

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS - UEG
CAMPUS CORA CORALINA
CURSO DE LICENCIATURA EM MATEMÁTICA

**COMO O MÉTODO PHOMETHEE I PODE AJUDAR A COMBATER
PERDAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA -2018**

Goiás-GO
2018

WESLEY DE BARROS

**COMO O MÉTODO PHOMETHEE I PODE AJUDAR A COMBATER
PERDAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA -2018**

Monografia apresentada à Universidade Estadual de Goiás - Campus Cora Coralina como requisito parcial para a conclusão do Curso de Licenciatura em Matemática.

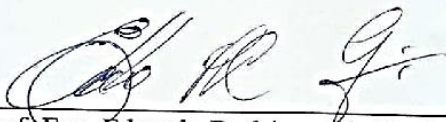
Orientador: Professor Esp. Eduardo Rodrigues da Cunha Guasco.

**Goiás-GO
2018**

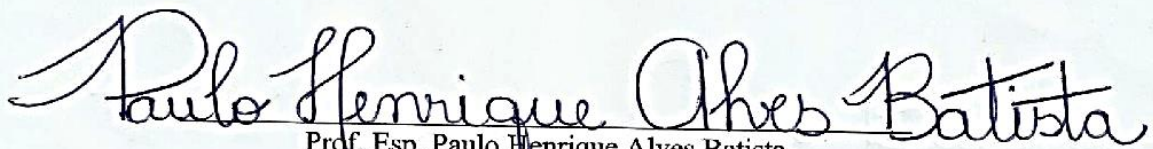
WESLEY DE BARROS

**COMO O MÉTODO PROMETHEE I PODE AJUDAR A
COMBATER PERDAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA -2018**

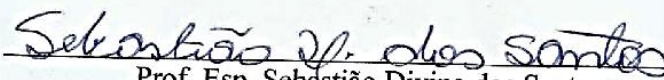
Trabalho de Conclusão do Curso
apresentado como requisito parcial para a
obtenção do título Licenciatura em
Matemática da Universidade Estadual de
Goiás - UEG, Campus Cora Coralina.
TCC foi aprovado em 04/12/18, pela
banca examinadora composta pelos
professores:



Prof. Esp. Eduardo Rodrigues da Cunha Guasco
Orientador - UEG - Campos Cora Coralina



Prof. Esp. Paulo Henrique Alves Batista
UEG - Campos Cora Coralina



Prof. Esp. Sebastião Divino dos Santos
UEG - Campos Cora Coralina

Goiás-GO
2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha querida esposa Rubla Moame Lima de Barros, ao meu filho Pedro de Lima Barros e todos meus familiares, que estiveram sempre ao meu lado nos melhores e piores momentos. Obrigado pelo apoio e carinho e por tornar meus dias especiais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades, que permitiu que tudo isso acontecesse.

Ao meu Papai José Divino de Barros e à minha Mamãe Dirce Alves Barbosa, pela força, suporte, incentivo, educação, apoio e carinho recebido durante minha vida toda.

A minha irmã Suzane e seu esposo Fabricio, por acreditarem que um dia venceria essa batalha.

A minha esposa, Rubla e meu filho Pedro, a quem amo muito; a presença de vocês foi de fundamental importância nesta conquista.

Aos meus avós paternos, Osvaldo e Francisca por proporcionar momentos de alegria em minha vida toda, e a todos meus familiares. Amo todos vocês.

Ao meu sogro e sogra, Alaerso e Madalena.

A meu grande amigo e incentivador Alexandre Gomes de Souza.

Aos meus colegas de trabalho que contribuíram com minhas pesquisas

Ao meu Orientador e Professor, Eduardo Rodrigues da Cunha Guasco, pela paciente e disposição na elaboração deste trabalho.

A todos os professores que participaram desta jornada.

RESUMO

O presente projeto tem por objetivo geral a aplicação do método Promethee na identificação dos motivos da perda de água no sistema de saneamento do município de Itaguari-Go, e as condições determinantes de variação no volume de perdas em diferentes regiões. A fim de apurar tais dados, a cidade foi dividida em duas regiões com semelhante densidade populacional residente na área de estudo. Os critérios de diferenciação foram a pressão da água aferida na tubulação, o tráfego de veículos pesados e máquinas agrícolas, a qualidade e idade do material empregado no abastecimento e a execução do projeto de engenharia. No método, além da coleta de dados de campo, foram analisados livros, monografias, dissertações e outros materiais de cunho acadêmico, além de informações colhidas no Sistema Integrado de Prestação de Serviço e Atendimento ao Público da SANEAGO. Ao final da pesquisa, restou evidenciado que, estudado pelo Promethee, no município de Itaguari há o eficaz atendimento direcionado às regiões com maiores perdas, refletindo diretamente do baixo índice de perda indevido da água encanada.

Palavras – chave: Perdas de água, PHOMETHEE, priorização.

ABSTRACT

The purpose of this project is to apply the Promethee method to identify the reasons for the loss of water in the Itaguari-Go sanitation system, and the conditions that determine the volume of losses in different regions. In order to ascertain such data, the city was divided into two regions with similar population density residing in the study area. The differentiation criteria were the pressure of the water measured in the pipeline, the traffic of heavy vehicles and agricultural machinery, the quality and age of the material used in the supply and the execution of the engineering project. In the method, in addition to field data collection, books, monographs, dissertations and other academic materials were analyzed, as well as information gathered from SANEAGO's Integrated Service and Public Attendance System. At the end of the search it was evidenced that, studied by Promethee, in the municipality of Itaguari there is an effective service directed to the regions with the highest losses, directly reflecting the low rate of undue leakage of the piped water.

Keywords: water losses, PHOMETHEE, prioritization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Balanço Hídrico	17
-----------------	-----------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Sistema convencional de abastecimento.....	15
Figura 2	Ilustração de vazamentos.....	19
Figura 3	Diagrama esquemático para controle de perdas reais.....	20
Figura 4	Diagrama esquemático para gerenciamento das perdas aparentes... ..	21
Figura 5	Função de preferência.....	31
Figura 6	Superação do valor.....	34
Figura 7	Fluxo de superação.....	34
Figura 8	Fluxo de superação.....	35
Figura 9	Plano GAIA Alternativas e Critérios.....	36
Figura 10	Interface de entrada de software PROMETHEE <i>Academic</i>	43

MAPA

Mapa 1	Cidade de Itaguari.....	39
---------------	-------------------------	----

TABELA

Tabela 1	Matriz de Avaliações.....	28
Tabela 2	Pesos de Importâncias Relativas.....	30
Tabela 3	Funções de preferência do método PROMETHEE.....	32
Tabela 4	Matriz de desempenho.....	42
Tabela 5	Tipo da função de preferência.....	42
Tabela 6	Tabela de Fluxo PROMETHEE.....	44

GRÁFICOS

Gráfico 1	Índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços de abrangência regional participantes do SNIS em 2015 e 2016.....	24
Gráfico 2	Ordenamento PROMETHEE.....	44
Gráfico 3	Representação gráfica do PROMETHEE GAIA.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANF	Água Não Faturada
AF	Água Faturada
DM	Distrito de Medição
ETA	Estação de Tratamento de Água
FUNDASE	Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento da Administração, Contabilidade e Economia
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPD	Índice de Perda na Distribuição
IPL	Índice de Perda por Ligação
IWA	<i>International Water Association</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PVC	Policloreto de Polivinila
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SANEAGO	Saneamento de Goiás S/A
SNSA	Sistema Nacional de Saneamento Ambiental
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
VMN	Vazão Mínima Noturna
VNA	Vazão Noturna de Abastecimento
VNL	Vazão Noturna Líquida
VRP	Válvula Redutora de Pressão

LISTA DE SIMBOLOS

%	Porcentagem
DN	Diâmetro Nominal
l/s	Litros por segundo
m ³ /h	Metros cúbicos por hora
mca	Metros de coluna d'água
mm	milímetros
° ' ''	Graus, minutos e segundos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	15
2.1. IWA (International Water Association).....	16
2.2. Perda Real.....	18
2.3. Perda Aparente.....	21
2.4. Perdas de Águas no Brasil.....	22
2.5. A Companhia Saneamento de Goiás S.A – Saneago.....	24
3. MÉTODOS PROMETHEE.....	27
3.1. Funções de Preferências ou Critérios Generalizados.....	29
3.1.1. Informações Intercritério.....	29
3.1.2. Informação Intracritério.....	30
3.2. Índice de Preferência.....	33
3.3. O Fluxo de Sobreclassificação de Saída.....	34
3.4. O Fluxo de Sobreclassificação de Entrada.....	35
3.5. O Método PROMETHEE.....	35
3.6. Módulo Interativo Visual GAIA.....	36
4. UTILIZAÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE.....	38
4.1. Estudo de Caso.....	38
4.2. Divisão as Áreas.....	38
4.3. Identificação das Alternativas.....	40
4.4. Priorização.....	41
4.5. Definição de Funções de Preferências.....	42
4.6. Análise de Resultados.....	43
5. CONCLUSÃO.....	47
6. REFERÊNCIAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

O "Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos", realizado com base em dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2018), aponta que o índice de perdas de água das companhias de saneamento é altíssimo. A média nacional registrada em 2016 foi de 38,1%, tendo um acréscimo de 1,1 % em comparação a 2015.

Conforme o estudo, na comparação dos prestadores de serviços de abrangência regional, apenas 01 (uma) empresa de saneamento registrou, em 2016, indicadores inferiores a 30%; já a Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO) ficou entre os 12 prestadores que apresentaram índice superior a 30% e inferior a 40%, com média anual de 30,1%, ficando abaixo da média nacional. Se comparar com outros países como Japão e Alemanha o percentual fica ainda mais elevado, pois suas perdas se aproximam dos 10%.

Diante disso, segundo a publicação, sabe-se que as perdas de água são um assunto relevante e sempre atual devido à escassez hídrica; além da sua relação com a saúde financeira dos prestadores de serviços, ficando a cargo das companhias o desafio para a redução das perdas e o gerenciamento apropriado, com ações contínuas de redução e controle para assegurar benefícios em curto, médio e longo prazos, com eficiência e eficácia.

A GO Associados, traz o conceito de perdas de água em um sistema de abastecimento que teoricamente se dividem em reais e aparentes, essa distinção é importante pois as ferramentas para a gestão e para o combate a cada uma das tipologias são distintas.

Nessa perspectiva, diante do alto índice de perdas de água e a falta do recurso hídrico percebe-se a necessidade de minimizar as perdas. Portanto, indaga-se: há possibilidade de identificar as origens dos vazamentos e os setores que influenciam nas perdas de água de uma cidade?

O presente projeto tem por objetivo geral a aplicação do método Promethee na identificação dos motivos da perda de água no sistema de saneamento do município de Itaguari-Go, e as condições determinantes de variação no volume de perdas em diferentes regiões. Os dados serão fornecidos pela empresa, e avaliados junto com os decisores, os critérios, pesos e as preferências por meio do *software*, com o ranking parcial do PROMETHEE I.

Para tanto, foram traçados os seguintes objetivos específicos: a separação de duas áreas da cidade, uma contendo alta pressão nas tubulações e a outra com baixa pressão nas tubulações; levantamento da idade de instalação dos materiais; fluxo de veículos pesados e

agrícolas; a qualidade da execução do projeto das instalações das tubulações e qualidade empregada nos materiais (tubos, joelhos e etc.).

Parte-se da hipótese que as estratégias usadas pelas empresas no combate às perdas de água em seus sistemas de abastecimento são ineficazes, pois é adotado o combate geral às perdas d'água, sem especificação de intervenção nas perdas por setores ou distrito de medição (DM).

Assim para viabilizar a tese da hipótese, realiza-se uma pesquisa de efeito sucinto, com abordagem qualitativa e quantitativa realizada com procedimentos bibliográficos e documentais.

