



## **MODELO UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICA PARA ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

**Bruno Araújo Albuquerque** <sup>(1)</sup>

Graduado em Engenharia Civil no ano de 2017 pelo Centro Universitário do Distrito Federal (UDF), trabalho de conclusão do curso focado em perdas no sistema de água, 2 anos de estágio prestados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), 1 ano e 5 meses trabalhados pela HBG Engenharia LTDA (Atual) como técnico em geoprocessamento. Alguns cursos e palestras focados em saneamento básico e geoprocessamento. Atualmente cursa MBA em Saneamento Básico e Recursos Hídricos pela INCURSOS.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Quadra 15 Casa 27 – Setor Leste - Gama - DF - CEP: 72450-150 - Brasil - Tel: +55 (61) 99226-4198 - e-mail: [bruno-albuquerque@outlook.com.br](mailto:bruno-albuquerque@outlook.com.br).

### **RESUMO**

O crescimento desordenado da população pode mudar completamente a eficiência operacional da rede de distribuição de água, em função desse e outros problemas, é necessário o investimento constante com o intuito de reduzir as perdas, aumentando a eficiência em todos aspectos, por parte da responsável pela distribuição de água. Existem inúmeras possibilidades que podem ser utilizados como referência de estudos, porém a metodologia apresentada nesse trabalho mostra uma forma de analisar alguns desses parâmetros em conjunto, de forma genérica e adaptável, utilizando o Sistema de Informações Geográficas (SIG), com auxílio da plataforma ArcGis, é possível produzir mapas temáticos com os intervalos de dados georreferenciados e preestabelecidos através do AHP (Análise Hierárquico de Processos). A unificação dos dados é feita a partir da álgebra de raster, obtendo uma interpretação mais integrada através de multicritérios. As análises fragmentadas possibilitam várias interpretações, muitas delas podendo não ser o local ideal para ser o foco de estudos prioritários para atuar, após o resultado do modelo proposto, cria-se situações com dados integrados, facilitando e otimizando a tomada de decisão da manutenção do sistema distribuidor de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Redução de perdas de água, Análise Multicritério e Geoprocessamento

### **INTRODUÇÃO**

O abastecimento de água, assim como as demais áreas do saneamento, é um conjunto de ações que têm como objetivo proteger a saúde das pessoas. Para que a água seja distribuída aos consumidores, não deve oferecer risco à saúde, o ministério da saúde criou a PORTARIA MS nº. 518/2004, a água potável está diretamente ligada com a economia de um país, dependendo de investimentos constantes e inovações quando existe escassez para extrair esse recurso da natureza, de forma sustentável. O saneamento básico no Brasil, encontra desafios na área da gestão, as maiores dificuldades observadas nos sistemas de abastecimento de água, são em consequência do crescimento populacional, e principalmente, devido as expansões das cidades, que na maioria das vezes, ocorrem sem planejamento. Com esse cenário recorrente em países em desenvolvimento, obras de saneamento básico tendem a apresentar uma maior quantidade de problemas, ao longo de sua vida útil, podendo comprometer o abastecimento e a qualidade dos serviços. Trabalhos preventivos, preditivos e corretivos são necessários para controlar a deterioração dos sistemas, mantendo sempre o mais próximo do ideal com os recursos financeiros disponíveis. Diante desse cenário, é preciso manter o que foi construído de forma sustentável, efetuando suas manutenções antecipadamente, com o intuito dos serviços serem entregues em quantidade e com qualidade à população, para que isso seja possível, é imprescindível que seja utilizado alguma metodologia com a intenção de analisar os parâmetros das redes de distribuição de água, podendo assim, determinar áreas críticas, priorizando e direcionando a verba mais eficazmente, de acordo com a gravidade em cada área de estudo, afora esses problemas, muitas ainda são as limitações atuais na gestão dos serviços de saneamento básico no Brasil em geral.

### **JUSTIFICATIVA**

A crescente preocupação com a utilização de recursos naturais de maneira racional, para que as próximas gerações tenham a garantia de acesso a esses, conduz todas as esferas de nossa sociedade à reflexão. Os conflitos para obtenção



desse recurso (água) e entre seus diversos usos, são cada vez mais numerosos, proveniente do crescimento populacional, expansões industriais e agrícolas. A distribuição da água à população deve ser garantida, e para isso a água deve ser utilizada de maneira eficiente e responsável. As empresas prestadoras de serviços de saneamento têm o importante papel na conservação da água, já que são as responsáveis pelo fornecimento e entrega em quantidade e qualidade suficientes para o consumidor final. A busca em reduzir as perdas desde o processo da captação até a distribuição é um aspecto importantíssimo, pois é um indicador da eficiência operacional e sustentabilidade ambiental. Ações tem sido desenvolvida por concessionárias de saneamento básico, para combater as perdas e em sistemas de abastecimento de água. Dando ênfase à área de manutenção, é necessário desenvolver ou utilizar metodologias viáveis e funcionais para detectar locais com maior tendência de patologias nas redes de distribuição de água, antecipando soluções e estudos, em função dos indicadores e dados relacionados. Considerando os argumentos acima expostos, este estudo justifica-se por desenvolver uma metodologia volátil, que se adaptam as características dos locais de estudos, podendo fornecer uma maior compreensão da situação da rede de distribuição de água, demonstrando os trechos com maior suscetibilidade de ocorrência de patologias, em função dos parâmetros de entrada utilizados, dentro de um Sistema de Informação Geográfica, com auxílio de alguma plataforma de geoprocessamento, possuindo um baixo investimento em relação ao potencial que possui.

## **OBJETIVOS GERAIS**

Propor um modelo para analisar estatisticamente os locais com maior suscetibilidade e fragilidade de sistemas de abastecimento de água, utilizando análise espacial multicritério dos principais parâmetros da rede de distribuição de água, com auxílio da plataforma ArcGis que utiliza o sistema de informações geográficas (SIG), o local de estudo abrange a cidade satélite do Distrito Federal, Gama.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

- **Histórico**

Com o aumento da densidade populacional e aumento da demanda de alimentos, surgiu a necessidade de facilitar o acesso à água para irrigação e atendimento das necessidades humanas, motivando suprir necessidades básicas e alavancando a economia. (TSUTIYA, 2006).

Nas últimas décadas o fornecimento de água no Brasil houve um grande progresso muito em função do PLANASA – Plano Nacional do Saneamento, aumentando bastante a eficiência do sistema de atendimento com de 90% da população urbana. (TSUTIYA, 2006).

- **Pressão**

De acordo com a NBR 12218 a pressão em uma rede de água pode ser fragmentada em 2 termos, pressão estática e dinâmica. Pressão, referida ao nível do eixo da via pública, em determinado ponto da rede, sob condição de consumo nulo. (ABNT, 1994). Pressão, referida ao nível do eixo da via pública, em determinado ponto da rede, sob condição de consumo não nulo. (ABNT, 1994).

