo método do balanço hídrico equivale a 52944,88 KWh.

É de grande importância a avaliação de todos os fatores de impacto gerados pelas perdas no sistema de distribuição. Assim, essa proporção de quanto menor as perdas, menor as emissões demonstram a importância da redução de perdas no sistema de distribuição, alertando que menores perdas resultam em menores danos ambientais, menor desperdício de água, insumos e energia.

5.6 Proporção de emissões

Através das diversas análises, percebe-se quais eram os fatores que possuíam um percentual de emissão maior em comparação aos diversos outros fatores estabelecidos, notamos assim quais fatores que influenciam ou aumentam a proporção da emissão de CO_{2eq} na atmosfera.

A maior emissão no sistema de distribuição se encontra no comprimento das tubulações existentes, no caso eles representam 40% da emissão anual total do sistema. O segundo maior fator é a eletricidade, que nesse caso corresponde à 38% de toda emissão de CO_{2eq} anual analisada no sistema pelo método mínimo noturno.

Analisando o sistema e considerando que ele está dividido dois grupos sendo eles em infraestrutura e operação, nota-se que o somatório dos componentes em operações corresponde à parte majoritária de emissões, totalizando 51% das emissões de CO_{2eq}.

Dentre os fatores com menor influência no resultado final das emissões estão as estruturas de concreto e as construções realizadas no sistema, que são responsáveis apenas por 1% da parcela total de emissões geradas pelo sistema de tratamento e distribuição de água.

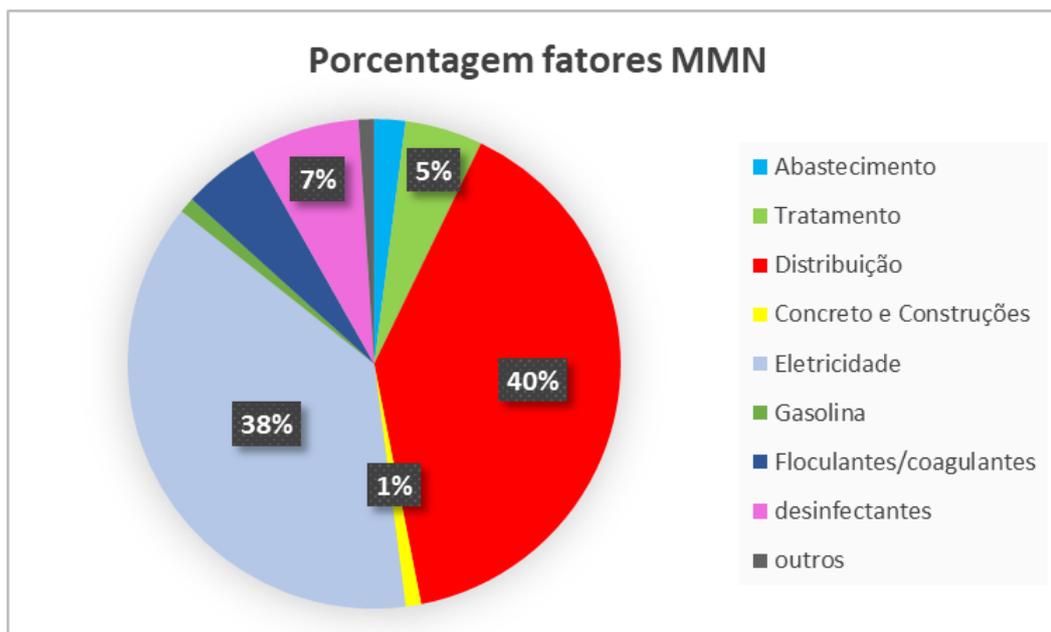


Figura 15 - Representatividade dos fatores nas emissões

Essa representatividade de emissões provindas da energia utilizada pelo do sistema alerta para que sejam feitas mudanças práticas para redução do consumo de energia na distribuição e na operação do sistema.

Dentre as melhorias se pode citar, a inserção bombas com uma melhor eficiência energética, acionamento das bombas em horários que representam um custo benefício melhor, utilização do fator gravidade em prol da economia, dentre outros.

Outro item que apresentou bastante impacto é a distribuição de água do sistema, comprovando que a estrutura da rede de distribuição possui um grande impacto ambiental, esse impacto pode ser consequências de sua configuração, da idade das tubulações e do sistema.