No primeiro capítulo, são descritos um sistema de abastecimento de água e suas perdas, a importância da IWA e a metodologia de cálculo usados para conceituar perdas em um sistema de abastecimento, as perdas de água com suas especificações e causas, as perdas de água no Brasil e a história e perdas de água da SANEAGO.

No segundo capítulo, é apresentado o método PROMETHEE, suas informações de preferência, fluxo de saída e de entrada, o método PROMETHEE I e o visual GAIA.

No terceiro capítulo, faz-se o apuração dos dados fornecidos pela SANEAGO com avaliação dos tomadores de decisão identificando as alternativas, os critérios, o processo de priorização, as definições das funções de preferência, aplicados no *software visual* PROMETHEE e avaliação de resultados

Ao final, conclui-se que os objetivos são atendidos, e a pergunta resta respondida com a confirmação da hipótese, indicando que se faz necessário a mudança de hábito das empresas de saneamento, com adoção de uma nova e distinta estratégia em que visa focar suas forças em pontos que possam influenciar o aumento de suas perdas.

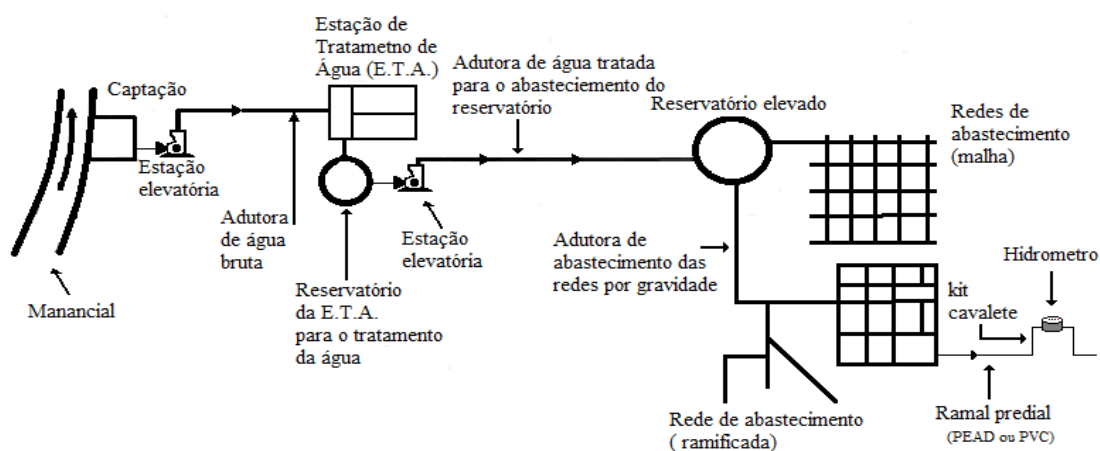
2. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (SAA)

Os sistemas de abastecimento têm a finalidade atender a demanda de água de pequenas e grandes cidades, tratar a água até que fique própria para o consumo humano e transportar essa água até o consumidor final.

Segundo o Ministério da Saúde em sua publicação Manual do Saneamento (2004), conceitua-se água potável como água em condições de ser ingerida pelo ser humano, devendo atender certos requisitos como descontaminação microbológica, física, química, e radioativa, não oferecendo riscos à saúde. O Ministério traz também a definição de um sistema de abastecimento de água como um conjunto de obras, materiais e equipamento designados para produção e a distribuição de água potável, tendo por responsável o poder público.

Além disso, a SANEAGO descreve um sistema de abastecimento de água como um processo que inicia-se na captação de água bruta de um manancial de superfície ou poços de perfuração profundas que atinjam os lenções freáticos ou até mesmo aquíferos. Após esse processo de captação, a água é transportada para Estação de Tratamento de Água (ETA) através de bombeamento ou gravidade e, posteriormente, é feito seu tratamento. Após o tratamento, ela é transportada pelo mesmo processo de bombeamento ou gravidade para um reservatório que pode ser apoiado ou elevado. Em seguida, a água será levada por gravidade até o consumidor, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1: Sistema convencional de abastecimento.



Fonte: O próprio autor

Segundo prerrogativas estabelecidas ao sistema de abastecimento de água, as empresas de saneamento tem o desafio de combater e reduzir as perdas de água em seus

sistemas, haja vista que um sistema de abastecimento tem a eficiência total de seu transporte de água comprometido devido a fatores como má execução do projeto, materiais de baixa qualidade e mão de obra não especializada empregados na montagem do sistema, intensidade de tráfego de máquinas pesadas, intervenção de terceiros e erros de medição nos macros e micromedidores e outros. Por estes fatores, pode-se dizer que um sistema de abastecimento sempre apresentará perdas, mesmo que seja muito baixa, próximo a zero. (FUNDASE, 2013).

2.1 IWA (*International Water Association*)

Para falar de perdas de água é relevante citar a IWA, uma associação sem fins lucrativos de âmbito internacional, com missão de idealizar e fomentar uma rede mundial de profissionais ligados à água, que em 1997 desenvolveu padrões de conceitos e indicadores relacionados a água, como também classificou as perdas em reais, sendo todo volume perdido no processo de produção, e as perdas aparentes, ligada aos erros de medição. Tal classificação possibilita a comparação entre sistemas de abastecimento de água em qualquer lugar do mundo (FUNASA 2014).

“Até alguns anos atrás, a metodologia de avaliação das perdas mudava entre países e empresas. A IWA procurou padronizar o entendimento dos componentes do uso da água em um sistema de abastecimento, através do Balanço Hídrico” GO Associados (2018, p.9).

O Balanço Hídrico é definido como a representação dos tipos de Volume de água que compõe a quantidade total de água que é fornecido ao sistema de distribuição. Para sua elaboração é necessário conhecer e interpretar cada um de seus componentes e, posteriormente, partir para a fase de cálculos e deduções desses componentes. Assim é possível fazer uma contabilização de todos os tipos de utilização e destinos da água colocada no sistema. Observe-se o quadro 1.

Quadro 1: Balanço Hídrico

PERDAS DE ÁGUA = VOLUME DE ENTRADA – CONSUMO AUTORIZADO					
VOLUME DE ENTRADA NA DISTRIBUIÇÃO	CONSUMO AUTORIZADO	Consumo Autorizado faturado	Consumo faturado medido	Água faturada (AF)	
			Consumo faturado não medido		
		Consumo Faturado Não autorizado	Consumo não faturado medido		Água não Faturada (ANF)
			Consumo não faturado não medido		
	PERDAS DE ÁGUA	Perdas aparentes	Consumo não autorizado		
			Imprecisão de medição		
		Perdas reais	Vazamentos e extravasamentos em reservatórios		
			Vazamento em Adutora e Redes		
			Vazamento em ramais até o ponto de medição do cliente		

Balanço Hídrico modelo IWA, modificado

Para facilitar a compreensão do quadro, veja a especificação de cada componente:

- **Volume de entrada na distribuição:** é a entrada do volume de água disponibilizado para o sistema de abastecimento, volume esse que sai da ETA transportado por bombeamento ou por gravidade até um reservatório de distribuição.
- **Consumo autorizado:** é o volume de água medido ou não medido, que é disponibilizado aos clientes registrados, companhias de saneamento e outros autorizados, para finalidades residenciais, comerciais e industriais.
- **Consumo faturado medido:** corresponde à água medida nos hidrômetros, incluindo o volume exportado.
- **Consumo faturado não medido:** consiste no faturamento mínimo de água devido à falha ou mal funcionamento dos hidrômetros.
- **Água faturada (AF):** é a água que se transforma em receita para as empresas
- **Consumo autorizado não faturado:** consiste na água utilizada pelas companhias na parte operacional.
- **Consumo não faturado medido:** consiste na água utilizada em atividades especiais pelas próprias companhias na parte operacional.
- **Consumo não faturado não medido:** consiste no volume de água disponibilizado para o uso social, como, por exemplo, as atividades de combate à incêndio do corpo de bombeiros. Neste cálculo não se incluem as perdas gerais.
- **Perdas de água:** é o volume de entrada na distribuição subtraído do consumo autorizado, e se divide em perdas reais e perdas aparentes.

- **Perdas aparentes (não física):** são os consumos não autorizados, como fraudes, erro de cadastro técnico e imprecisão nos medidores, tanto na macromedição quanto na micromedição.

- **Consumo não autorizado:** define-se como fraudes e falhas do cadastro técnico.

- **Imprecisão de medição:** são erros dos equipamentos de medição tanto na macromedição quanto na micromedição.

- **Perdas reais (físicas):** são vazamentos no adutor de água bruta e/ou tratada, vazamentos nas estações de tratamento de água, reservatórios, redes de distribuição, conexões de serviços e ramais que disponibilizam água para o cliente.

- **Vazamentos e extravasamento de reservatório:** são vazamentos que ocorrem por falha na automação.

- **Vazamentos em adutoras e redes:** vazamentos ocorridos na distribuição.

- **Vazamentos nos ramais até o ponto de medição do cliente:** vazamentos identificados no colar de tomada ou Te de serviço PEAD, no tubo de ligação, nas junções e kit cavalete.

- **Água não faturada (ANF):** é água que gerou receita para a empresa.

Sob o mesmo ponto de vista, nota-se a importância de controlar os parâmetros relacionados às perdas para cessar o impacto negativo no meio ambiente, permitir a preservação do recurso hídrico e possibilitar a redução nos custos de produção das companhias de saneamento, evitando a oneração do sistema, afetando diretamente os consumidores.

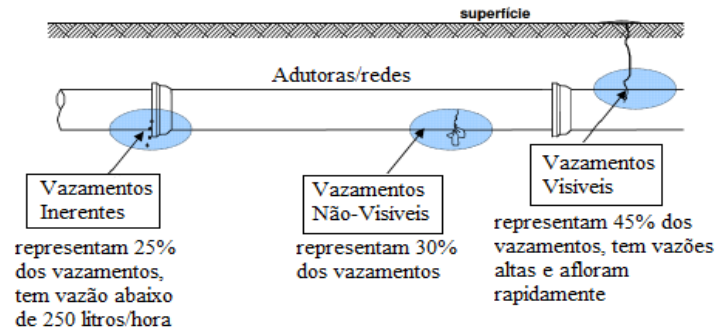
Identificar os tipos de perdas reais ou aparentes em um sistema de abastecimento colabora com as companhias de saneamento considerando-se que permitem a concentração de esforços no combate às perdas em pontos que demandem rápida e eficiente reparação. Esta celeridade no tratamento traz um retorno em um curto espaço de tempo. Por estas razões, é interessante detalhar o que são perdas reais e aparentes e como ocorrem.

2.2 Perda Real

A conceituação de perda real ou perda física se refere à água produzida nas Estações de Tratamento e disponibilizada nas redes de distribuição que não chega ao consumidor final. Essa perda pode ser identificada nos rompimentos de adutoras e subadutoras, de redes, ramais e conexões, em problemas estruturais na construção das ETA's, em reservatórios com extravasamentos ou em trincas estruturais. Vale destacar que as redes e ramais concentram o

maior volume de perdas de água, sendo os vazamentos divididos entre visíveis, não-visíveis e inerentes (DANTAS, 2012). Vide ilustração abaixo

A **Figura 2**: Ilustração de vazamentos.