- **Relação entre Pressão e Vazamento**

As redes de distribuição devem ser projetadas para abastecer, de forma eficiente todos os pontos de consumo, até as mais desfavoráveis, com uma pressão mínima suficiente, proporcionando economia de água e, como consequência, maior eficiência do sistema. (GONZALVES et al., 2007).

Quando a pressão mínima na rede está abaixo do valor satisfatório, os sistemas ficam comprometidos, pois não dispõem de vazão suficiente para abastecer todos os pontos de consumo. Por outro lado, quando o sistema está sendo operado com pressão excessiva, a rede estará mais propensa a vazamentos e ao desperdício de água. (GONÇALVES et al., 2007).

Pressões excessivas podem acarretar grandes problemas nas redes, dentre eles, aumento nos custos energéticos do bombeamento, possibilidade de rupturas (vazamento) em virtude do aumento das perdas físicas em virtude das vazões nas fissuras e juntas dos tubos e maior consumo de água, muitas vezes desnecessário, em virtude do aumento da vazão para superar as perdas. (GONZALVES et al., 2007; PORTO, 2006)



- **Perdas**

Perdas físicas representam a água que efetivamente não chegam ao consumo, devido aos vazamentos no sistema e gastos operacionais rotineiros. (PORTO, 2006). Perdas administrativas: Representam a água consumida que não é medida e, portanto, não faturada. (PORTO, 2006) Os vazamentos geralmente podem ocorrer devido a fadigas oriundas de manobras executadas incorretamente, podendo danificar as tubulações por causa de um fechamento abrupto. Outros fatores causam vazamentos, podendo ser eles, recalque do solo, idade da rede, qualidade do material e mão de obra, projeto insuficiente para as demandas reais, manutenção insuficientes e entre outras situações (PORTO, 2006).

As perdas são oriundas da deterioração em função do tempo de funcionamento infraestruturas de abastecimento, de pressões de serviço, do recalque do solo, de carregamentos excepcionais externos, de obras em outras infraestruturas mudando a concepção projetada de redes próximas, da inexistência de um monitoramento de micromedição e macromedição eficaz. De acordo com Netto (1998) qualquer sistema é passível de perdas, porém a eficiência alta sempre será desejável, perda é o volume resultante da diferença.

- **Sistema De Informação Geográfica**

Um modelo é utilizado com o propósito da redução de eventos conhecidos, para versões reduzidas ou computadorizadas, com comportamentos e características semelhantes à realidade, podendo-se compreender comportamentos, transformações e evoluções possibilitando criar diversos cenários, onde seja possível reconstruir e criar simplificações de comportamentos complexos, quando necessário, porém a realidade recriada é a nossa visão de como percebemos e compreendemos o mundo, definindo equações e variáveis que condizem com as leis que o regem. Enquanto Haggett e Chorley (1975), definem um modelo pontuando que é uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes. Os modelos são aproximações altamente subjetivas, por não incluírem todas as observações ou medidas associadas, mas são valiosos por obscurecerem detalhes acidentais e por permitirem o aparecimento dos aspectos fundamentais da realidade.

- **Funcionalidades Dos Modelos**

As principais características de um modelo, segundo Haggett e Chorley (1975) são:

**Seletividade:** É o momento onde é definido as características e informações necessárias ou com influência no resultado final, ponderando a importância de cada parâmetro e eliminando dados desnecessários.

**Enunciativo:** Determina-se a estrutura dos fenômenos envolvidos no processo de compreensão.

**Análogo:** Cria-se um modelo aproximado do mundo real com o propósito de entender e mostrar os seus comportamentos com a maior fidelidade possível.

**Reaplicabilidade:** O modelo construído deve possuir potencial para ser reutilizado em outras situações semelhantes, e não apenas para descrever uma situação específica. Enquanto em relação as funcionalidades Haggett e Chorley (1975) atestam que são:

**Comunicativa:** Dispor de meios para que ideias e concepções sejam compreendidos mutuamente por estruturas descritivas padronizadas por metodologias científicas.

**Lógica:** Descrever arranjos de processos cronologicamente com o intuito de descrever e compreender fenômenos.

**Sistemática:** Deve possuir procedimentos científicos, para que seja possível validar e levantar hipóteses dos comportamentos e resultados observados.

**Previsibilidade:** Os modelos são construídos com o propósito de criar cenários, utilizando-se comportamentos compreendidos pela ciência, onde os resultados fornecem dados temporais personalizados para tomadas de decisão.

- **Obtenção De Dados Com O Geoprocessamento**

É importante ressaltar que existem divergências no significado dos termos geoprocessamento e SIG, pois são atividades suplementares para efetivar um estudo. O geoprocessamento utiliza diversas áreas do conhecimento (Geociências, cartografia, estatística e etc) para produzir informações, com o potencial dos resultados interferir no poder de decisão de todos processos envolvidos ao estudo. Segundo Teixeira e Christofolletti (1997) os dados representam fatos para que posteriormente possa ser feita uma interpretação e entendimento dos conceitos envolvidos, estabelecendo instruções para meios humanos ou automáticos, permitindo o processamento dos Input (Dados de entrada), mas não possui compreensão completa do estudo, se os parâmetros forem analisados isoladamente. A informação Teixeira e Christofolletti (1997) relata, que o significado dos dados, são atribuídas pelo ser humano, definindo o significado por meio de processos conhecidos para efetivar a interpretação de um fenômeno.



- **ArcGis**

A define o ArcGIS, como sendo uma plataforma GIS que permite a você utilizar, criar e compartilhar informações geográficas pela sua organização, comunidade e abertamente na web. Estas informações incluem mapas, cenas, camadas, análises e aplicativos. Itens de diferentes fontes podem ser integrados e combinados em novos itens e compartilhados por sites da web, aplicativos móveis e desktops para públicos específicos como cidadãos, desenvolvedores e profissionais de GIS.

A ESRI (Environmental Systems Research Institute) é uma empresa americana especializada na produção de soluções para a área de informações geográficas, sendo líder mundial em sistemas de informação geográfica. Foi fundada em 1969 por Jack e Laura Dangermond como uma empresa de consultoria em estudos de uso do solo. (WIKIPEDIA, 2017)

- **Método AHP (Analytic Hierarchy Process)**

O método AHP (Analytic Hierarchy Process) foi desenvolvido por Tomas L. Saaty no início da década de 70 e é o método de multicritério mais amplamente utilizado e conhecido no apoio à tomada de decisão na resolução de conflitos negociados, em problemas com múltiplos critérios.