5.7 Impactos na Mudança Climática, Uso da água e Poluição da água

Uma segunda análise realizada no sistema foi pra identificar quais as categorias de impactos causadas pela ACV do sistema de distribuição de água.

Na análise realizada para verificar os impactos causados pelo sistema de abastecimento existente foram verificados quais eram as etapas que mais contribuíam para os resultados obtidos e estão representados na figura 16.

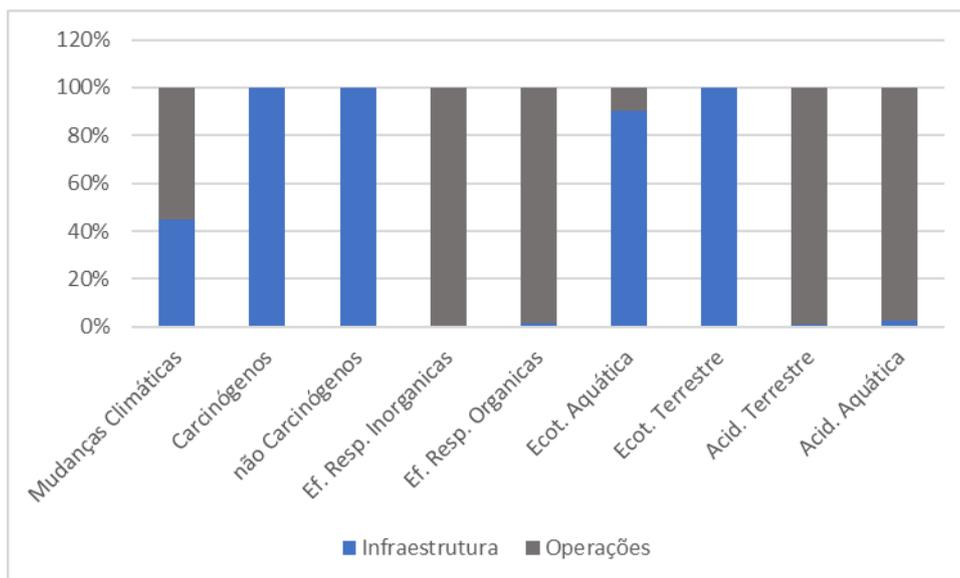


Figura 16- Contribuição relativa de cada etapa para os resultados

Pela figura observa-se que o processo de operações possui uma maior contribuição nos efeitos de mudanças climáticas. As emissões atmosféricas resultantes do tratamento de água ou de águas residuais, produzem gases de efeito estufa (CO_2 , NH_4 , N_2O). Na categoria de impactos de mudanças climáticas pode-se citar impactos indiretos na saúde humana, através do aquecimento global, aumento do nível do mar, dentre outros.

Substâncias com poder carcinógeno são geradas especificamente na etapa de infraestrutura do processo de tratamento. Essas substâncias podem causar efeitos cancerígenos nos seres humanos devido a emissões de metal pesado nos efluentes.

A ecotoxicidade aquática e terrestre é resultado da infraestrutura do sistema, devido ao lodo descartado pelo processo de tratamento da água. Esse lodo descartado pode ter substâncias tóxicas que causam danos à saúde humana.

Já a acidificação terrestre e aquática tem maior representatividade de emissões de impactos provindos da operação do sistema. Esse impacto resultante pode ser danos a qualidade do ecossistema pela disposição de substâncias inorgânicas. Nutrientes como sulfatos, nitratos e fosfatos nas águas residuais causam a eutrofização e acidificação.

5.8 Cenários Futuros

O sistema de abastecimento estudado possui uma média de perdas na rede de distribuição em torno de 63,9 %. Analisando possíveis cenários futuros, como redução nas perdas, redução na quantidade de energia utilizada pelo sistema, mudança de cenários na produção energética brasileira, foram realizadas novas análises do ciclo de vida.

5.8.1 Redução proporcional de perdas na distribuição e de energia.

Na análise de redução de perdas, foram consideradas que, da quantidade volumétrica anual de água tratada que é produzida hoje, seriam reduzidos 5%, 10%, 20% e 30% respectivamente, desta forma, consideramos que se forem reduzidas as perdas que acontecem no sistema de distribuição, a quantidade necessária de produção anual de água tratada pode ser proporcionalmente reduzida.