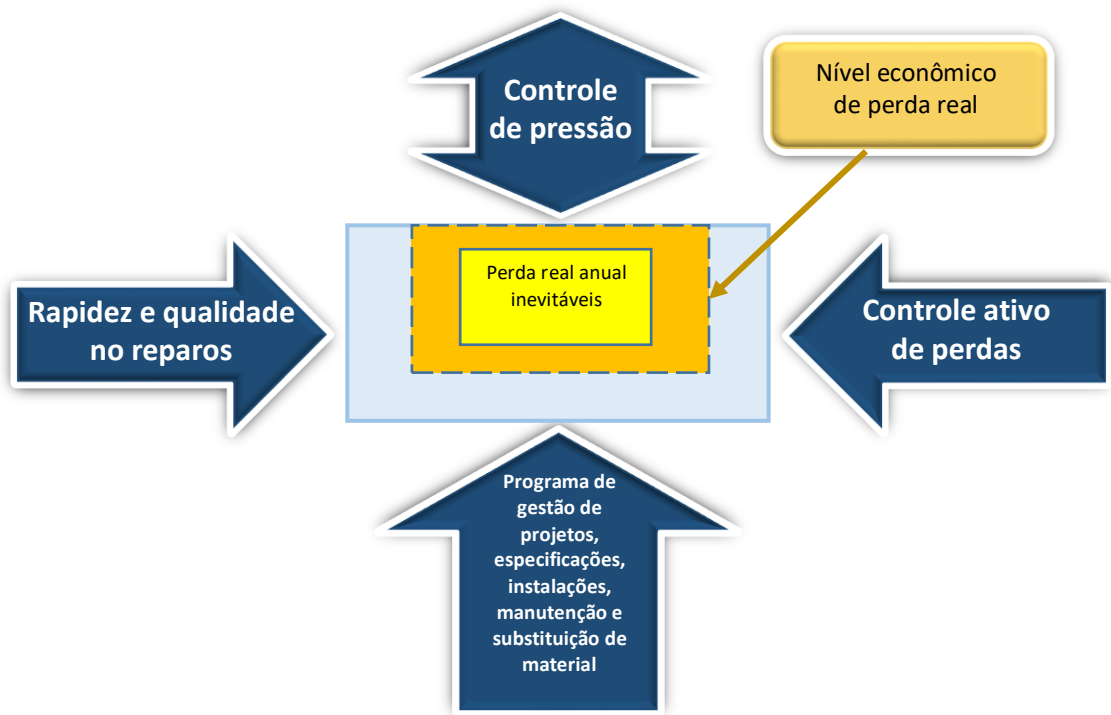


Fonte: LAMBERT 2000, modificado

Da mesma forma, a SANEAGO confirma que as ocorrências mais frequentes são as fugas de águas na rede e ramais prediais, ocasionados devido às pressões elevadas, baixa qualidade dos materiais empregados no sistema, pouco preparo da mão de obra na implantação e manutenção do sistema, variação de pressão com intermitências, erro de operação, interferência de terceiros e fluxo elevado de máquinas automotivas. Por outro lado, a evasão em reservatórios tem pouca ocorrência e pode ser solucionado com controle dos níveis de reservação através de supervisorio e automação.

Então o gerenciamento das perdas reais é essencial para reduzir o volume de perda das redes de abastecimento. O diagrama esquemático traz as ações que contribuem para redução.

Figura 3: Diagrama esquemático para o controle de perdas reais



Fonte: Lambert 2000, modificado

A figura 03 permite visualizar ações de controle para o combate das perdas reais, que tomadas em conjunto podem chegar ao patamar de perdas anuais inevitáveis, alcançando o desperdício mínimo. Veja detalhadamente cada uma delas:

- **Controle de pressão** – minimiza a pressão nas tubulações, deixando-as dentro dos padrões mínimos e máximos estabelecidos por legislação ou normas. Os projetos de setorização e instalação de Válvulas Redutoras de Pressão (VRP) controlam de maneira adequada o aumento de pressão.

- **Controle ativo de perdas** – consiste na procura de vazamentos ocultos, com equipamentos apropriados (por geofones, haste de escuta e outros).

- **Rapidez e qualidade nos reparos** – desde a percepção da ocorrência de um vazamento, gastar o mínimo de tempo para realizar o reparo e assegurar que este seja bem executado com intuito de evitar a reincidência de vazamento no mesmo local.

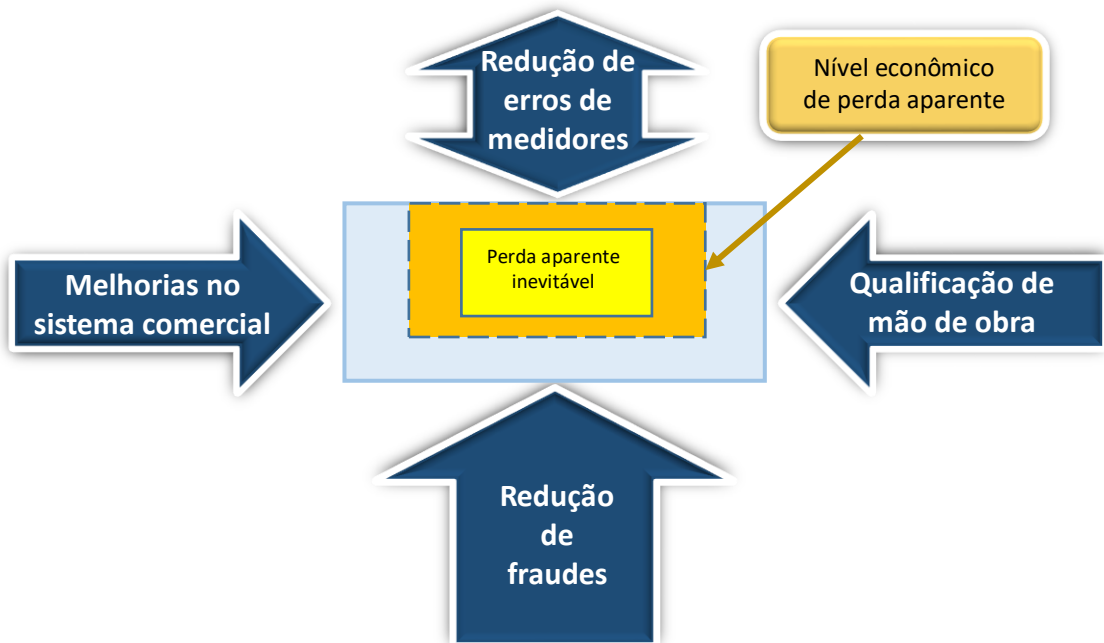
- **Programa de gestão de projetos** – especificações, instalações, manutenção e substituição de material para melhorar a infraestrutura.

2.3 Perda Aparente

A Perda Aparente (física) refere-se à água que foi entregue e consumida pelo usuário final, teve seu uso definido, mas não foi efetivamente medida e contabilizada pela empresa responsável devido a fatores como erro de medição dos macromedidores e dos hidrômetros empregados no sistema, submedição, fraudes (*by pass*), hidrômetro inadequado para a categoria, resíduos nas tubulações causando o travamento dos hidrômetros, idade elevada do parque de hidrômetros, extravio de água, ligações sem hidrômetros, parte comercial ineficiente.

Do mesmo modo, o gerenciamento das perdas aparente é primordial para reduzir o número de perda pelas empresas. O diagrama esquemático traz medidas que podem ser adotadas pelas companhias de saneamento que contribuem efetivamente para redução desse tipo de perda.

Figura 4 Diagrama esquemático para gerenciamento das perdas aparentes



Fonte: Lambert 2000, modificado

A figura 04 permite visualizar ações de controle para o combate das perdas reais, que tomadas em conjunto podem chegar ao patamar de perdas anuais inevitáveis, alcançando o desperdício mínimo. Vejamos detalhadamente cada uma delas.

- **Redução de erros** – a redução de erros em medidores envolve ações de melhoria da macromedição e micromedição, como a instalação e dimensionamento correto, manutenção preventiva e corretiva e a leitura correta dos hidrômetros.

- **Qualificação da mão de obra** – engloba a capacitação do profissional que atuam na área comercial.

- **Redução de fraudes** – envolve ações de inspeção de ligações suspeitas através de constatação ou denúncias.

- **Melhorias no sistema comercial** – abrange o aprimoramento continuado das equipes de trabalho.

2.4 Perdas de Águas no Brasil

Para que a população de um país ou estado seja abastecida de água potável de qualidade é necessário identificar, trabalhar e solucionar os possíveis fatores que obstem para que esse processo de abastecimento de água seja contínuo. Neste sentido, é notório que a perda de água é um assunto de suma importância pois dificulta esse abastecimento de forma eficiente. “Os indicadores de perda de água das operadoras de saneamento no Brasil mostram que ainda há muita ineficiência na produção da água” (ABES, 2013, p.13).

Considerando os dados referente ao Brasil (SNIS, 2016), é possível perceber que seus índices de perdas de água não são baixos, pois ficam na casa 38 %, bastante elevado se comparado com países como Alemanha e Japão, que mantêm seus índices de perdas de água em aproximadamente 10%. Se comparado com outros países como Austrália e Nova Zelândia, o índice do Brasil apresenta-se ainda mais alarmante, pois aqueles têm perdas de águas em porcentagem inferior à 10%.

Eventualmente os cálculos são obtidos pelo Índice de Perdas na Distribuição (IPD) que avalia o percentual das perdas em relação ao que se refere ao volume produzido. Assim calculado pela razão entre a diferença do volume de água (produzido e tratado importado) e volume de água consumida pelo denominador – conforme equação 1.

$$IPD = \frac{[volume\ de\ água\ (produzido+tratado\ importado)-volume\ de\ água\ consumido]}{[volume\ de\ água\ (produzido+tratado\ importado-de\ serviço)]} \quad (1)$$

- Volume de água faturada = água que vira receita da empresa.
- Volume de água produzido = água captada e processada para consumo.
- Volume de água importado = água produzida e deslocada para reservatório de distribuição.
- Volume de água de serviço = água disponibilizada para manutenção de operação do sistema como lavagem de filtros nas ETA's.
- Volume de água consumido = água que foi contabilizada nos hidrômetros.

- Quantidade de ligações = número de economias de água ativas das companhias de saneamento.

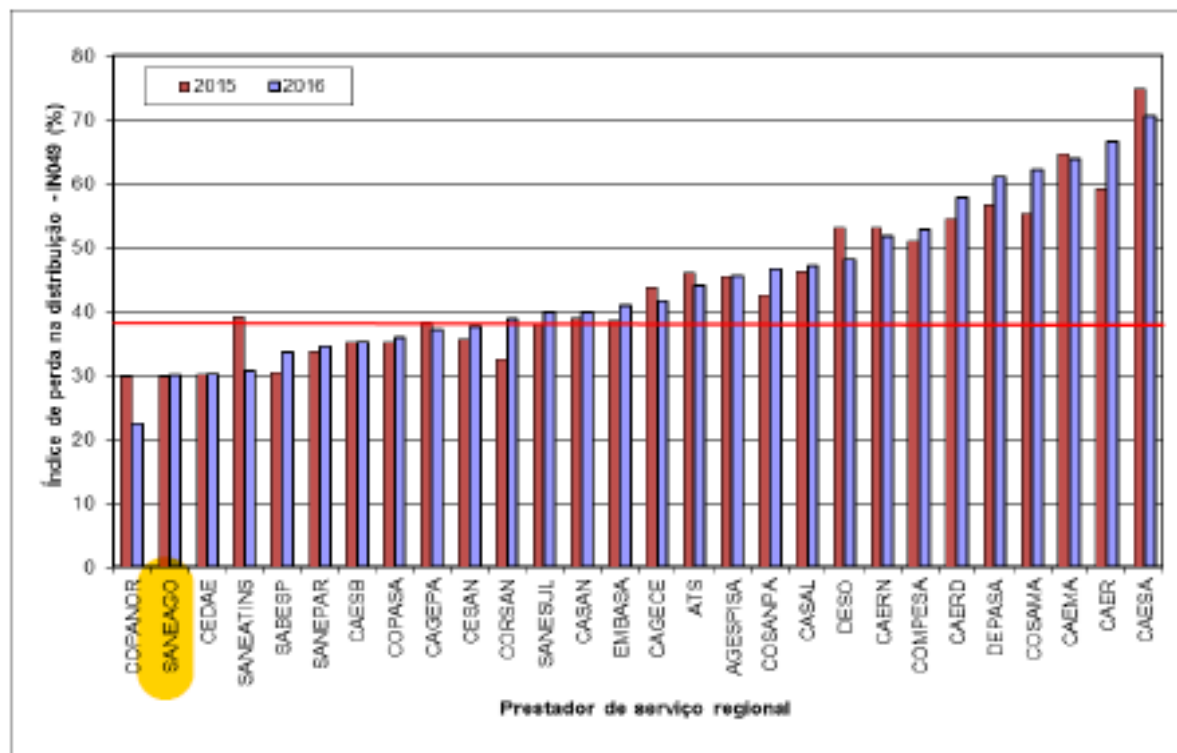
Vale destacar que o órgão governamental responsável pelo recebimento dos dados de perdas de faturamento das concessionárias é o Ministério das Cidades, através da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) que divulga anualmente o Diagnóstico dos Serviços De Água e Esgoto, com base em dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações do Saneamento), trazendo todas as informações referentes ao saneamento básico.