Após diversos estudos (MARIAS; SOUZA; BARROS, 2009) simplificaram a compressão da metodologia AHP em 2 etapas, sendo elas:

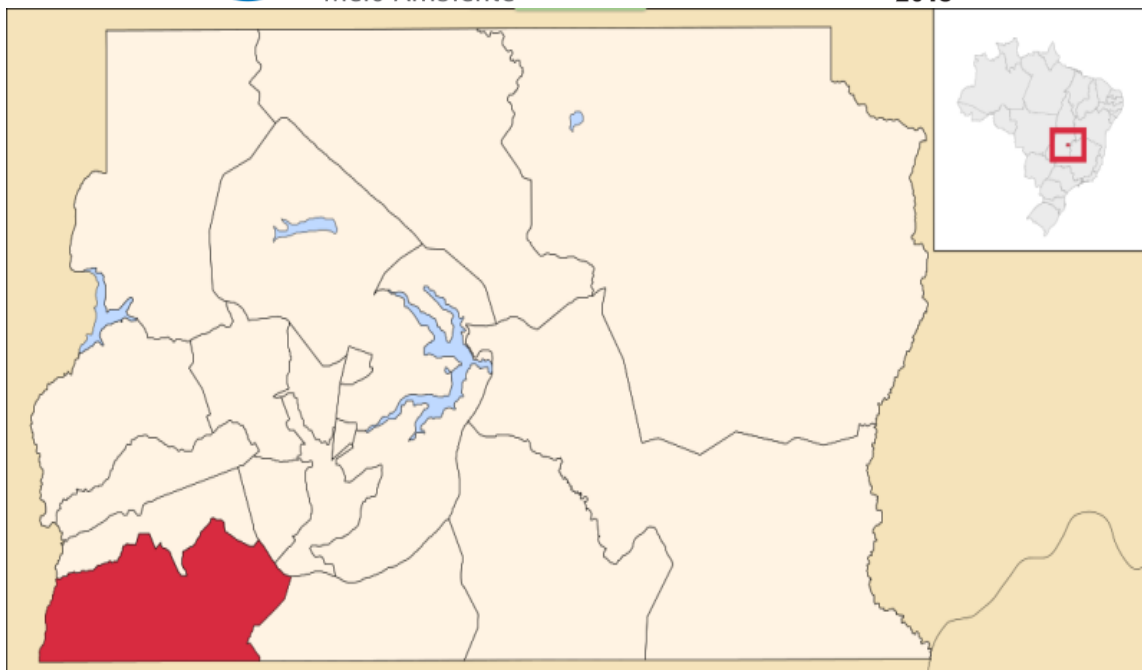
Construção de hierarquias: É necessário estruturar os critérios de forma hierárquica, diferenciando a influência dentre todos indicadores em avaliação, possibilitando compreender de forma global a interação entre os dados avaliados  
Definição de prioridades: Iteração de matrizes compondo o julgamento de hierarquia entre todos elementos, determinando individualmente suas prioridades através de comparações entre eles.

A quantidade de julgamentos necessários para a construção de uma matriz de julgamentos genérica A é  $n(n-1)/2$ , onde n é o número de elementos pertencentes a esta matriz. Os elementos de A são definidos pelas condições:

## **METODOLOGIA UTILIZADA**

- **Descrição Da Área**

A cidade do Gama foi criada para alojar excedentes populacional em virtude da construção de Brasília, localizada conforme a figura 1. A atual população do Gama é aproximadamente de 150 mil habitantes, conforme estudos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012). A região administrativa abrange aproximadamente 276,3 km<sup>2</sup>, porém sua população está concentrada em poucos locais.



**Figura 1: Cidade Gama/Distrito Federal**

A Região Administrativa do Gama é formada por área urbana e rural. A área urbana está dividida em 6 (seis) setores: Norte, Sul, Leste, Oeste, Central e de Indústria. O projeto da cidade lembra o formato de uma colmeia. As quadras possuem formato hexagonal e, internamente um, formato triangular, com uma média de 96 a 100 lotes. Em cada triângulo, há um setor comercial. (GOVERNO DE BRASÍLIA, 2012)

- **Fonte Dos Dados**

A Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB, 2017) é uma Sociedade de Economia Mista, responsável pela prestação de serviços de saneamento básico no Distrito Federal. Suas principais atribuições correspondem à execução, operação, manutenção e exploração dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, além corretivas são desenvolvidas da conservação, proteção e fiscalização das bacias hidrográficas utilizadas ou reservadas para fins de abastecimento de água e o controle da qualidade e da poluição das águas, várias informações condensadas podem ser demonstradas pela Figura 2.



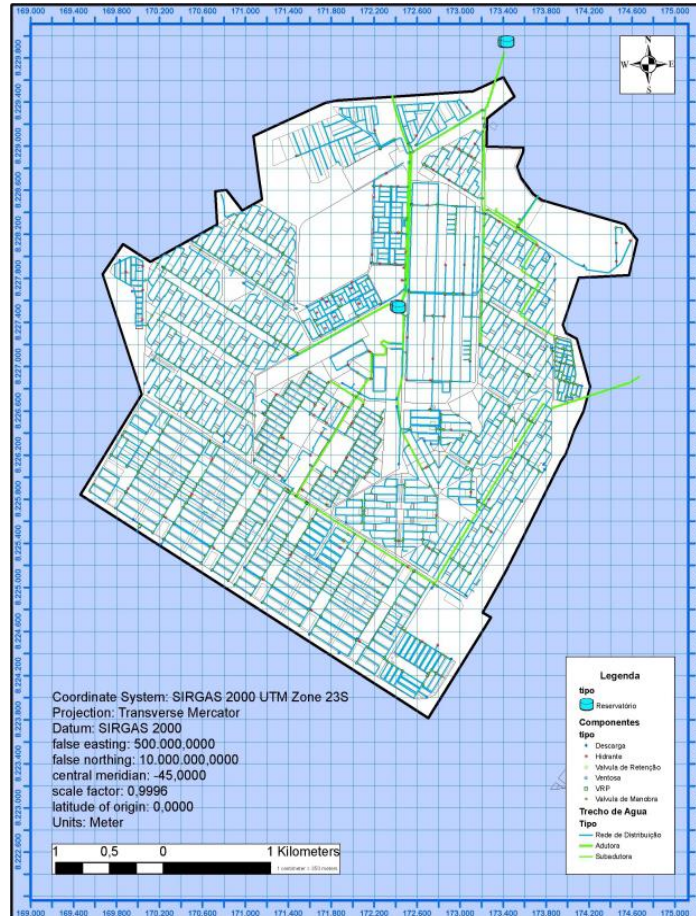
Sistemas Produtores:	5
Capacidade de Produção:	9.506,1 l/s
Redes de Distribuição/Adutora:	8.377 Km
Captação Superficial (Mananciais):	24
Captações Subterrâneas:	114
Adutoras (Água Bruta):	60
Adutoras (Água Tratada):	128
Elevatórias de Água Bruta:	12
Elevatórias de Água Tratada:	45
Poços em Operação:	114
Estações de Tratamento de Água (ETAs):	9
Unidades de Tratamento Simplificado:	17
Cloração de Poços:	39
Reservatórios:	39 apoiados + 90 elevados + 1 de equalização = Total 130
Ligações:	583.701 ligações ativas
Economias Ativas:	944.033
Índice de Atendimento à População	98,04%

**Figura 2 - Resumo dos dados operacionais**

A água do sistema de abastecimento do Gama tem origem superficial da bacia do Rio Descoberto, a cidade é bastante antiga, sua rede tem a idade de operação ponderada de aproximadamente 42 anos, chegando à um estado limite de transição para novas redes, por conter um elevado índice de problemas, dispendo de áreas custosas por conta da deterioração temporal.