Assim, foram realizadas novas análises, com um volume anual reduzido proporcionalmente às reduções de perdas na rede de distribuição. Para essa análise foram consideradas que o consumo local não sofreu alterações e que o consumo de energia demandado pelo sistema de tratamento e distribuição de água também reduziu de maneira proporcional à redução nas perdas. Desta forma, o resultado das análises após a consideração de redução de perdas está disposto na tabela 13.

Tabela 13 - Cenários após redução de perdas

Cenário			5%	10%	20%	30%
Produção Anual (l/ano)			328.202.152	310.928.355	276.380.760	241.833.165
Infraestrutura	Tubulação	Abastecimento	2	2	3	3
		Tratamento	6	6	7	8
		Distribuição	44	47	53	60
	Concreto & Construções		1	1	1	1
Operações	Eletricidade		40	40	40	40
	Combustível dos Equipam.	Gasolina	1	1	1	2
	Produtos Químicos	Ajuste pH	0	0	0	0
		Floculantes/ Coagulantes	7	7	7	7
		Desinfetantes	11	11	11	11
		Outros	1	1	1	1
Total - 1000 l			118	121	129	138
Total Geral			38727853,94	37622330,96	35653118,04	33372976,77
Toneladas de CO ²			38,73	37,62	35,65	33,37

Analisando a tabela 13 se observa que houve um aumento nos efeitos ambientais resultantes da tubulação da distribuição de água. Observa-se que quando reduzimos as perdas de água em 5%, a produção anual passa a ser de 328.202,15 metros cúbicos por ano, já quando reduzimos as perdas em 30% a produção anual do sistema é de 241.833,16 metros cúbicos por ano. Em ambos os casos a dimensão linear das tubulações de distribuição continuam sendo a mesma.

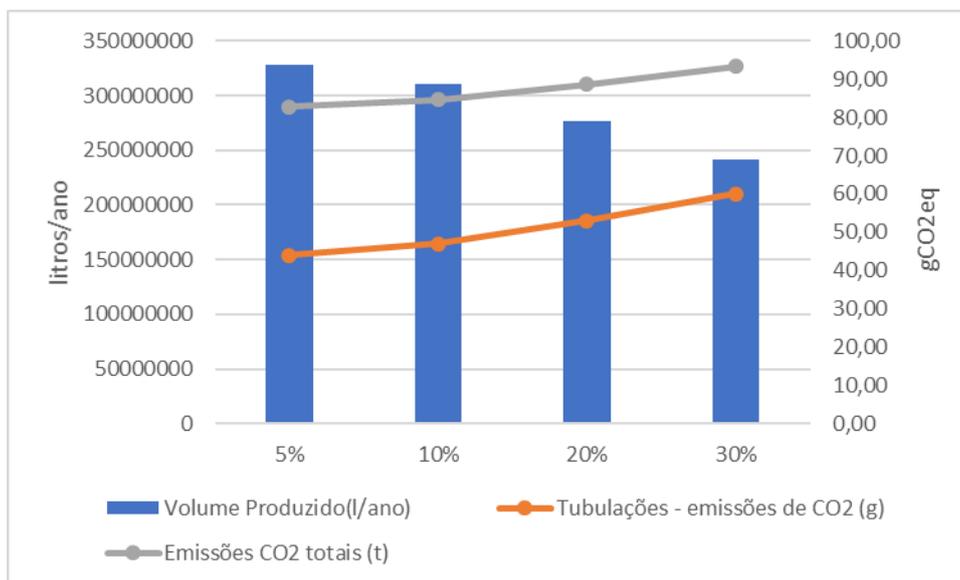


Figura 17 - Resultante das Tubulações

Avaliando o fator eletricidade se observa que como a produção de água tratada e a energia gasta para que o sistema de tratamento e distribuição funcione foram reduzidos proporcionalmente, as emissões resultantes do fator energia ficaram idênticas para todos os sistemas.

Diminuindo a energia proporcionalmente não ocorrem alterações no gasto médio de kWh para a produção de 1m³ de água, pois serão gastos os mesmos 0,27 kWh para que sejam produzidos 1 m³. Desta forma pode se concluir que a melhoria no uso da eletricidade seria a redução na quantidade de energia demandada para a produção de 1m³ de água tratada pelo sistema. Visto que, como as reduções aconteceram de forma proporcional, fez com que o programa de análise do ciclo de vida não identificasse uma melhoria na utilização da energia.