É importante dizer que alguns serviços do saneamento básico se destacam pelo fato de serem realizados com maior frequência: como o acesso à água tratada e à coleta e o tratamento de esgoto nos municípios brasileiros.

Conforme dados compilados pelo SNIS (2016), 158,8 milhões de pessoas são abastecidas com água tratada no Brasil, para isso, o país possui 626,3 quilômetros de malha de redes e 55,2 milhões de ligação conectadas para realizar o abastecimento. Os sistemas de abastecimento apresentavam um acréscimo em torno de 3,1% (1,7 milhões ligação) em comparação com o ano de 2015, conforme dados repassados pelos participantes.

Diante do que expõe a publicação na comparação com países com menor índice, nota-se uma enorme necessidade das companhias de saneamento atuarem de forma eficiente na redução e no combate as perdas de água em seus sistemas de distribuição. A cada 100 litros de água que captado e tratado, apenas 61,9 litros são consumidos o restante, 38,1% é contabilizado na média nacional de perdas. Como também mostra o ranqueamento dos prestadores de serviço de abrangência regional, conforme os dados repassados pelos prestadores do índice de perdas na distribuição, podemos visualizar no gráfico 1.

Gráfico 1: Índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços de abrangência regional participantes do SNIS em 2015 e 2016, segundo prestador de serviços



Fonte: SNIS 2016

O ranking do saneamento em comparação a 2015 e 2016, mostra que a SANEAGO está em segundo lugar com 30,1% com relação ao menor índice de perdas na distribuição, ficando abaixo da média nacional, índice que se torna bastante expressivo e positivo.

2.5 Companhia Saneamento de Goiás S.A. – SANEAGO

Em 12 de novembro de 1960, com a Lei 3.329 foi criado o Departamento Estadual de Saneamento – DES. Suas atividades foram iniciadas em 27 de fevereiro de 1961 e encerradas no dia 13 de setembro de 1967 com a criação da Lei nº 6.680, transformando o órgão em empresa de economia mista, com a denominação de Saneamento de Goiás S.A. - SANEAGO.

SANEAGO é uma empresa de saneamento básico brasileira com sociedade de economia mista, sendo o Estado de Goiás seu maior acionista. e tem como área de atuação 226 municípios dos 246 municípios goianos, com fornecimento de água para quase 5,6 milhões de pessoas (96,9% da população total do estado) é atendida com água tratada e mais de 3,4 milhões atendidas com serviços de esgotamento sanitário (59% da população). A SANEAGO conta com

30.010 km redes de água e 12.314 km de redes de esgoto; apresenta 471 sistemas de captação de água subterrânea e superficial, com 1.396 reservatórios de distribuição de água em todo o estado (SANEAGO, 2018, p. 06).

Destes municípios que a SANEAGO atua como prestadora de serviço, se destaca a cidade de Itaguari ou como a própria companhia denomina, Distrito de Itaguari; localizada:

(...) na microrregião de Anápolis, distante 96 km de Goiânia e 220 km de Brasília. As coordenadas geográficas na sede do município são: latitude sul 15° 55' 07" e longitude oeste 49° 36' 16". A altitude média é de 685 metros acima do nível do mar. O município possui área de 127,3 km² e população de 4 513 (censo 2010), faz fronteira ao norte com Itaguaru, leste com Jaraguá, oeste com Itaberaí e ao sul com Taquaral de Goiás. O território de Itaguari é uma região das nascentes de água da bacia hidrográfica do Tocantins. O principal riacho é o Rio Sucuri, um afluente do Rio Uru que deságua no Rio das Almas. Os demais riachos e córregos são todos afluentes do Rio Sucuri (CARDOSO; NETO; NETO, 2013, p. 01).

Entre eles salienta-se o rio Casa de Telhas, onde e feita a captação de água pela SANEAGO é tratada na estação e distribuída para o consumo da população itaguarina.

O Distrito de Itaguari, atende 2093 contas de água ativas e não possui esgotamento sanitário. É considerada uma cidade de porte pequeno, representa 0,07% na participação da arrecadação e faturamento da companhia, mas nem por isso deixa de receber uma atenção da empresa. O município possui várias tecnologias empregadas, envolvendo partes comerciais e operacionais.

Segundo o Gerente da SANEAGO, ao logo dos anos foram feitos diversos treinamentos, tanto no corpo gerencial, quanto na parte operacional. Como: treinamento em Válvulas Redutoras de Pressão e válvulas de Ar (ventosas); treinamento com simulador hidráulico (EPANET); migração do cadastro técnico que antes era físico para digital passando para plataforma QGIS, permitindo ser lançado afastamento, profundidade, material empregado na rede de distribuição e outros, podendo ser feito uma consulta previa antes de executar o serviço em campo. Ocorreu também treinamento e execução do projeto de setorização; todos esses fatores foram de suma importância para a redução das perdas no sistema.

Além disso, o Distrito realizou em 2016, treinamento e troca de experiência com outras companhias como Sabesp e Caesb aumentando o conhecimento do corpo técnico, pelo qual puderam realizar um combate intensivo na detecção de vazamentos ocultos com haste de escuta

e geofone; realizar também o acompanhamento do fluxo mínimo noturno (mínima noturna). Ressalta o Gerente que é uma ferramenta importante para o combate as perdas.

Dessa forma o Distrito vem se destacando perante a companhia e se tornou uma cidade escola. Toda aplicação de nova tecnologia que a empresa adota para melhorar sua atuação na área do saneamento é testada através de simulações e apuração de todas as aplicações possíveis primeiro em Itaguari, Se, após os testes, for aprovado pelo Departamento de Inovação Tecnológica é multiplicado dentro da empresa.

3. MÉTODOS PROMETHEE

O PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*), é uma família de métodos de sobreclassificação. Foi desenvolvido pelo Professor Jean Pierre Brans e apresentado pela primeira vez na versão PROMETHEE I e II no ano de 1982 em uma conferência organizada na Universidade Laval localizada na cidade de Quebec no Canadá. Alguns anos depois o Professor J. P. Brans e o também Professor B. Mareschal desenvolveram o PROMETHEE III e o PROMETHEE IV. No ano de 1988 os professores propuseram um módulo interativo, chamado de visual GAIA, que é uma representação gráfica em apoio a metodologia do PROMETHEE. Em 1992 e 1994, J. P. Brans e B. Mareschal sugeriram outras duas extensões: PROMETHEE V e PROMETHEE VI, assim permitindo uma abrangência maior da metodologia PROMETHEE, tratando diversas áreas como: Bancos, Industrias Locais, Planejamento de Recursos Humanos, Recursos Hídricos, Investimentos, Medicina, Química, cuidados de saúde, Gestão e outras (BRANS e MARESCHAL, 2005, p. 164).

O PROMETHEE é um método simples da categoria dos métodos de relação subordinação, passou por diversas etapas de desenvolvimento e ajuste dando origem as várias metodologias da família PROMETHEE, descrito pelos autores Brans e Vincke (1985).

- PROMETHEE I – pré-ordem parcial, problemas de escolha e ordenação;
- PROMETHEE II – estabelece uma pré-ordem completa entre alternativas, também utilizado nas problemáticas de escolha e ordenação;
- PROMETHEE III – Aplicação da noção de indiferença, tratamento probabilístico dos fluxos (preferência intervalar);
- PROMETHEE IV – Utilizado em situação onde o conjunto de alternativas é contínuo
- PROMETHEE V – neste método, após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas (PROMETHEE II), são introduzidas restrições, identificadas no problema, para as alternativas selecionadas, incorporando-se uma metodologia de otimização;
- PROMETHEE VI – pré-ordem completa ou parcial. Problemáticas de escolha e ordenamento. Destinado a situações em que o decisor não consegue estabelecer um valor fixo de peso para cada critério;
- PROMETHEE GAIA – extensão dos resultados do PROMETHEE, através de um procedimento visual e interativo.

De acordo com Brans e Mareschal (2005, p.164), os Métodos PHOMETHEE, traz uma linguagem de fácil compreensão e aplicação, propondo a ajudar quem vai tomar decisões em uma problemática, em situações que envolvam certas particularidades; como a simples escolha de que carro comprar, levando em consideração tanto a preferência do comprador como a maximização da economia de combustível e do luxo, e minimização do valor a ser pago, possibilitando o decisor a identificar uma alternativa que potencialize todos os critérios.

Considerando o seguinte problema multicritério:

$$\max \{g_1(a), g_2(a), \dots, g_j(a), \dots, g_k(a) \mid a \in A\} \quad (2)$$

Onde A é um conjunto finito de possíveis alternativas $\{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$ e $\{g_1(\cdot), g_2(\cdot), \dots, g_j(\cdot), \dots, g_k(\cdot)\}$ um conjunto de critérios de avaliação. Não há objeção considerar alguns critérios para serem maximizados e os outros para serem minimizados.

De forma geral, os dados básicos de um problema multicritério consistem em uma matriz de avaliação

Tabela 1 – Matriz de Avaliações.

a	$g_1(\cdot)$	$g_2(\cdot)$	. . .	$g_j(\cdot)$	. . .	$g_k(\cdot)$
a_1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	. . .	$g_j(a_1)$	. . .	$g_k(a_1)$
a_2	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	. . .	$g_j(a_2)$	. . .	$g_k(a_2)$
.
.
.
a_i	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$	. . .	$g_j(a_i)$	. . .	$g_k(a_i)$
.
.
.
a_n	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	. . .	$g_j(a_n)$	. . .	$g_k(a_n)$

Os problemas de multicritério apresentam de modo geral o formato da matriz de avaliação, mas não dependem apenas dos dados básicos incluídos na tabela, mas também do próprio decisor de suas próprias preferências (BRANS e MARESCHAL, 2005, p.165). Deste modo, não há uma solução perfeita que possa afirmar a sua integralidade. As informações complementares tipificando essas preferências são necessárias para fornecer ao tomador de

decisão um suporte determinante, tendo em vista a relação de dominância proveniente dos problemas multicritério, definido da seguinte forma (Equação 3).

Para cada: $(a, b) \in A$:

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{array}{l} \forall_j: g_j(a) \geq g_j(b) \\ \exists_k: g_k(a) > g_k(b) \end{array} \right\} \Leftrightarrow aPb, \\ & \forall_j: g_j(a) = g_j(b) \quad \Leftrightarrow aIb, \\ & \left\{ \begin{array}{l} \exists_s: g_s(a) > g_s(b) \\ \exists_r: g_r(a) < g_r(b) \end{array} \right\} \Leftrightarrow aRb, \end{aligned} \quad (3)$$

Onde P , I e R representam respectivamente a preferência, indiferença e incomparabilidade.

aPb – define evidentemente o quanto uma alternativa é superior a outra de tal maneira que todos seus critérios superam os critérios das outras alternativas, neste caso a é, ao mesmo tempo mais forte e menos fraca que b , logo que a é preferível a b .

aIb – Quando ambas alternativa são iguais nos critérios a e nos critério b , conseqüentemente há uma indiferença, neste caso a é igual a b , logo a é indiferente de b .

aRb – Quando um alternativa é melhor em um critério a , e a outra alternativa melhor em outro critério b , conseqüentemente há uma incomparabilidade entre os pares, neste caso a é diferente de b , logo a é incomparável a b .