- **Dados Utilizados**

É importante frisar que existem diferenças da base de dados utilizado para a realidade, pois possuem trechos em obras, redes não-localizadas, cadastro de desenhos em andamento, erros de cadastro, entre outras diversidades que podem influenciar na precisão dos dados, conseqüentemente existe uma margem de erro considerável que não pode ser ignorado. Logo abaixo, pode ser observado o sistema de água do Gama com a cor azul destacando as redes de distribuição de água e adutoras na cor verde.



**Figura 3 - Rede de distribuição de água**

Na tabela abaixo, é possível visualizar detalhadamente características da rede de distribuição de água, quantificando em função do diâmetro e material, apenas dos trechos em operação e cadastrados no banco de dados, no ano de 2017.

**Tabela 1 - Disposição dos materiais e diâmetros da rede de distribuição de água**

Gama – Rede de distribuição de água existente												
Diâmetro (mm)	Material											
	AÇO (m)	%	CA (m)	%	FF (m)	%	PEAD (m)	%	PVC (m)	%	DEFoFo (m)	%
20	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	16,83	2,80%	10,34	0,01%	0,00	0,00%
32	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	308,11	51,24%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
50	0,00	0,00%	69,20	0,32%	11569,28	17,57%	95,82	15,94%	4834,02	3,10%	59,73	0,41%
60	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	180,53	30,02%	113880,25	72,91%	76,31	0,52%
75	0,00	0,00%	214,20	0,99%	5636,66	8,56%	0,00	0,00%	826,12	0,53%	0,00	0,00%
85	0,00	0,00%	0,00	0,00%	509,34	0,77%	0,00	0,00%	25451,58	16,30%	0,00	0,00%
100	0,00	0,00%	1351,74	6,26%	14706,84	22,34%	0,00	0,00%	637,70	0,41%	875,59	5,94%
110	0,00	0,00%	0,00	0,00%	1476,35	2,24%	0,00	0,00%	8990,24	5,76%	0,00	0,00%
150	0,00	0,00%	12583,95	58,28%	13954,37	21,19%	0,00	0,00%	1220,06	0,78%	8738,33	59,32%
200	0,00	0,00%	1234,19	5,72%	4426,41	6,72%	0,00	0,00%	298,07	0,19%	3389,38	23,01%
250	0,00	0,00%	699,79	3,24%	3063,79	4,65%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	938,58	6,37%
300	0,00	0,00%	3523,18	16,32%	4312,67	6,55%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	1,35	0,01%
350	0,00	0,00%	1326,19	6,14%	534,40	0,81%	0,00	0,00%	34,06	0,02%	0,00	0,00%
400	0,00	0,00%	0,00	0,00%	1317,58	2,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	651,88	4,43%
450	0,00	0,00%	0,00	0,00%	1225,74	1,86%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
500	0,00	0,00%	588,27	2,72%	3106,46	4,72%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
<b>Total</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00%</b>	<b>21590,71</b>	<b>100,00%</b>	<b>65839,89</b>	<b>100,00%</b>	<b>601,29</b>	<b>100,00%</b>	<b>156182,44</b>	<b>100,00%</b>	<b>14731,15</b>	<b>100,00%</b>
<b>Total Geral</b>	<b>258945,48</b>		<b>Metros</b>									

Existem atualmente 2 grandes zonas de controle operacional no Gama, podendo ser nomeados de UDAs (Unidade de Distribuição de Água) com o intuito de fracionar grandes áreas de abastecimento, em função da área de abrangência



dos reservatórios, reduzindo setores e facilitando manobras, também permitindo que as pressões sejam mais estáveis e consequentemente com o monitoramento mais preciso, ou seja, simplificando a compreensão de um grande e complexo sistema.

Levando em consideração os dados de 2017, possuem 4 zonas de abrangência em função das válvulas redutoras de pressão (VRP) em funcionamento, que tem como objetivo controlar pressões problemáticas a montante do local de funcionamento, devido a cotas desfavoráveis ou riscos envolvidos pelas variações bruscas de pressões durante o dia. Cada zona de abrangência representa as áreas influenciadas pelo funcionamento de cada válvula redutora de pressão ou conjunto delas, reduzindo e mantendo as pressões constantes a jusante, ressaltando que a pressão de saída pode ser programada, inclusive com horários e rotinas.

As curvas de nível utilizadas, possuem cotas altimétricas com a precisão de cinco metros, reprojeta das do DATUM CHUÁ para SIRGAS 2000 padrão IBGE. As curvas de nível em 1:10.000 fornecidas pela SEDHAB (atual SEGETH) são provenientes de levantamento contratado pela Terracap, entregue no ano de 2010, tendo o datum vertical de Imbituba como referência. É importante mencionar que após 2010 o IBGE realizou revisão, o que pode interferir na precisão dos dados. Após selecionar as curvas de nível, foram recortadas com uma margem de segurança de 500 m dos limites do urbanismo da cidade, com o propósito de reduzir erros de borda gerados após o procedimento de seleção, dentro do Arcmap, destaca-se que as cotas altimétricas do nível do terreno variam entre 955m e 1215m aproximadamente.

As ligações de ramal são de responsabilidade da companhia de saneamento básico, com os dados georreferenciados do local aproximado dentro do lote, evidenciando a conexão da rede pública com o morador, contendo diversas informações relevantes, mas também diferenciando os clientes em 4 categorias, sendo eles: Residencial, comercial, público e industrial, pelo fato de existir tarifas adicionais característicos do consumo de cada tipo de cliente.

#### • **Parâmetros Do Modelo**

As informações devem existir em quantidade e com confiabilidade mediante a data da medição, caso contrário desconsiderar a informação é uma alternativa, também é necessário coletar dados em campo no máximo de pontos possíveis, para calibrar o modelo, em função do estudo e do local. Logo a seguir encontra-se algumas considerações utilizadas para definir as variáveis do modelo.

**Diâmetro:** Quanto menor o diâmetro da tubulação, maior é a perda de carga e menor a pressão interna suportado. Também possui um investimento menor para reparos e implantação de novas redes se comparadas com diâmetros maiores.

**Idade da Rede:** A vida útil de uma rede de água está diretamente ligada com o número de manutenções através de investimentos preventivos, preditivos e corretivos. Além disso, o rápido crescimento populacional e expansões das cidades, produzem grandes mudanças no funcionamento da rede, como efeito colateral, reduzindo a vida útil da rede de água.