No resultado geral evidenciamos que quanto maior a redução de perdas na rede maior é a emissão de gases quando considerados as emissões correspondentes a cada 1000 litros, porém quando analisadas as emissões de maneira geral, como a produção de água

tratada demandada é menor a emissão de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ fica menor para maiores reduções nas perdas. Esse resultado total está demonstrado na figura 18.

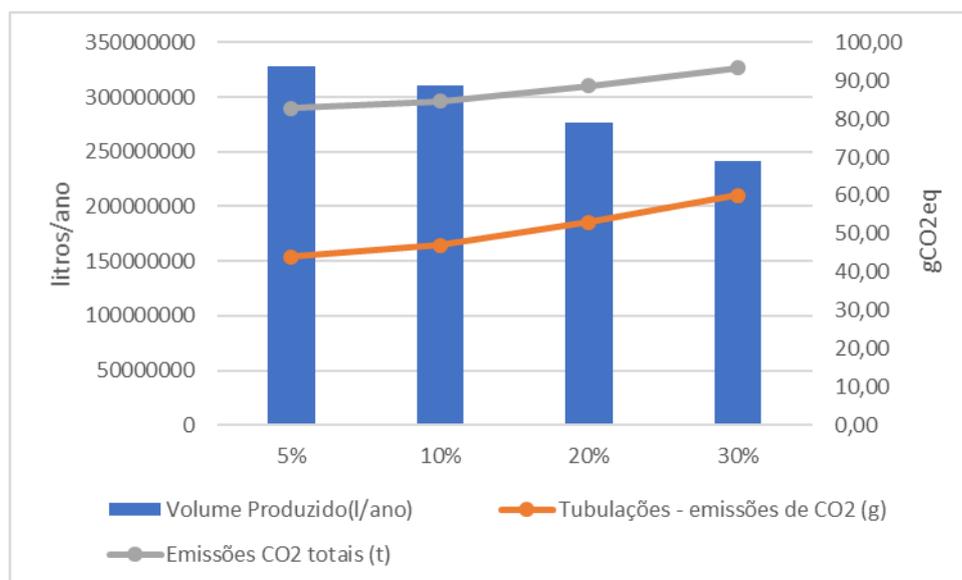


Figura 18 - Redução de proporcional de perdas e energia

Como suposto anteriormente, se evidencia que a emissão resultante da tubulação da rede de distribuição foi um fator que tem um valor significativo de influência nos resultados de análise do ciclo de vida e que impactou diretamente nos resultados da análise geral, visto que, quanto menor a produção de água considerada, maior é a subutilização da estrutura existente, resultando em uma emissão maior.

5.8.2 Redução aleatória de perdas e de energia

Foi realizada uma análise com reduções aleatórias, nesta análise foram considerados três cenários. A tabela 14 demonstra as análises realizadas.

No primeiro cenário, consideramos que foram reduzidas as perdas em 20%, assim o volume anual produzido passou a ser 276380,760 m³/ano. Neste primeiro cenário não houveram reduções na energia utilizada pelo sistema.

Tabela 14 - Reduções Aleatórias

Cenário		20% vol. Água	20% energia	15% vol. água / 25% energia	
Produção Anual (l/ano)		276380760	345475950	293654557,5	
infraestrutura	Tubulação	Abastecimento	3	2	3
		Tratamento	7	6	7
		Distribuição	53	42	49
	Concreto & Construções		1	1	1
Operações	Eletricidade		50	32	30
	Combustível dos. equipam.	Gasolina	1	1	1
	Produtos Químicos	Ajuste pH	0	0	0
		Floculantes/ Coagulantes	7	7	7
		Desinfetantes	11	11	11
		Outros	1	1	1
Total - 1000 l		139	108	115	
Total Geral		38416925,64	37311402,6	33770274,11	
Toneladas de CO ²		38,42	37,31	33,77	

No segundo cenário, considera-se que o sistema continua a produzir 345475,950 m³/ano, porém houve uma redução no consumo de energia utilizado pelo sistema da ordem de 20%. Desta forma passaram a ser utilizados uma média de 0,22 KWh para produzir 1m³ de água tratada.

No terceiro cenário foram consideradas que as perdas se reduziram em 15%, desta forma o sistema passou a produzir 293654,6 m³/ano de água. Adicionalmente, foram reduzidos o consumo de energia gasto pelo sistema, assim para a produção de 1m³ de água utiliza-se 0.202 KWh. Contabilizando uma redução de 25% com gasto de energia elétrica.