3.1 Funções de Preferências ou Critérios Generalizados

Os métodos PROMETHEE foram projetados para tratar problemas multicritérios do tipo de sua tabela de avaliação associada, mas não depende unicamente destes dados, envolve também as preferencias do tomador de decisão, requerendo assim duas informações para sanar o problema (MORAIS; CAVALCANTE; ALMEIDA, 2010):

- Informações intercritério
- Informações intracritério

3.1.1 Informações Intercritério

A Tabela 2 mostra a maneira do preenchimento, do conjunto $\{w_j, \text{onde } j = 1, 2, \dots, k\}$ que são os valores dos pesos de diferentes critérios.

Esses pesos são representados por números positivos, independentes da medição de unidades dos critérios.

Tabela 2: Pesos de Importancias Relativas

$g_1 (\cdot)$	$g_2 (\cdot)$	\dots	$g_j (\cdot)$	\dots	$g_k (\cdot)$
w_1	w_2	\dots	w_j	\dots	w_k

Quanto maior o peso, mais importante é o critério, também pode ser adotado um padrão no valor de todos os pesos, assim todos os pesos passam a ter a mesma importância, de modo que:

$$\sum_{j=1}^k w_j = 1 \quad (4)$$

3.1.2 Informação Intracritério

A aplicação de todos os métodos PROMETHEE segundo (MORAIS; CAVALCANTE; ALMEIDA, 2010), tem passos semelhantes, é feito uma análise de possibilidade para cada critério g_j , logo após as possibilidades são comparadas, atentando para as desigualdades $d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b)$ em cada critério. Posteriormente identificar a função de preferência $P_j(d_j(a, b))$ que melhor atende o tomador de decisão e estabelecer o peso do cada critério.

Onde:

$$P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)] \quad \forall a, b \in A, \quad (5)$$

$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b) \quad (6)$$

Para o qual:

$$0 \leq P_j(a, b) \leq 1 \quad (7)$$

No caso de um critério a ser maximizado, e função está dando a preferência do critério a sobre o critério b , para os desvios observados entre suas avaliações no critério $g_j(\cdot)$. Deve ter a seguinte forma da figura 06, com as preferências iguais a 0, quando os desvios são negativos.

A propriedade a seguir contém:

$$P_j(a, b) > 0 \Rightarrow P_j(b, a) = 0$$

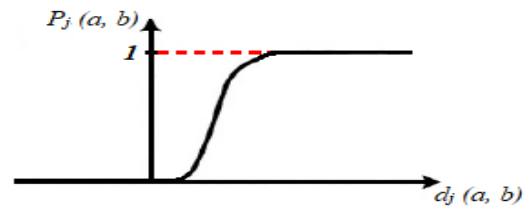


Figura 05: função de preferencia

Para que os critérios sejam minimizados, a função de preferência deve ser invertida ou dado alternativamente por:

$$P_j(a, b) = F_j[-d_j(a, b)] \quad (8)$$

Segundo Brans e Mareschal (2005, p.170) O par de critério generalizado $\{g_j(\cdot), P_j(a, b)\}$ associado ao critério g_j . Em que esse critério generalizado deve ser definido para cada critério. Facilita para o decisor identificar qual o tipo de critério a ser usado e os parâmetros dos limites de indiferença e preferência estrita, considerando os seis tipos de funções tipos de critérios generalizados mostrado na tabela 3.

Tabela 3: Funções de preferência do método PROMETHEE

Crítérios	Descrição	Representação gráfica	Parâmetros
I – Critério Usual	$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & \text{se } d_j = 0 \\ 1 & \text{se } d_j \neq 0 \end{cases}$ <p>Qualquer diferença entre as avaliações das alternativas em um determinado critério implica em uma preferência estrita</p>		Nenhum
II – Quase Critério	$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & \text{se } |d_j| \leq q_j \\ 1 & \text{se } |d_j| > q_j \end{cases}$ <p>As alternativas são indiferentes enquanto a diferença $[g_i(a) - g_i(b)]$ não ultrapassar q; acima desse limiar, a preferência é estrita.</p>		q
III – Critério de preferência linear (formato V)	$P_j(d_j) = \begin{cases} \frac{d_j}{p_j} & \text{se } |d_j| \leq q_j \\ 1 & \text{se } |d_j| > q_j \end{cases}$ <p>A preferência do decisor aumenta de forma linear com a diferença $[g_i(a) - g_i(b)]$ até que p seja atingido; após esse limiar, a preferência é estrita.</p>		p
IV – Critério por nível (Nível)	$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & \text{se } |d_j| \leq q_j \\ 1/2 & \text{se } q_j < |d_j| \leq p_j \\ 1 & \text{se } |d_j| > p_j \end{cases}$ <p>As alternativas são indiferentes até que a diferença $[g_i(a) - g_i(b)]$ não ultrapasse q; entre q e p o grau de preferência é fraco; acima de p a preferência é estrita.</p>		q e p
V – Critério de preferência linear com zona de indiferença (Linear)	$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & \text{se } |d_j| \leq q_j \\ \frac{|d_j| - q_j}{p_j - q_j} & \text{se } q_j < |d_j| \leq p_j \\ 1 & \text{se } |d_j| > p_j \end{cases}$ <p>As alternativas são indiferentes até que a diferença $[g_i(a) - g_i(b)]$ não ultrapasse q; acima desse limiar, o grau de preferência aumenta de forma linear até atingir uma preferência estrita a partir de p.</p>		q e p
Tipo VI – critério gaussiano (Gaussiana)	$P_j(d_j) = 1 - e^{-\frac{d_j^2}{2s_j^2}}$ <p>A preferência do decisor aumenta conforme uma distribuição normal.</p>		Desvio padrão (S_j)

Nas funções de preferência descrita na tabela 3, os parâmetros p e q representam:

- p_j (limiar de preferência) – o menor valor para $d_j(a, b)$ acima do qual existe uma preferência estrita por a em relação a b .
- q_j (limiar de indiferença) – o maior valor pra $d_j(a, b)$, abaixo do qual existe uma indiferença na preferência entre a ou b .

No caso de um critério gaussiano (tipo 6), a função de preferência permanece aumentando para todos os desvios e não tem descontinuidades, nem na sua forma, nem em seus derivados. Um parâmetro deve ser selecionado, ele define o ponto de inflexão da função de preferência.

3.2 Índice de Preferencia

Um índice de preferência π deve ser definido, conforme a equação 8, para todos os pares de alternativas, o qual indicara o grau de preferência da alternativa a em relação a b , considerando a importância do peso estabelecido para cada critério Moreira (2009, p.55)

Onde $a, b \in A$:

$$\begin{cases} \pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b) w_j \\ \pi(b, a) = \sum_{j=1}^k P_j(b, a) w_j \end{cases} \quad (9)$$

$\pi(a, b)$ está expressando com qual grau a é preferível a b em todos os critérios, $\pi(b, a)$ e como b é preferível a , na maioria dos casos existem critérios a para qual é melhor que b , e critérios b para qual é melhor que a , portanto $\pi(a, b)$ e $\pi(b, a)$ e na maioria dos casos são positivos. As seguintes propriedades são válidas para todos $(a, b) \in A$.

$$\begin{cases} \pi(a, a) = 0, \\ 0 \leq \pi(a, b) \leq 1, \\ 0 \leq \pi(b, a) \leq 1, \\ 0 \leq \pi(a, b) + \pi(b, a) \leq 1. \end{cases} \quad (10)$$

Em que:

- $\pi(a, b) \sim 0$ implica uma fraca preferência global de a em relação a b
- $\pi(a, b) \sim 1$ implica uma forte preferência global de a em relação a b

A **Figura 6**: Superação do valor mostra a superação entre $\pi(a, b)$ e $\pi(b, a)$

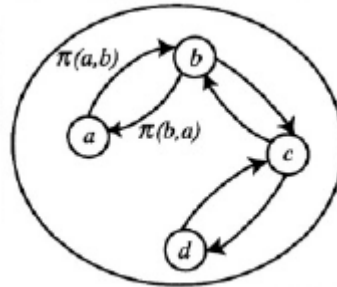


Figura 6 – Superação do valor

Fonte Brans e Mareschal 2005

Uma outra definição relevante trata dos fluxos, estes que exercem influência sobremaneira na fase de exploração de sobreclassificação (BRANS; VINCKE; MARESCHAL, 1986).

3.3 O Fluxo de Sobreclassificação de Saída

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (11)$$

Onde:

A é o conjunto finito de possíveis alternativas e um conjunto de critérios de avaliação.

n é igual ao número de alternativas.

Esse fluxo mostra como uma alternativa se coloca em melhores condições que as outras alternativas, ou seja, representa a força de preferência da alternativa a sobre todas as alternativas b , assim, quanto maior $\phi^+(a)$, melhor a alternativa, conforme é mostrado na Figura 7.

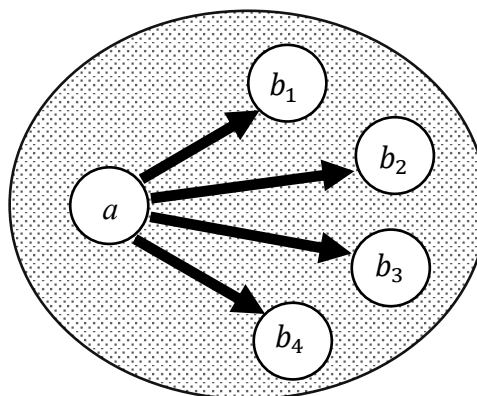


Figura 7– Fluxo de superação ϕ^+

Fonte: Adaptação de Brans & Mareschal (2005)

3.4 O Fluxo de Sobreclassificação de Entrada

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (12)$$

Onde:

A é o conjunto finito de possíveis alternativas e um conjunto de critérios de avaliação.

n é igual ao número de alternativas.

Esse fluxo mostra como as demais alternativas se colocam em melhores condições que uma alternativa, ou seja, representa a força de preferência de todas as alternativas b sobre a alternativa a , portanto, quanto menor $\phi^-(a)$, melhor a alternativa. Na Figura 4 é ilustrado o fluxo de entrada.

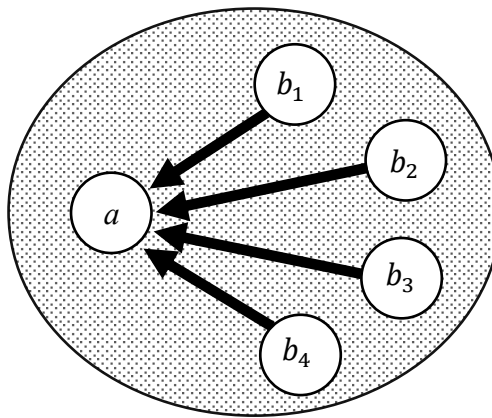


Figura 8– Fluxo de superação ϕ^-

Fonte: Adantação de Brans & Mareschal (2005)

3.5 O método PROMETHEE

Normalmente um problema multicritério, não trará uma solução específica considerada melhor, mas uma seleção de boas ações, obtido a partir do ranking para resolver um problema de múltipla escolha. Logo o PROMETHEE I classificando as ações em ordem parcial.

Continuando os passos que constituem os métodos PROMETHEE, o objetivo nesta etapa é contribuir no apoio da escolha, tendo em vista a ligação formada, as restrições do tomador de decisão e as dificuldades específicas de um método multicritério (MORAIS; CAVALCANTE; ALMEIDA, 2010).