**Material:** A composição de cada material possui vantagens e desvantagens, deve ser analisado a vida útil, problemas a longo prazo, a resistência a pressões, fadiga, transientes hidráulicos, assim como, a reatividade com fatores externos ao longo do tempo, em metais por exemplo, oxidando e criando incrustações.

**Tipo de rede:** Cada tipo de rede possui sua função e hierarquia, podendo ser um fator financeiro.

**Relevo:** Informação primordial, possuindo potencial para criar mapas com a diferença de cota do trecho de água, utilizando como referência o reservatório utilizado para o abastecimento.

**Densidade de elementos:** Através do posicionamento é possível determinar a densidade dos componentes, conexões e válvulas de manobra, quanto maior a concentração dos elementos, maior será a perda de carga e prováveis locais de manutenção.

**Categoria de uso (Doméstico, industrial, comercial, público):** É possível determinar o grau de importância e características de consumo em comum para cada categoria.





- **Equação Do Modelo**

Primeiramente deve-se compreender que os dados utilizados no modelo possuem diferentes utilidades, se o parâmetro for uma informação a priori, ou seja, um dado fixo e inicialmente considerado na concepção dos projetos, como por exemplo: relevo, diâmetro, material, data de implantação, categoria de uso, posicionamento espacial dos elementos envolvidos dentro de um sistema de água, entre outros exemplos, este deve ser utilizado como parâmetros de entrada no modelo.

Enquanto as informações secundárias, existem apenas em função de uma ou mais informações primárias, ou seja, eventos criados a partir de combinações e situações envolvendo parâmetros primários, considerando fatores externos, proporcionam condições com potencial de degenerar a rede de distribuição de água, no qual, fenômenos são evidenciados como reação da origem desses eventos, por exemplo: consertos, vazamentos, reclamações, entre outras situações. Logo abaixo a equação geral do modelo é definida:

**Suscetibilidade = ((T x p1) + (M x p2) + (C x p3) + (DE x p4) + (T x p5) + (I x p6) (D x p7)) / (Número de parâmetros)**

T = Parâmetros envolvendo o terreno

M = Material dos trechos de água

C = Categoria de uso

DE = Densidade dos elementos envolvidos

T = Tipo de rede

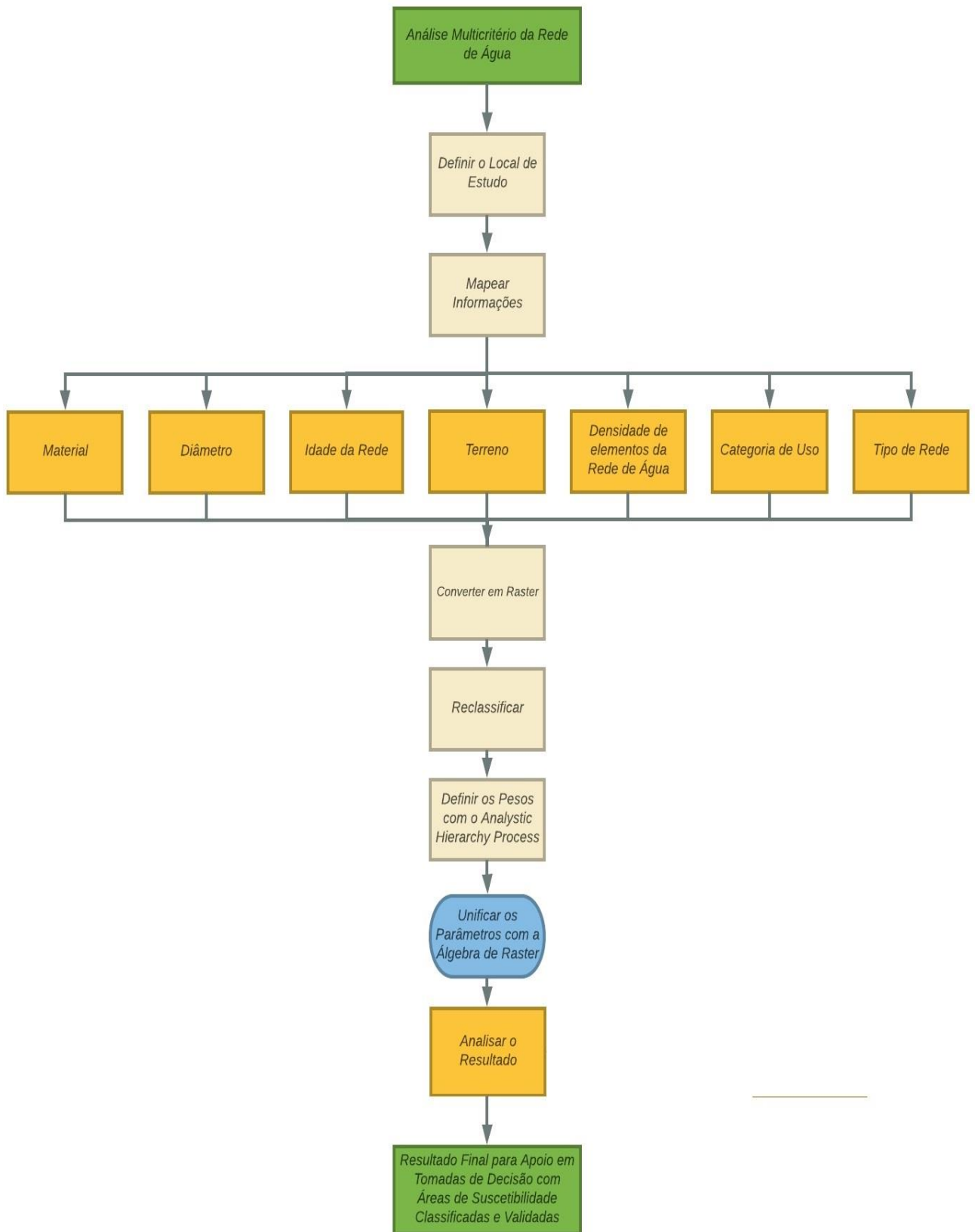
I = Idade da rede

D = Diâmetro dos trechos de água

p(n) = Peso definido para cada parâmetro

Primeiramente é necessário que todas as informações sejam convertidas para a extensão raster, dentro de alguma plataforma SIG, é sabido que existem diversas formas de representar informações, sendo os principais tipos: linhas, polígonos e pontos. Cada tipo de representação precisa de um processo de conversão diferenciado, até que finalmente seja convertido em raster para poder prosseguir com o modelo proposto, assim como considerações das dimensões e influências dos dados utilizados.

Após converter os dados, possuindo características semelhantes pré-estabelecidas, é possível iniciar o processo de categorizar as informações, sempre dando prioridade com comparações utilizando normas, leis, portarias, ou qualquer outra referência técnica. Com as informações e os dados sendo uma situação específica, recomenda-se utilizar o empirismo ou técnica de divisão estatística para delimitar as faixas de suscetibilidade que melhor se adequam dentro das camadas, com intervalos de valores reclassificados, posteriormente deve ser definido as influências entre os dados selecionados, utilizando pesos através da metodologia Analytic Hierarchy Process (AHP).