Pela análise se percebe que o melhor cenário de emissões geral é quando reduzimos as perdas de água e reduzimos a energia utilizada no processo. Desta forma são emitidos 33,77 tCO_{2eq}. As emissões resultantes do processo de eletricidade têm o melhor desempenho quando comparado aos outros dois cenários.

Avaliando o cenário de redução da energia utilizada se percebe que as emissões relativas aos processos de infraestrutura tiveram uma emissão menor, uma suposição para esse acontecimento é que a análise considera que a redução de energia pode contribuir com essas estruturas e diminuir os impactos ambientais gerados.

Reduzindo somente as perdas de água se constata que foi o pior desempenho do cenário de emissões avaliados, este cenário pode ser justificado pois quando reduzimos a quantidade de água a ser produzida a energia utilizada pelo sistema passou de 0,27 KWh/m³ para 0,33KWh/m³ diminuindo assim a eficiência energética do sistema.

Essa análise confirma a importância da avaliação das perdas de água junto à energia do sistema, como dois fatores que se completam. Conclui-se que é necessário que a redução de perdas no sistema esteja alinhada a redução da energia consumida, trazendo ao sistema uma melhoria na eficiência energética. A redução de perdas e energia pode ser alcançada através de melhorias no processo de manutenção, diminuição da pressão da rede, melhor utilização das bombas entre outros.

É preciso enfatizar que nosso sistema energético também é um grande influenciador das emissões provindas do uso da eletricidade, assim mudanças no cenário energético brasileiro podem influenciar diretamente nas emissões resultantes do uso da energia pelos sistemas de abastecimento.

6 CONCLUSÃO

Dentre os métodos de cálculos para determinação de perdas reais do sistema de abastecimento pode-se perceber que todos os procedimentos utilizados não se distanciaram de um valor próximo de perdas. O cálculo de perdas pelo método mínimo noturno e pelo método de Jowitt e Xu ficaram próximos, com uma porcentagem de perdas de 65,9% e 65% respectivamente.

O método que identificou a menor perda do sistema foi o método do Balanço hídrico que contabilizou uma perda de 56,76 % indicando que 196.092,15 m³ de água produzidas são perdidas anualmente.

A maior perda relatada está no método de Perdas Noturnas, isso pode ser explicado devido a esse método ser uma estimativa “grosseira” de perdas, sendo que não foi utilizado nenhum parâmetro para calibração. Para as Perdas Noturnas foram identificados uma porcentagem de perdas equivalente a 72%, o equivalente a 248.742,69 metros cúbicos por ano.

Após a avaliação das perdas foram realizadas as análises do ciclo de vida, por intermédio do programa de ACV WEST Web. Foram avaliados cada método de perdas, assim considerava-se que o sistema produziria a quantidade anual de água equivalente as perdas, e o cenário real de produção existente.

Através das análises, se percebe que as perdas são responsáveis pela maior parte das emissões equivalentes em CO₂ e que os fatores que mais influenciam nessas emissões são relativas a estrutura de tubulações e a energia desperdiçada pelo sistema.

Na avaliação de sensibilidade da utilização de produtos químicos se percebe que o programa não consegue identificar a subutilização dos produtos, assim, independentemente da quantidade de água tratada, as emissões provindas do uso de produtos químicos continuam as mesmas, esse resultado pode ser explicado pelo fato que, a quantidade de produtos químicos utilizados está diretamente relacionado à quantidade de água que será tratada pelo sistema.

Dentre as emissões provindas do sistema de abastecimento, pode-se citar a análise do cenário pelas perdas do balanço hídrico, que detectou menor perda, ainda sim, essas perdas emitem na atmosfera 36,6 toneladas de CO₂ equivalentes. Além disso identificou-se que a fase de operações do sistema de abastecimento é a responsável por mais da metade das emissões. O que reforça a necessidade de melhoria na eficiência das operações, do sistema de abastecimento de água.

Ainda na infraestrutura notou-se que a análise do ciclo de vida identifica uma subutilização do sistema, pois as mesmas estruturas foram consideradas para diversos cenários, mostrando que quanto menor a quantidade de água utilizada maior era a emissão das estruturas, mostrando a importância do dimensionamento correto das redes de abastecimento.