A classificação parcial do PROMETHEE I, P^I , I^I , R^I é obtida a partir da superação dos fluxos positivos e negativos de superação Brans e Mareschal (2005, p.173).

$$\left\{ \begin{array}{l} a P^I b \quad \text{iff} \quad \left\{ \begin{array}{l} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ou } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ ou} \\ \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ ou } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ ou} \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ou } \phi^-(a) = \phi^-(b); \end{array} \right. \\ a I^I b \quad \text{iff} \quad \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ ou } \phi^-(a) = \phi^-(b); \\ a R^I b \quad \text{iff} \quad \left\{ \begin{array}{l} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ou } \phi^-(a) > \phi^-(b), \text{ ou} \\ \phi^+(a) < \phi^+(b) \text{ ou } \phi^-(a) < \phi^-(b) \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (13)$$

Onde P^I , I^I , R^I respectivamente representam preferência, indiferença e incomparabilidade.

O ranking PROMETHEE I oferece ao tomador de decisão uma posição em que algumas ações comparadas, enquanto outras não são, estas informações podem ser usadas em aplicações para tomar decisões: não decidirá qual ação é melhor que a outra em determinado caso, cabe ao tomador de decisão assumir essa responsabilidade.

3.6 Módulo Interativo Visual GAIA

O PROMETHEE GAIA, é classificado como uma poderosa ferramenta de visualização gráfica para a análise de um problema multicritério. Discriminado, os critérios e alternativas, expressando preferências semelhantes entre os critérios, conflitos e independência, entre as alternativas expressa o quanto são adequadas ou inadequadas em determinados critérios Brans e Mareschal (2005, p.178).

Seja $(A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n)$ as projeções dos pontos representando as alternativas e seja $(C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_k)$ as projeções dos k vetores unitários dos eixos das coordenadas de R^k representando os critérios. Em seguida, obtêm-se um plano GAIA conforme a Figura 6.

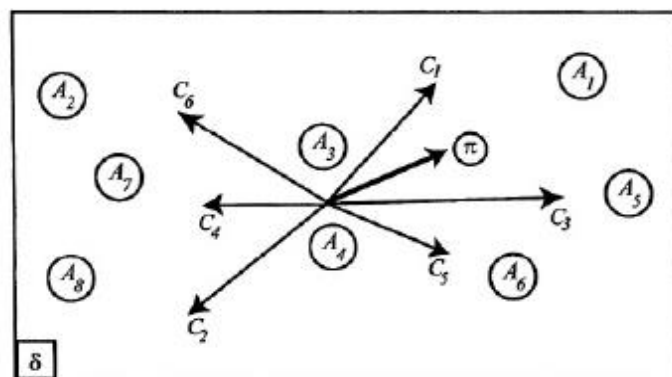


Figura 9: Plano GAIA Alternativas e critérios

Fonte: Brans e Mareschal 2005, modificado

Ponto a serem analisados no plano GAIA: quanto mais longo for um eixo de critério no plano GAIA, mais discriminante é este critério; critérios que expressam preferências semelhantes são representados por eixos orientados na mesma direção; os critérios que expressam preferências conflitantes são orientados em direção oposta; critérios que não estão relacionados entre si em termos de preferências são representados por eixos ortogonais.

Da mesma as alternativas são analisadas: alternativas semelhantes são representadas por pontos localizados próximos a entre si; alternativas sendo adequadas em um determinado critério são representadas por pontos localizados na direção do critério correspondente ao eixo.

Como na Figura 6, observa-se

- Que os critérios C_1 e C_3 , expressam preferências semelhantes e que as alternativas A_1 e A_5 são satisfatórias nesses critérios.
- Que os critérios C_6 e C_4 , também expressam preferências semelhantes e que as alternativas A_2, A_7 e A_8 são satisfatórios nesses critérios.
- Que os critérios C_2 e C_5 são suficientemente independentes
- Que os critérios C_1 e C_3 são fortemente conflitantes com os critérios C_4 e C_2 .
- Que as alternativas A_1, A_5 e A_6 são satisfatórias nos critérios C_1, C_3 e C_5 .
- Que as alternativas A_2, A_7 e A_8 , são satisfatórias nos critérios C_6, C_4 e C_2 .
- Que as alternativas A_3 e A_4 , são neutras para todos os critérios.

Assim o Plano GAIA proporciona uma análise visual

4. UTILIZAÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE

4.1. Estudo de Caso

Os sistemas de saneamento no Brasil são divididos por região geográfica e tipos prestadores de serviços (SNIS, 2016). A SANEAGO atua na área do saneamento no Estado de Goiás com abrangência regional, sendo assim, os sistemas de abastecimento apresentam especialidades próprias e variantes a depender da área que abastecem. É necessário identificar o índice de perda do sistema a ser analisado para que seja possível do método na priorização das áreas.

Foi proposto a utilização do PROMETHEE I – ranking parcial, com análise do *visual* GAIA, através do *software visual* PROMETHEE. A seleção do método utilizado foi feita segundo as características do problema por sua objetividade e flexibilidade em sua utilização. O município de Itaguari-GO foi o campo de aplicação do referido método, sistema operado pela companhia estadual, que apresenta um índice de perda controlado. Considerou-se os seguintes critérios e alternativas pressões na tubulação; idade do material; intensidade do trafego de veículos, quantidade da população abastecida em cada área, alteração na execução do projeto, dentre outras informações.

Desde então, foram definidos os critérios a serem minimizados e maximizados que se mostraram mais relevantes no impacto das perdas e também definidas as alternativas, separando seis setores da cidade, divididos zonas de pressão elevada e normalizada. Observou-se o uso água (em residências, indústrias e comércios), interferências externas (intensidade do fluxo de veículos pesados e maquinas agrícolas), segundo as preferencias e critérios do decisor.

4.2 Divisão das Áreas

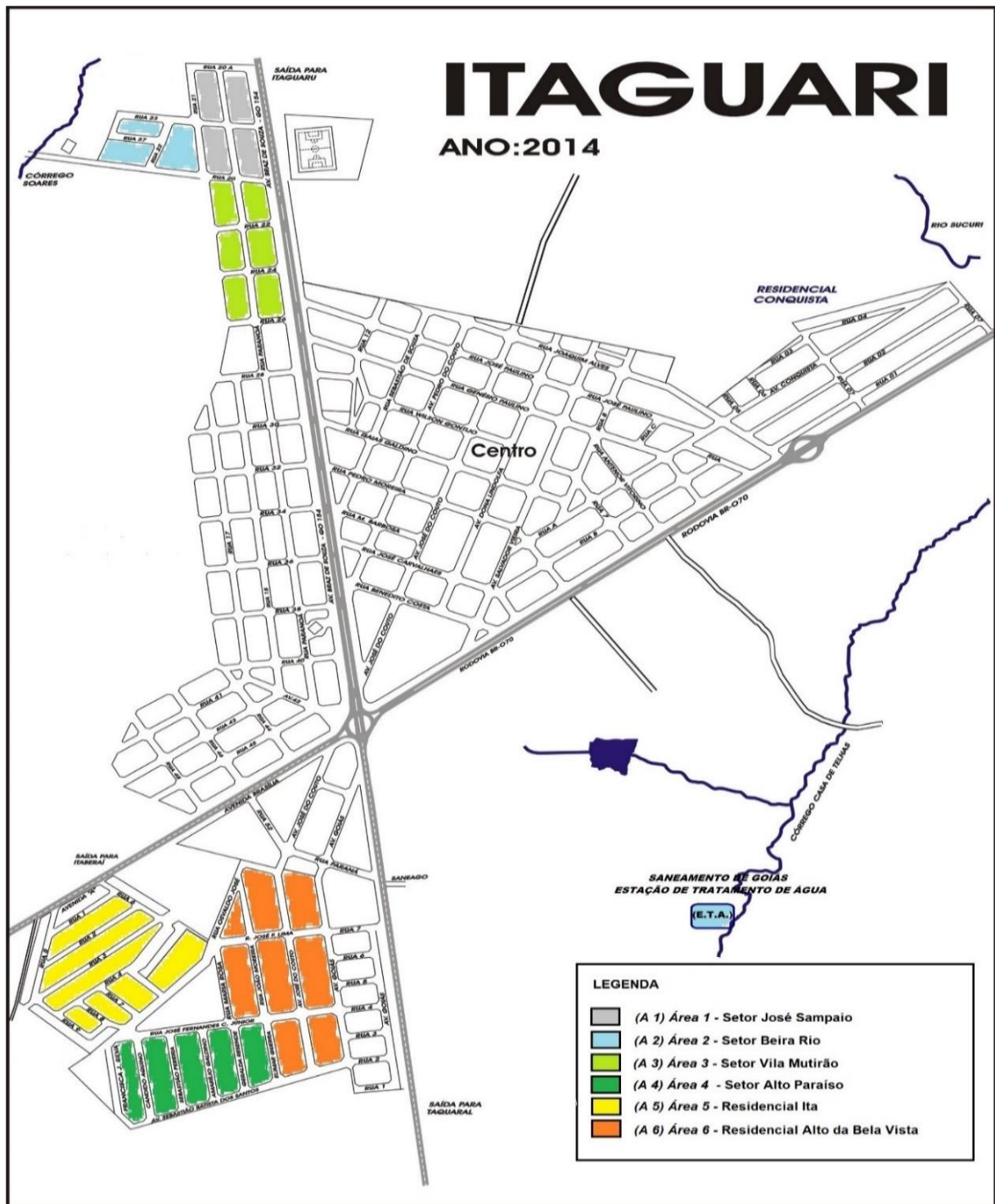
A cidade foi dividida em duas zonas de pressão:

A zona de pressão elevada tem uma vazão média de distribuição é de 7,3 l/s. A pressão estática máxima é de 65 metros e a pressão dinâmica mínima é de 8 metros.

A zona de pressão normalizada tem uma vazão média de distribuição é de 0,65 l/s, os tubos são de PVC tipo PBA Cl 12. A pressão estática máxima é de 27 metros e a pressão dinâmica mínima é de 5 metros.

O mapa 1 traz em destaque os setores com zona de pressão elevada: Vila Mutirão, José Sampaio e Beira Rio. A zona com baixa pressão é dividida com os setores Residencial Ita, Residencial Alto da Bela Vista.

Mapa 1: Cidade de Itaguari



Fonte: Prefeitura de Itaguari, modificado

4.3 Identificação das Alternativas

Após colhidos os dados necessários para composição do problema, fez-se a discriminação das áreas.

As áreas 1, 2 e 3 estão localizadas na zona pressão elevada e as demais (4, 5, 6) na zona de pressão normalizada

- (A1) *Área 1.* O setor José Sampaio está localizado na zona de pressão elevada e possui uma altura manométrica de 59 mca. Trata-se uma área habitacional que comporta cerca de 320 habitantes, abastecida por tubos de PVC, 50mm, classe 12, instalados desde 2003.
- (A2) *Área 2.* Setor Beira Rio está localizado na zona de pressão elevada e possui uma altura manométrica de 65 mca. Trata-se uma área habitacional que comporta cerca de 150 habitantes, abastecida por tubos de PVC, 50mm, classe 12, instalados desde 2004.
- (A3) *Área 3.* Vila Mutirão está localizado na zona de pressão elevada e possui altura manométrica de 50 mca. Trata-se uma área habitacional que comporta cerca de 380 habitantes, abastecida por tubos de PVC, 50mm, classe 12, instalados desde 1992.
- (A4) *Área 4.* Setor Alto Paraíso está localizado na zona de pressão normalizada e possui altura manométrica de 22 mca. Trata-se uma área habitacional que comporta cerca de 410 habitantes, abastecida por tubos de PVC, 50mm, classe 12, instalados desde 2013.
- (A5) *Área 5.* Residencial Ita, está localizado na zona de pressão normalizada e possui altura manométrica de 27 mca. É um loteamento recém-criado com 80% de seus lotes residencial e uma parcela de 20% destinado para instalações industriais. Por ser um setor novo é pouco habitado, residem aproximadamente 75 pessoas e é caracterizada por ocupação de uma associação futebolística, a qual se enquadra para companhia de saneamento como um consumidor de grande porte na categoria comercial, juntamente com residências maiores, caracterizando uma população com poder aquisitivo maior. Mesmo com essas características, o Residencial Ita não é um setor muito adensado e apresenta uma característica particular nas tubulações, pois foram feitas nas calçadas com diâmetro de 50, 75 e 100 mm classe 12 e 16, instaladas no ano 2013. Nesse setor, não há fluxo de veículos de grande porte.
- (A6) *Área 6.* Residencial Alto da Bela Vista está localizado na zona de pressão normalizada e possui altura manométrica de 24 mca. Trata-se uma área habitacional que comporta cerca de 140 habitantes, abastecida por tubos de PVC, 50mm, classe 12, instalados desde 2008.