**Figura 4 - Fluxograma do modelo**



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A suscetibilidade de um sistema distribuidor de água é influenciada por diversos fatores, já mencionados anteriormente, para representar os valores, utilizou-se técnicas de geoprocessamento dentro de um ambiente SIG, com o software ArcMap da plataforma ArcMap. Inicialmente, são expostos os parâmetros primários que compõe os sistemas distribuidores de água, neste trabalho, utilizando a cidade do Gama como referência.

O trabalho foi feito seguindo o modelo de equação proposto, para mensuração da suscetibilidade de eventuais problemas que podem ocorrer em qualquer sistema distribuidor de água, como já foi descrito. É importante ressaltar que o número de categorias de reclassificação pode ser alterado em virtude do objetivo final do estudo, onde devem ser ordenadas em função da probabilidade para ocorrer patologias na rede de distribuição de água, e não um comparativo qualitativo. Sendo as 5 classes escolhidas: [1] Muito baixo, [2] Baixo, [3] Regular, [4] Alto. [5] Muito Alto, cada categoria deve ser referenciada por essas variáveis, após serem feitos todos procedimentos de conversão e tratamento dos dados.

### • Parâmetros Primários

**Idade da rede:** Para calcular a quantidade do tempo das redes em operação, considerou-se a diferença da data atual com a data de implantação, sendo assim, resultando na idade da rede em anos com valores arredondados para o ano mais próximo, facilitando a manipulação dos dados posteriormente. Observa-se que a idade da rede de distribuição de água do Gama é bastante alta, abrangendo praticamente toda cidade, como consequência, amplificando as quantidades de serviços de manutenção em função do desgaste operacional, sendo eles, acima da média em vários locais, muitas vezes com custos viciosos que podem não ser viáveis a longo prazo.

**Material:** Alguns materiais utilizados a longo prazo, como o ferro fundido, podem ser problemáticos, devido aos processos de oxidação que degeneram o metal, ocorrendo uma corrosão eletroquímica, favorecida pela agressividade do solo argiloso predominante na cidade do Gama, como consequência das reações químicas, são gerados incrustações internas que reduzem o diâmetro nominal da tubulação, bem como, alteram negativamente a rugosidade e também a qualidade da água em função da quantidade de incrustações na rede de água.

Existe uma pequena parcela de tubulações de Cimento Amianto (CA), como pode ser analisado pelo gráfico e mapas, existem diversos estudos sobre ele ser um material cancerígeno, porém é uma discussão bastante complexa que ainda não existe um consenso, mas independente disso, o amianto é considerado uma substância cancerígena pela Organização Mundial de Saúde (OMS), e no Brasil são proibidos pela lei (Anexo 12 da NR-15 e Lei 9055/95), em situações que podem oferecer perigo. As redes de cimento amianto em operação na cidade do Gama estão sendo utilizados a bastante tempo, em média 45 anos, são classificadas como redes problemáticas por serem sensíveis a transientes hidráulicos nesse contexto.

Destaca-se que existem uma grande quantidade de redes com variações de materiais derivados de polímeros, que são na maioria das vezes, os mais utilizados em redes com diâmetros de menor calibre, por serem um dos mais versáteis atualmente, apresentando um excelente custo-benefício, durabilidade e resistência a fatores externos, porém dificilmente utilizado em linhas de adutoras, em função das suas características com baixa resistência a pressões internas, se comparado com o ferro fundido e aço.

**Categoria de uso:** Foi considerado um raio de 20 metros de influência a partir de cada ponto de ligação de ramal, utilizando o método de análise espacial kernel com auxílio da plataforma ArcGIS, estimando um valor arbitrário em função das dimensões médias de um lote, porém o mais importante nesse parâmetro é diferenciar hierarquicamente os clientes com base em seus consumos, sendo assim, um parâmetro muito importante dentro do modelo, apesar do uso residencial ser o de menor consumo individual, ele é o principal cliente pela representatividade global.

**Densidade de Conexões/Componentes e Válvulas de Manobras:** Esse parâmetro tem uma influência direta com a quantidade de manutenções, pois quanto maior a densidade, estatisticamente, maior será a probabilidade de ocorrer algum serviço, seja ele corretivo ou preventivo, sendo os principais listados: (conexões, componentes e válvulas de manobra) tendem a reduzir a estanqueidade de uma rede de distribuição de água e também aumentar as perdas de cargas localizadas, como descreve formulações da hidráulica, existem também grandes concentrações de redes com pontas secas no Gama, não sendo efetivamente redes em anéis.



Foi feita uma análise espacial de todos elementos listados no mapa, utilizando a metodologia Kernel com o valor de influência da célula de 20 metros para gerar essa camada unificada das informações, demonstrando a densidade de "perda de carga" indiretamente. Houve um local que se destacou com uma grande concentração de elementos na rede, porém estão localizados nas proximidades operacional dos reservatórios, sendo bastante monitorado, dispensando a atenção neste local em específico.

**Diâmetro:** Analisando os quantitativos dos diâmetros da rede de água no Gama, percebe-se que grande parte se condensa em diâmetros menores, que são ramificados e reduzidos próximos de residências, onde não é mais necessárias grandes quantidades de vazão concentradas em trechos únicos. É considerável relacionar o diâmetro com a resistência a pressões e transientes hidráulicos, conseqüentemente suportando vazões maiores, portanto, é plausível mencionar que quanto maior o diâmetro da rede, menor será a probabilidade de romper, visto que sua área de contato interno com o fluido é maior, distribuindo com mais eficiência os carregamentos que são impostos internamente nas tubulações, necessitando também apresentar maiores espessuras e também monitoramento operacional, em função da importância e valor de investimento, que aumentam gradualmente a depender dos diâmetros analisados.

**Tipo de Rede:** Esse parâmetro basicamente diferencia os tipos de rede existentes dentro de um sistema de água (adutoras e rede de distribuição) hierarquicamente, quanto maior a responsabilidade operacional, ou potencial de abastecimento, maior será o monitoramento desses trechos, portanto é um fator com relevância considerável que deve ser acrescentado no modelo, diferenciando os trechos em detrimento da função.

**DEM das Curvas de Nível:** O relevo do terreno é um dos principais parâmetro de entrada no modelo, através dele é possível distribuir a água por gravidade, dependendo do local, pode-se observar que o Gama possui uma característica muito peculiar, apresentando seu relevo em declive de forma contínua, possibilitando que os reservatórios fossem posicionados em cotas favorecidas, não sendo necessário o auxílio de boosters para abastecer locais mais altos que o nível do reservatório. Através da curva de nível, foi possível renderizar e manipular os dados até que finalmente fossem convertidos em Modelos Digitais de Elevação (DEM), com auxílio do ArcGIS. Porém apenas as cotas altimétricas não são o suficiente para delimitar zonas de suscetibilidade, então inspirado na equação de Bernoulli, percebeu-se a necessidade de criar através desse mapa, a diferença de cota dos trechos de água, considerando a profundidade de cada trecho, em relação ao extravasor, com nível constante, em função do reservatório responsável pelo abastecimento de cada unidade de distribuição de água, ou seja, com as zonas de abrangência por reservatório.