A energia é um fator que tem grande influência na avaliação do ciclo de vida, notou-se que quando foram simulados a diminuição de perdas sem alterar a energia, fez com que as emissões relativas ao fator energia aumentasse, visto que se utilizava mais Kwh por metro cúbico de água tratada. Demonstrando a importância da eficiência energética no sistema de abastecimento.

Assim, afirma-se, que é necessário que aconteça a redução de perdas, porém deve-se aumentar a eficiência energética do sistema. Essa melhoria pode ser atingida através de melhores utilizações das bombas, seja através de substituição por bombas mais eficientes, pelo melhor uso da topografia do local, utilizando a gravidade a favor do sistema afim de aumentar a eficiência energética do sistema.

Para o sistema existente foram avaliados os fatores que contribuem com os impactos gerados que podem gerar danos à saúde humana. A ecotoxicidade terrestre foi o fator de maior resultante. Esse impacto é resultado do descarte de lodo e substâncias tóxicas ao meio ambiente. Essa análise deixa claro a importância do tratamento de efluentes para a redução de danos ao ambiente e a saúde humana e ao descarte correto das substâncias geradas no sistema de tratamento de água.

Por último e não menos importante foram avaliados possíveis cenários futuros para redução de perdas, redução de energia e perdas e energia de forma conjunta, essa avaliação deixou mais clara a importância de se trabalhar perdas e energia de maneira conjunta, pois são fatores que se influenciam e se completam.

7 RECOMENDAÇÕES PARA NOVAS PESQUISAS

Avaliar planos para reduções de energia e água na rede de distribuição estudada;

Avaliação mais detalhada do Ciclo de Vida e dos impactos gerados ao meio ambiente;

8 REFERÊNCIAS

- ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate.** In: 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Goiânia, GO. Setembro, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Dispõe sobre o enquadramento das águas do Rio Verde. Deliberação Normativa COPAM n.33, 18 de dezembro de 1998. **Lex:** Diário executivo Minas Gerais. 24 de dezembro de 1998.
- ALEGRE, H.; COELHO, S. T.; ALMEIDA, M. C.; VIEIRA, P. **Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição.** Instituto Regulador de Águas e resíduos. Instituto da Água. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Nov. 2005.
- ALKASSEH, J. M. A.; ADLAN, M. N.; ABUSTAN, I.; AZIZ, H. A.; HANIF, A. B. M. Applying minimum night flow to estimate water loss using statistical modeling: A case study in Kinta Valley, Malaysia. **Water Resources Management**, Amsterdam, v. 27, n. 5, p. 1439-1455, Mar. 2013. DOI: 10.1007/s11269-012-0247-2
- ANDRADE, M. R. **Balço hidroenergético de sistema de distribuição de água aplicado a um setor do município de Cambuí - MG.** 210 p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, MG. 2016.
- ARAÚJO, L. S.; RAMOS, H.; COELHO, S. T. Pressure Control for leakage minimization in water Distribution Systems Management. **Water Resources Management**, Reston, v. 20, n. 1, 133-149, Feb. 2006. DOI: 10.1007/s11269-006-4635-3
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218:** Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público: Procedimento. Rio de Janeiro, 2017.
- BALESTIERI, J. A. P.; VILANOVA, M. R.N. Exploring the water-energy nexus in Brazil: the electricity use for water supply. **Energy**, v. 85, p. 415-432, 2014.
- BARBEAU, B.; FOTSING, M.; PREVOST, M. Low-level bromate analysis in drinking water by ion chromatography with optimized suppressed conductivity cell current followed by a post-column reaction and UV/Vis detection. **Journal of Environmental Science and Health Part A**, v. 46, n. 4, p. 420-425, Mar. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/10934529.2011.542401>
- BARJOVEANU, G.; COMANDARU, I. M.; GARCIA, G. R.; HOSPIDO, A.; TEODOSIU, C. Evaluation of water services system through LCA. A case study for Iasi City, Romania. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, n. 2, p. 449, Sep. 2013. DOI: DOI 10.1007/s11367-013-0635-8
- BOBSIN, D. **Estudo de demanda hídrica em sistema de abastecimento de água na cidade de São Lourenço - MG.** 112 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.

BUCKLEY, C.; FRIEDRICH, E.; BLOTTNITZ, H. V. Life-cycle assessments in the South African water sector: A review and future challenges in: WATER RESEARCH COMMISSION 40-YEAR CELEBRATION CONFERENCE, 5., 2011, Kempton Park. **Anais...** Kempton Park: WATER SA: 2011. p. 719-726.