4.4 Priorização dos Critérios

Sendo definidas as áreas de priorização, deve-se levar em conta que qualquer mudança nos critérios adotados para a identificação das áreas acarreta impacto no resultado final da análise. Assim sendo, devem ser observados os parâmetros indispensáveis para a delimitação das regiões que carecem de maior destinação de recursos financeiros tanto para o reparo em zonas com perdas alarmantes quanto para a manutenção e conservação da restauração realizada. Em vista disso, torna-se mister a observação dos seguintes critérios de priorização:

- (C_1) Pressão – segundo a Norma da ABNT NBR 12218, A pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 kPa, e a pressão dinâmica mínima de 100 kPa, cada 1 kPa corresponde a 0,1019 mca. A empresa adota a pressão mínima de 10,19 mca e a máxima de 40 mca.
 - Área com pressão não normalizada: 0
 - Área com pressão normalizada: 1
- (C_2) Idade do material – é um critério relevante. É comum novas tubulações serem conectadas em malhas antigas, o que pode causar avarias pela idade da rede (junções dos tubos).
- (C_3) Fluxo de veículos – neste critério considera-se o grau de interferência do tráfego de veículos, avaliando a intensidade de veículos que transitaram com carga pesada e veículos agrícolas. Sendo assim, qualquer situação que caracteriza um tráfego intenso dos veículos citados estará fora da normalidade:
 - Área com tráfego intenso: 0
 - Área com pouco tráfego: 1
- (C_4) Execução do projeto – consideramos, nesse fator, o mínimo de erros na execução e alterações feitas no projeto. Logo, quanto maior interferência maior o potencial de erros na execução, levando em conta que o aumento de peças para mudança de local da rede de distribuição determinado no projeto, como curva (joelhos) e te's, podem causar perda de carga na tubulação, não chegando uma pressão ideal estabelecida por norma.
 - Área com interferência: 0
 - Área sem interferência: 1
- (C_5) Qualidade do material e mão de obra – neste critério considera-se o máximo de qualidade empregada nos materiais e na mão de obra, ou seja, baixa qualidade do material/mão de obra, tem um enorme potencial para causar vazamentos em redes de distribuição de água.
 - Má qualidade do material/mão de obra: 0
 - Boa qualidade do material/mão de obra: 1

Tabela 4: Matriz de desempenho

Alternativas/ Áreas	Pressão (C ₁)	Idade do material Escala (C ₂)	Tráfego de veículos (C ₃)	Execução do projeto (C ₄)	Qualidade do material/mão de obra (C ₅)
A1	0	15	1	1	0
A2	0	14	1	1	1
A3	0	26	0	1	1
A4	1	5	1	0	1
A5	1	5	1	0	0
A6	1	10	0	1	1

4.5 Definição de Funções de Preferências

Após a construção da matriz de desempenho, o decisor lança os dados no *software visual PROMETHEE Academic*, O próprio software determina as funções de preferência mais adequada para aplicação, e o peso dos critérios, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Funções de preferencia

	Pressão (C1)	Idade do material (C2)	Tráfego de veículos (C3)	Execução do Projeto (C4)	Qualidade do material/mão de obra (C5)
Tipo da função de preferência	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 1	Tipo 5	Tipo 5
Paramentos		q=1		q=1 p=2	q=1 p=2
Pesos	0,25	0,20	0,15	0,20	0,20

* Tipo da função de preferencia

Tipo 1 = 0 se indiferente ou pior, 1 se melhor

Tipo 2 = 0 se $d_j(a, b) \leq q$, 1 se $d_j(a, b) > q$

Tipo 3 = 0 se indiferente ou pior; $d_j(a, b)/p$ se superior $< p$; 1 se $\geq p$

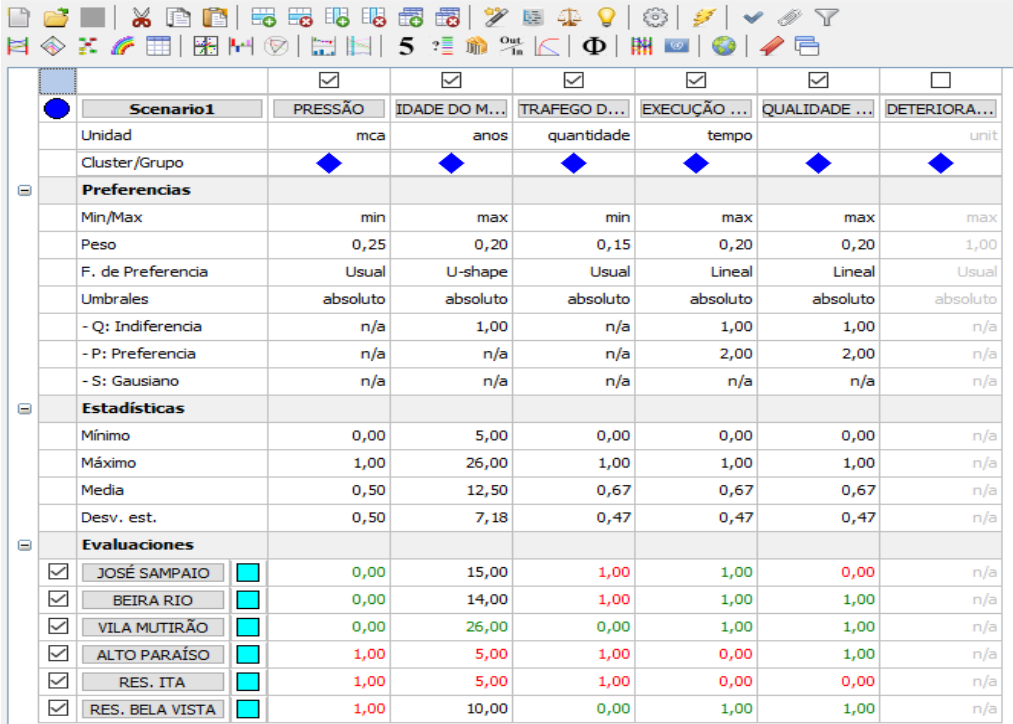
Tipo 4 = 0 se $|d| \leq q$, $1/2$ se $q < |d| \leq p$, 1 se $|d| > p$

$$\text{Tipo 5} = 0 \text{ se } |d_j| \leq q_j, \frac{|d_j| - q_j}{p_j - q_j} \text{ se } q_j < |d_j| \leq p_j, 1 \text{ se } |d_j| > p_j$$

4.6 Análise de Resultados

Após definição das áreas, critérios e funções de preferências, foram inseridos os dados no *software* PROMETHEE Academic:

Figura 10: Interface de entrada do *software* PROMETHEE Academic



Scenario1	PRESSÃO	IDADE DO M...	TRAFEGO D...	EXECUÇÃO ...	QUALIDADE ...	DETERIORA...
Unidad	mca	anos	quantidade	tempo		unit
Cluster/Grupo	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferencias						
Min/Max	min	max	min	max	max	max
Peso	0,25	0,20	0,15	0,20	0,20	1,00
F. de Preferencia	Usual	U-shape	Usual	Lineal	Lineal	Usual
Umbrales	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto
- Q: Indiferencia	n/a	1,00	n/a	1,00	1,00	n/a
- P: Preferencia	n/a	n/a	n/a	2,00	2,00	n/a
- S: Gausiano	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Estadísticas						
Mínimo	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	n/a
Máximo	1,00	26,00	1,00	1,00	1,00	n/a
Media	0,50	12,50	0,67	0,67	0,67	n/a
Desv. est.	0,50	7,18	0,47	0,47	0,47	n/a
Evaluaciones						
<input checked="" type="checkbox"/> JOSÉ SAMPAIO	0,00	15,00	1,00	1,00	0,00	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> BEIRA RIO	0,00	14,00	1,00	1,00	1,00	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> VILA MUTIRÃO	0,00	26,00	0,00	1,00	1,00	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> ALTO PARAÍSO	1,00	5,00	1,00	0,00	1,00	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> RES. ITA	1,00	5,00	1,00	0,00	0,00	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> RES. BELA VISTA	1,00	10,00	0,00	1,00	1,00	n/a

Fonte: visual PROMETHEE

Na interface do *software* PROMETHEE temos:

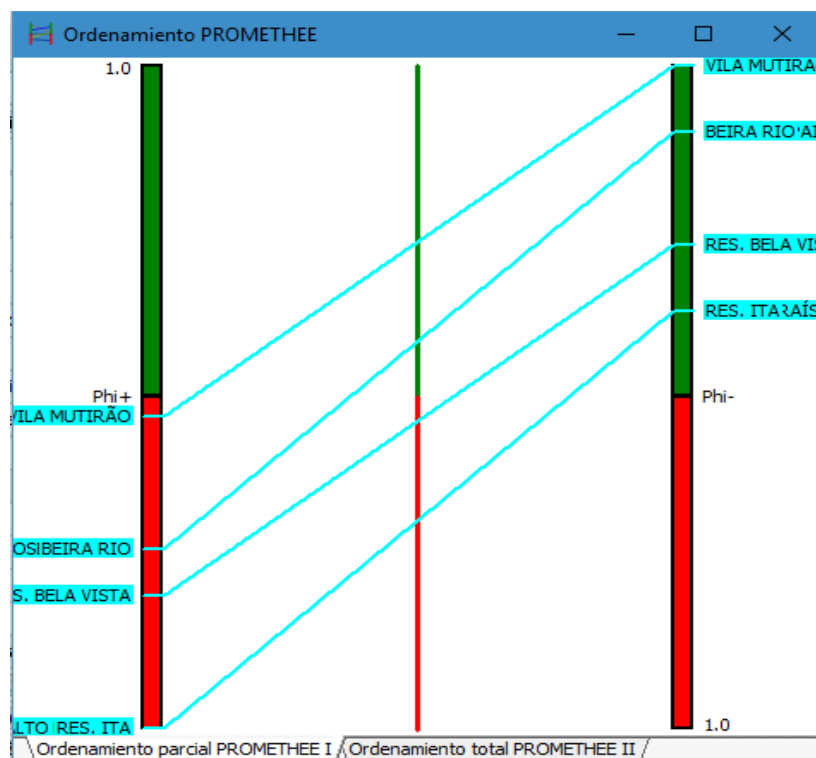
- Cenário
- As preferencias; de minimização, maximização, pesos de cada critério, função de preferência, grau de indiferença Q, grau de preferência P;
- Estatísticas; mínimo, máximo, média, desvio padrão e as
- Avaliações

A primeira análise feita foi a partir do fluxo de preferência dado pelo programa *software*.