Todos os procedimentos de cálculos foram igualmente calculados nos reservatórios fictícios, porém gerando dois mapas distintos, um com o funcionamento durante o dia e o outro com o funcionamento durante a noite, pois as rotinas são programadas. Após serem gerados as duas situações, foi realizado uma divisão de camadas utilizando a calculadora de raster no ArcGIS, resultando em um único mapa, com valores médios das diferenças de cota com o reservatório e reservatório fictício. Em locais que não são contemplados pelo funcionamento das VRP, após a divisão, permanecem inalterados durante o dia e noite. O intuito dessa consideração é incluir o funcionamento das válvulas redutoras de pressão, para evitar redundância de soluções no resultado final com a realidade

#### • **Análise Hierárquica De Processos (AHP)**

O método AHP (Analytic Hierarchy Process) foi desenvolvido por Tomas L. Saaty no início da década de 70 e é o método de multicritério mais amplamente utilizado e conhecido no apoio à tomada de decisão na resolução de conflitos negociados, em problemas com múltiplos critérios.

Após diversos estudos (MARIAS; SOUZA; BARROS, 2009) simplificaram a compreensão da metodologia AHP em 2 etapas, sendo elas:

**Construção de hierarquias:** É necessário estruturar os critérios de forma hierárquica, diferenciando a influência dentre todos indicadores em avaliação, possibilitando compreender de forma global a interação entre os dados avaliados

**Definição de prioridades:** Iteração de matrizes compondo o julgamento de hierarquia entre todos elementos, determinando individualmente suas prioridades através de comparações entre eles.

Após todos parâmetros serem convertidos em raster, reclassificados e feito algumas considerações, é necessário impor pesos, pois as influências dos dados de entrada são diferentes, por esse motivo deve ser utilizado algum metodologia



para diferenciar o grau de importância dos parâmetros dentro da equação do modelo, e a AHP vem sendo uma das mais utilizadas para definir pesos em critérios complexos, que dependem de diversos fatores e opiniões adjacentes.

Foram feitas 21 iterações de conjuntos de valores, resultando em uma relação de consistência (CR-Consistency Ratio) de 8,5%, inferior a 10% imposta pela metodologia, portanto a inconsistência é aceitável.

**Tabela 2 - Analytic Hierarchy Process**

INDICADORES	R	D	IR	M	C	DP	TR
Relevo	<b>1,00</b>	3,00	3,00	5,00	7,00	7,00	9,00
Diametro	0,33	<b>1,00</b>	1,00	2,00	7,00	7,00	9,00
Idade da Rede	0,33	1,00	<b>1,00</b>	3,00	5,00	5,00	7,00
Material	0,20	0,50	0,33	<b>1,00</b>	5,00	7,00	7,00
Categoria de uso	0,14	0,14	0,20	0,20	<b>1,00</b>	3,00	5,00
Densidade de Pontos	0,14	0,14	0,20	0,14	0,33	<b>1,00</b>	3,00
Tipo de Rede	0,11	0,11	0,14	0,14	0,20	0,33	<b>1,00</b>

Após calibrar o modelo diversas vezes alguns pesos foram redistribuídos, e arredondando os valores.

**Tabela 3 - Pesos e Hierarquia dos Parâmetros do Modelo**

	Categoria	Calculado	Calibrado	Rank
1	Relevo	38.2%	30,00	1
2	Diametro	19.9%	20,00	2
3	Idade	18.9%	20,00	3
4	Material	12.8%	15,00	4
5	Categoria de uso	5.1%	5,00	5
6	Densidade de pontos	3.2%	5,00	6
7	Tipos de redes	2.0%	5,00	7

#### • Resultado Gerado Pelo Modelo

Com as camadas concluídas e os pesos definidos, agora é possível substituir os valores na equação proposta pelo modelo, com auxílio da calculadora de raster no ArcGIS. Com o resultado final do modelo calibrado, o nível de compreensão da rede de distribuição do Gama é amplificado, pois fornece diversas fontes de informações simplificados em apenas um mapa, definindo em classes de gravidade, ajudando a priorizar, conseqüentemente também a sequenciar estudos mais complexos, com o nível aproximado de suscetibilidade para ocorrer patologias, norteadas tomadas de decisão, em macro análises a nível de cidades.

É importante citar que existem alguns trechos (menos de 3%) que não apareceram no resultado final, propositalmente, por não possuírem 3 ou mais valores nulos nos parâmetros de entrada, em um mesmo trecho de água, então para evitar margens de erros, criando contrastes, foram desconsiderados.