BRANDT, M. J.; JOHNSON, K. M.; ELPHINSTON, A. J.; RATNAYAKA, D. D. TWORT'S Water Supply. 7. ed. Oxford: Elsevier LTD, 2016.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2016**. Brasília: Ministério das cidades; 2017. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>> Acesso em: 03 mar. 2018.

CABRERA, E.; PARDO, M. A.; COBACHO, R.; CABRERA JR, E. Energy Audit of Water Networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**. V. 136, n.6, pp. 669-677. Nov. 2010.DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000077

CHEUNG, P. B.; KIPERSTOK, A.; COHIM, E.; ALVES, W. C.; PHILIPPI, L. S.; ZANELLA, L.; ABE N.; GOMES, H. P.; SILVA, B. C.; PERTEL, M.; GONÇALVES, R. F. Consumo de Água. *IN: GONÇALVES, R. F. (org.). Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água*. PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. V. 1. 290p. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-efinanciamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_5.pdf>. Acesso em Abril.2017.

FONTANA, N.; GIUGNI, M.; PORTOLANO, D. Losses Reduction and Energy Production in Water-Distribution Networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 138, n. 3, p. 237-244, May 2012. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000179.

FORTES, L. R. **Análise de perdas de água e relações energéticas em sistema de distribuição de água utilizando metodologia de balanço hídrico**. 82 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2016.

GOULART, T. D. C. **Estudos de aprimoramento de algoritmo de calibração e aplicação em rede de distribuição de água de Cambuí (MG)**. 197 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2015

GHORBANIAN, V.; KARNEY, B.; GUO, Y. Intrinsic relationship between energy consumption, pressure, and leakage in water distribution systems. **Urban Water Journal**, London, v. 14, n. 5, p. 515-521, Sept. 2016. DOI: 10.1080/1573062X.2016.1223325.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/sao-lourenco/panorama> > Acesso em: out. 2018.

JOWITT, P.W.; XU, C. (1990). **Optimal Valve Control in Water Distribution Networks**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v.116, n.4, p.455-472, July 1990. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1990\)116:4\(455\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1990)116:4(455))

LANE, J. L.; HAAS, D. W.; LANT, P. A. The diverse environmental burden of city-scale urban water systems. **Water research**, Queensland, v. 81, p. 398-415, Mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.03.005>

LAMOGLIA, H. A. **Estudo da correlação entre perdas de água e energia para setores do sistema de abastecimento de água da cidade de São Lourenço - MG**. 236 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2013.

LAUCELLI, D. B.; SIMONE, A.; BERARDI, L.; GIUSTOLISI, O. Optimal design of district metering areas for the reduction of leakages. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 143, n. 6, p. 1-12, Feb. 2017. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000768.

LEMONS, D.; DIAS, A. C.; GABARRELL, X.; ARROJA, L. Environmental assessment of an urban water system. **Journal of cleaner production**, v. 54, p. 157-163, May 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.029>

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (Brasil) (ONS). **Energia agora: Carga e Geração**. Disponível em: < <http://ons.org.br/paginas/energia-agora/carga-e-geracao> > Acesso em 05 de novembro de 2018.

PAGE, P. R.; ABU-MAHFOUZ, A. M.; YOYO, S. Parameter-Less remote real-time control for adjustment of pressure in water distribution systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v.143, n. 9, p. 1-7, Sep. 2017. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000805

PAOLA, F.; GIUGNI, M.; PORTOLANO, D. Pressure Management through Optimal Location and setting of valves in water distribution networks using a music inspired approach. **Water resources Management**, Reston, v. 31, n. 5, p. 1517-1533, Feb. 2017. DOI: 10.1007/s11269-017-1592-y

PLAPPALLY, A. K. et al. Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 7, p. 4818-4848, June 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.022>

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. São Carlos: EESC – USP, 2006. p. 169-184.

MAHGOUB, M. El-S. M. et al. Towards sustainability in urban water: a life cycle analysis of the urban water system of Alexandria City, Egypt. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 10, p. 1100-1106, 2010. DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.02.009

MAMADE, A.; LOUREIRO, D.; ALEGRE, H.; COVAS, D. A comprehensive and well tested energy balance for water supply systems. **Urban Water Journal**, London, v. 14, n. 8, p. 853-861, Feb. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/1573062X.2017.1279189>.