Tabela 6 – Fluxos de sobreclassificação

Alternativas	Positivo	Negativo
	ϕ^+	ϕ^-
A 1	0,47	0,00
A 2	0,27	0,10
A 3	0,27	0,10
A 4	0,20	0,27
A 5	0,00	0,37
A 6	0,00	0,37

Observa-se cada alternativa em comparação aos seus fluxos positivos e negativos, nota-se que não há empate em nem um dos fluxos, uma vez que não tem igualdade dos fluxos, pode afirmar que não tem relação de indiferença.

Gráfico 2: Ordenamento PROMETHEE

Fonte: PROMETHEE

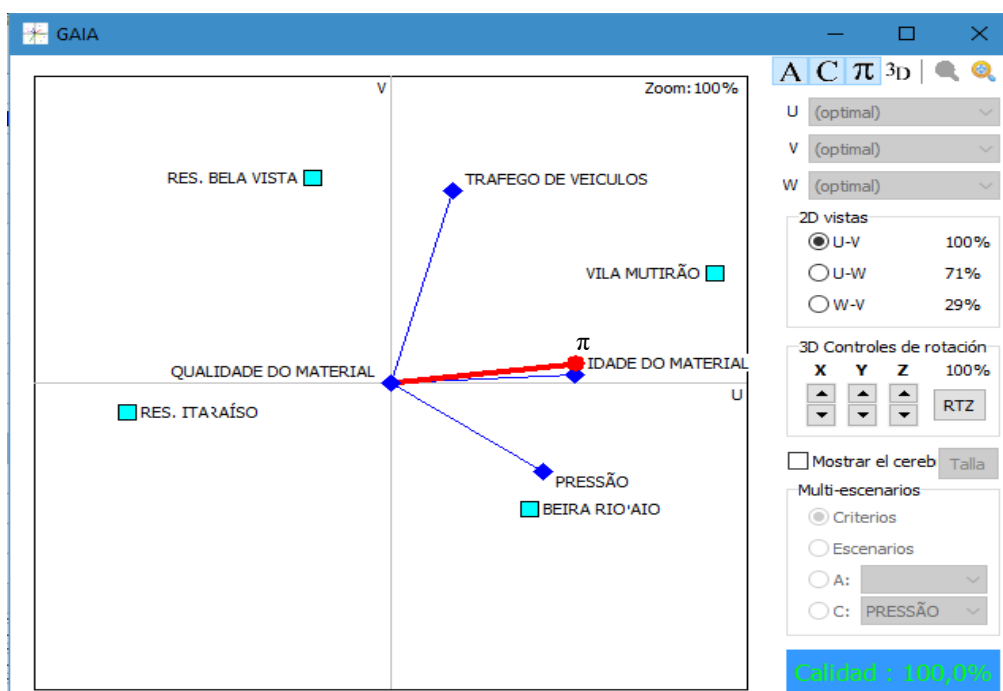
O ordenamento parcial PROMETHEE I, é baseado na comparação do fluxo de saída (Phi +) e do fluxo entrada (Phi-), A coluna da esquerda corresponde às pontuações Phi + e à coluna da direita aos Phi-, eles são orientados de tal forma que as melhores pontuações são para

cima. De acordo com ordenamento parcial o setor Vila Mutirão traz maior preocupação, seguido do setor José Sampaio e Beira Rio que obtém a mesma nota no ranqueamento. Nota-se também que os três setores citados fazem parte da zona de alta pressão da cidade e têm uma idade de instalação maior que outros três setores. O setor Bela Vista vem em quarto lugar no ranking de prioridades, seguido pelo Setores Alto Paraíso e Residencial Ita.

Quando uma linha está completamente em cima de outra, como o caso dos setores José Sampaio e Vila Mutirão na zona de alta pressão e Residencial Ita e Alto Paraíso na zona de pressão baixa, significa que a ação correspondente é melhor em ambos $\Phi +$ e $\Phi -$.

No caso mostrado, o setor Vila Mutirão é preferido a todos os outros, enquanto os setores José Sampaio e Beira Rio estão com a linha em cima da outra, significando que a ação correspondente é melhor em ambos $\Phi +$ e $\Phi -$. Já o setor Bela Vista em quarto lugar no ranqueamento, e os setores Residencial Alto Paraíso e Residencial Ita, também estão com a linha acima da outra, equivalendo de ação similar em ambos $\Phi +$ e $\Phi -$.

Gráfico 3: Representação gráfica do PHOMETHEE GAIA



Fonte: PROMETHEE

As propriedades abaixo devem ser consideradas para a análise do Plano GAIA:

- O critério pressão expressa preferência em que as alternativas Beira Rio e José Sampaio que são satisfatórias nesse critério.
- O critério idade do material expressa preferência semelhante em que as alternativas Beira Rio, José Sampaio e Vila Mutirão são satisfatórias nesse critério.

- O critério tráfego de veículos expressa preferência semelhante em que as alternativas vila mutirão e bela vilas são satisfatórias nesse critério.
- Os critérios execução do projeto e qualidade do material não expressão preferência a nem uma alternativa.
- As alternativas Beira Rio, José Sampaio e Vila Mutirão são satisfatórias nos critérios pressão e idade do material.
- As alternativas Beira Rio e Residencial Bela Vista são satisfatórias no critério tráfego de veículos.
- As alternativas Residencial Ita e Alto Paraíso são neutras para todos os critérios
O eixo de decisão (π) aponta para o setor que deverá receber maior atenção.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As perdas de água em um sistema de abastecimento sempre é um tema relevante, devido a escassez do recurso hídrico, pois afeta diretamente o meio ambiente e a saúde financeira das empresas de saneamento, elevando os custos de produção para tornar essa água potável. Os desafios da redução dessas perdas trazem inquietação, pois envolve o gerenciamento adequado das companhias para assegurar o benefício de ter água tratada e de qualidade por um longo período, sabendo que a dificuldade de obter novas fontes é cada dia mais trabalhoso.

Diante os problemas identificados, traçou-se por objetivo geral deste trabalho detectar as regiões do município de Itaguari as quais apresentavam maior ocorrência de perdas reais e aparentes de água e quais foram os fatores determinantes para os vazamentos, estudo este realizado em cooperação com a SANEAGO. Para descobrir os setores com maior perda de água foi idealizado o objetivo específico: dividir a cidade em duas áreas de estudo com características semelhantes entre si (número de habitantes, tipo do material da tubulação).

Confirmou-se que a companhia de saneamento executa o trabalho de retirada de vazamentos priorizando regiões ou setores que carecem de manutenção, impactando diretamente no baixo volume da perda no município. Ademais, restou comprovada a eficácia da aplicação dos objetivos geral e específico na apuração das zonas com significativos escapes d'água e as causas dos mesmos.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, coletou-se dados no campo de pesquisa, quais foram: aferição de pressão com equipamento específico nos kits cavaletes das residências e observação da intensidade do tráfego de veículos pesados e máquinas agrícolas. Além disso, utilizou-se material bibliográfico abrangendo livros e publicações de artigos, dissertação, monografias e outros trabalhos de pesquisa acadêmica. Também angariou-se dados Sistema Integrado de Prestação de Serviço e Atendimento ao Público.

Diante a metodologia proposta, percebe-se que o trabalho poderia ser realizado com uma coleta de dados maior que abrange toda a cidade, além disso devido a limitação de tempo so foi possível analisar uma pequena parte da cidade. Logo, sugere-se que seja feito uma pesquisa com abrangência maior de setores e critérios que possa influenciar nas perdas.

6. 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**, ano 2013. Disponível em: <<http://www.abes-sp.org.br/arquivos/perdas.pdf>>.

ALMEIDA, A.; COSTA, A. **Modelo de Decisão Multicritério para Priorização de Sistema de Informação com Base no Método PROMETHEE**. *Gestão & Produção* 9(2), 201-214, Brasil. Ano 2002

BRANS, J. P.; VINCKE, P. H. **A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM**. *Mgmt. Sci.*, v. 31, p. 647-656, ano 1985. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/edd6/f5ae9c1bfb2fdd5c9a5d66e56bdb22770460.pdf>>.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. H.; MARESCHAL, B. **How to select and how to rank project: The PROMETHEE method**. *European J. Oper. Res.*, v. 24, p. 228-238, 1986. Disponível em: <<http://www.academia.edu/29731589/>>.

BRANS J.P.; MARESCHAL B. Promethee Methods. In: **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. International Series in Operations Research & Management Science, vol 78. Springer, New York, NY, ano 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-387-23081-5_5>.

CARDOSO, J. M.; NETO, J. E. C.; NETO, O. J. J. **História de Itaguari: de Campestre a capital da moda íntima**, Goiânia: Scala Editora, 2013. Disponível em: <<https://www.itaguari.go.gov.br/sobre-o-municipio/estatisticas/>>. Acesso em 09/11/2018.

CARVALHO, F. L. **Modelo de decisão multicritério para análise de companhias aéreas com base no Método PROMETHEE I**. ano 2015. Disponível em: <www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=000950305>.

DALMAS, R. R. O. **Sistema De Abastecimento De Água Estudo De Caso: Redentora – RS**. Ano 2012.

FERNADEZ, M. F.; ARAUJO, R; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica Azevedo Netto**. 8ª edição. Editora Edgard Blucher LTDA. Ano 1998. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/2664158/manual-de-hidraulica-azevedo-neto-8-edicao>.

FUNDASE, Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento Administrativo, Contabilidade E Economia; **Perdas de Água: Entraves ao Avanço do Saneamento Básico e Riscos de**

Agravamento à Escassez Hídrica no Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/perdas-de-agua/estudo-completo.pdf>>.

FUNASA, Fundação Nacional de Saúde; Manual 2º Edição – **Redução das perdas no sistema de Abastecimento de Água. Brasília**, 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/reducao_de_perdas_em_saa74.pdf>.

ESTADO DE GOIÁS. **Lei nº 3.329** de novembro de 1960. Goiânia: Assembleia Legislativa, 1960.

ESTADO DE GOIÁS. **Lei nº 6.680** de novembro de 1967. Goiânia: Assembleia Legislativa, 1967.

GUIAS PRÁTICOS: **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Volume 1, técnicas de operação em sistema de abastecimento de água, macromedição; volume 3, técnicas de operação em sistema de abastecimento de água, pesquisa e combate a vazamentos não visíveis; volume 4, técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água, Controle de pressões e operação de válvulas reguladoras de pressão (VRP`s).

GO ASSOCIADOS; INSTITUTO TRATA BRASIL. **Perdas de Água 2018 (Snis 2016): Desafios para Disponibilidade Hídrica e Avanço da Eficiência do Saneamento Básico**. São Paulo, maio de 2018. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/perdas-2018/estudo-completo.pdf>>.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para o consumo humano**. 2º edição. Editora UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/itaguari/panorama>>. Acesso em 09/11/2018.

IWA - International Water Association. [network.org/?s=agua&post_type=post](http://www.iwahq.org/). Disponível em <<http://www.iwahq.org/>>. Acesso em junho de 2017.

MARTINS, T. J. C. **Sistemas de Abastecimento de Água para Consumo Humano – Desenvolvimento e Aplicação de Ferramenta Informática para a sua Gestão Integrada**. Ano 2014.

MORAIS, D. C.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. **Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água**. *Pesqui. Oper.* vol.30 no.1 Rio de Janeiro Jan./Apr. 2010. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382010000100002>>.

ROMANO, B. P. **Aplicação do método PROMETHEE I, II e V para priorização de ativos financeiros**. Ano 2015.

SANEAGO – Saneamento de Goiás S.A.,
<http://www.saneago.com.br/2016/arquivos/ApresentacaoInstitucional.pdf>. Acesso em
02/09/2018.

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico Anual Água e Esgoto – 2016. Brasília, fevereiro de 2018.** Disponível em:
<<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>>. Acesso em
19/08/2017.

TARDELLI FILHO, J. **Controle e Redução de Perdas.** In TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água.** 3ª edição. Depto de engenharia hidráulica e sanitária da Escola Politécnica da USP. 2006.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água.** 2ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.