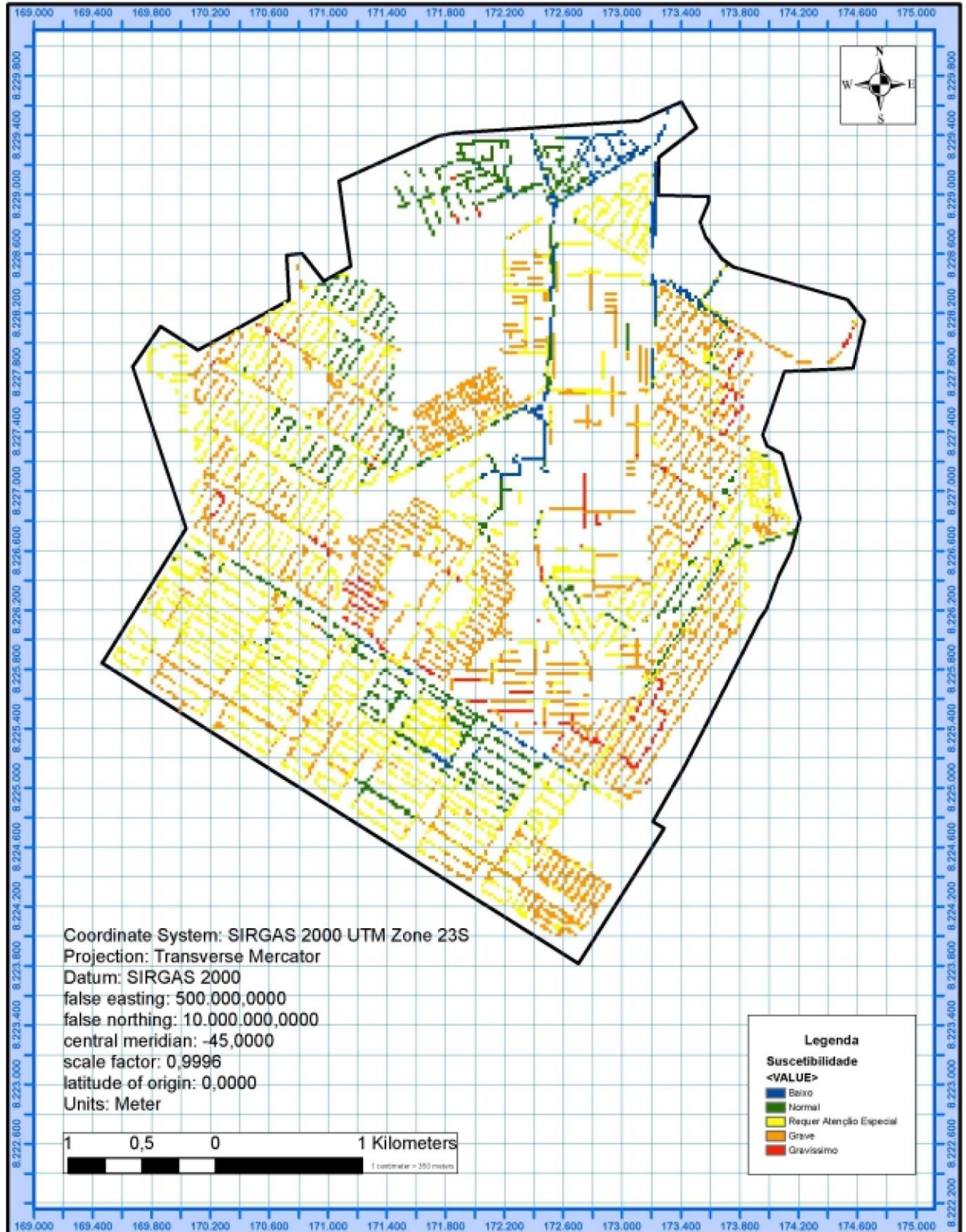


Figura 5 - Suscetibilidade das Redes de Distribuição de Água



## CONCLUSÃO

Com o modelo proposto, chegou-se à conclusão que analisar várias informações simultaneamente, desencadeiam em um entendimento mais amplo da rede de distribuição de água, se comparado com análises fragmentadas, pois alguns parâmetros só fazem sentido se estiverem contidas em um contexto lógico, dessa forma a união dos parâmetros resultam em decisões mais eficientes em relação à definição de locais prioritários, evitando manutenções perpétuas e custosas, em locais com pouco retorno na qualidade operacional do sistema de água.

A metodologia com análise multicritério utilizada neste trabalho, mostrou-se eficiente na elaboração do mapa de suscetibilidade do sistema distribuidor de água da cidade do Gama, podendo assim ser utilizadas como ferramentas de gestão e apoio à tomada de decisão, auxiliando principalmente no planejamento e priorização de setores. Apesar da eficiência ser comprovada, algumas camadas de informações tiveram que ser desconsideradas pela insuficiência de dados, ou mesmo, pela confiabilidade duvidosa, que poderia alterar drasticamente os resultados finais, por isso é muito importante ter a sensibilidade da veracidade dos dados utilizados e dispor de quantidades suficientes, antes de considerá-los.

É importante ressaltar que esse modelo possui o potencial de ser utilizado em qualquer local, desde que a essência principal do modelo seja mantida, sendo possível acrescentar ou retirar parâmetros de entrada em função do tipo de estudo requerido. Algumas etapas desse modelo são semelhantes e amplamente utilizadas em estudos ambientais, porém foi necessário adaptar e dar novas soluções para várias etapas complexas, com a finalidade de trabalhar com os tipos de dados característicos de sistemas distribuidores de água, possuindo poucas soluções atualmente, com baixo custo, para auxiliar na gestão e planejamento operacional. Espera-se que a metodologia seja utilizada e otimizada por outros autores, com o intuito de melhorar a eficiência dos serviços de saneamento básico no Brasil, através do geoprocessamento, no qual, possui um baixo investimento e energia necessária para produzir estudos complexos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. NBR:12218. Rio de Janeiro, 1994. 4 p. Disponível em <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=251963>>. Acesso em: 18 Mai 2016.
2. CAESB. Sistema de abastecimento. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Disponível em <<https://www.caesb.df.gov.br/agua/sistemas-de-abastecimento.html>>. Acesso em: 29 mai 2017.
3. ESRI. Introducing ArcGIS for Desktop. ArcGIS. 2016. Disponível em <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap>>. Acesso em: 06 Jul 2016.
4. GONZALVES, Eltonet al. Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água: Pesquisa e combate a vazamentos não visíveis. Brasília, v. 3, 2007. 89 p. (Guias práticos) disponível em <<http://www.pmss.gov.br/index.php/biblioteca-virtual/programa-nacional-combate-ao-desperdicio-agua-pncda>>. Acesso em: 15 Jun 2016.
5. GONÇALVES, Eltonet al. Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água: Controle de pressões e operação de válvulas reguladoras de pressão. Brasília, v. 4, 2007. 65p (Guias práticos) disponível em <<http://www.pmss.gov.br/index.php/bibliotecavirtual/programa-nacional-combate-ao-desperdicio-agua-pncda>>. Acesso em: 23 Jun 2016.
6. GOVERNO DE BRASÍLIA. Administração Regional do Gama: Conheça a RA. Região Administrativa do Gama. 2012. Disponível em <<http://www.gama.df.gov.br/>>. Acesso em: 11 Out 2016.
7. HAGGETT, Petter; CHORLEY, Richard. **Modelos físicos e de informação em geografia**. Tradução Antônio Ceron e Antônio Christofolletti. Rio de Janeiro, 1975. 270 p. Tradução de: Network analysis in geography.
8. IBGE. Censo Demográfico: Características da população e dos domicílios. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** - Rio de Janeiro, 2010. 270 p. Disponível em <>. Acesso em: 01 Mai 2016.
9. MARIAS, Cristiano; SOUZA, Daniela; BARROS, Magno. O USO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) NA TOMADA DE DECISÕES GERENCIAIS – UM ESTUDO DE CASO. **XLI SBPO 2009 - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento**. Bahia, 2009. 11 p. Disponível em <<http://www2.ic.uff.br/~emitacc/AMD/Artigo%204.pdf>>. Acesso em: 04 Nov 2016.
10. NETTO, Azevedo. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. Edgard Blucher, 1998. 664 p.
11. PORTO, Rodrigo. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 540 p.



12. PORTARIA. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde. Brasília, 2011. Disponível em <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em: 19 Mai 2016.
13. TEIXEIRA, Amandio; CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Introdução aos sistemas de informações geográficas**. Rio Claro: Hucitec, 1997. 244 p.
14. TSUTIYA, Milton. **Abastecimento de Água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP, 2006. 659 p.
15. WIKIPÉDIA. **ArcGIS**. Disponível em <<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=ArcGIS&oldid=748818651>>. Acesso em: 09 Nov 2017.