MELATO, Débora Soares. **Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 133p. São Paulo, 2010.

MULTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems. **Journal of Water Resources**

Planning and Management, Reston, v.139, n. 2, p. 166-174, Mar. 2013. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000245.

RACOVICEANU, A. L.; KARNEY, B. W.; KENNEDY, C. A.; COLOMBO, A. F. Life-cycle Energy use and greenhouse gas emissions inventory for water treatment systems. **Journal of Infrastructure Systems**, Dover, v. 13, n. 4, p. 261-270, Dec. 2007. DOI: 10.1061/(ASCE)1076-0342(2007)13:4(261)

SANTOS, J. **Estudo de Modelo de calibração para ajuste de parâmetros de rugosidade, demanda e vazamento visando a eficiência hídrica e energética em redes de abastecimento de água. Estudo de caso em São Lourenço – MG.** 185p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2016.

SENANTE, M. M.; ARCE, M. M.; GARRIDO, R. S. Estimating the environmental and resource costs of leakage in water distribution systems: A shadow price approach. **Science of the Total Environment**, Santiago, v. 568, p. 180-188, June 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.020>

SILVA, F. G. B. **Estudos de calibração de redes de distribuição de água através de algoritmos genéticos.** 2003. 234 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2003. CD-ROM.

SIQUEIRA, M. G.; CARDOSO, S. C.; CUEVAS, A. L. Y.; FREITAS, F. F. Análise do Ciclo de vida do Sistema de Tratamento e Distribuição de Água: Uma revisão e análise comparativa de artigos. In: Seminário de Meio Ambiente e Energias Renováveis. 8., Itajubá, **Anais...** Itajubá: 2018

STOKES, J. R.; HORVATH, A. Life cycle energy assessment of alternative water supply systems. **The international Journal of Life Cycle Assessment**, Berlin, v. 11, n. 5, p. 335–343, Sep. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1065/lca2005.06.2>

STOKES, J. R.; HORVATH, A. Energy and air emission effects of water supply. **Environmental Science & Technology**, Berkeley, v. 43, n. 8, p. 2680–2687, Mar. 2009. DOI: 10.1021/es801802h

STOKES, J. R.; HORVATH, A.; STURM, R. Water Loss Control Using Pressure Management: Life-cycle Energy and Air Emission Effects. **Environmental Science & Technology**, Berkeley, v.47, n.8, p. 10771-10780, July 2013. DOI: 10.1021/es4006256.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. **Water Loss Control**. 2. Ed. New York: Ed. McGraw-Hill, 2008.

TUCCIARELLI, T.; CRIMINISI, A.; TERMINI, D. Leak analysis in pipeline systems by means of optimal valve regulation. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.125, n. 3, p. 277-285, mar. 1999. DOI [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:3\(277\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:3(277))

VENTURINI, M. A. A. G. **Metodologia de Análise e decisão multicriterial para a reabilitação de Sistemas de Abastecimento de Água.** 2003. 289 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil - Unicamp, Campinas, 2003. Disponível em:

<http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258757/1/Venturini_MariaAliceAmadoGouveia_D.pdf> Acesso em: ago., 2017.

VICENTE, D. J.; GARROTE, L.; SÁNCHEZ, R.; SANTILLÁN, D. Pressure Management in water distribution systems: Current status, proposals, and future trends. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 142, n. 2, p. 1-13, Mar. 2016. DOI:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000589.

VICENTINI, L. P. **Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água**. 2012. 196p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP.

WESTweb: **Water Energy Sustainability Tool**. Version 1.2. [Berkeley]: Stokes, J.; Horvath, A., 2011. Disponível em: <<http://west.berkeley.edu/>>. Acesso em: jun., 2017.

XU, Q.; CHEN, Q.; MA, J.; BLANCKAERT, K.; WAN, Z. Water saving and energy reduction through pressure management in urban water distribution networks. **Water Resources Management**, Amsterdam, v. 28, n. 11, p. 3715-3726, Sept. 2014a. DOI: 10.1007/s11269-014-0704-1.

XU, Q.; LIU, R.; CHEN, Q.; LI, R. Review on water leakage control in distribution networks and the associated environmental benefits. **Journal of Environmental Sciences**, Beijing, v. 26, n. 5, p. 955-961, May 2014b. DOI: 10.1016/s1001-0742(13)60569-0