

**35ETC-06763-PAS – PROJETO DE ÁGUA SUL – MELHORIA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO ATRAVÉS DE METODOLOGIA AHP DE PRIORIZAÇÃO FOCADO NA EFICIÊNCIA DA OPERAÇÃO.**

**Antonio Alberto de Almeida<sup>(1)</sup>**

Bacharel em Engenharia Mecânica pela Universidade de Mogi das Cruzes (UMC), Mestre em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Pós-Graduação Lato Sensu em Didática e Metodologia do Ensino Superior (UNIDERP), Pós-graduação em Engenharia de Campo – SMS pela Escola Politécnica da USP (PROMINP). Engenheiro na CIA de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, atuando em modelagem hidráulica para abastecimento, renovação de ativos e redução de perdas.

**Carla Regina Gregório Brevilieri<sup>(2)</sup>**

Engenheira Civil pela Faculdade de Engenharia de São Paulo/FESP, Mestre em Engenharia Hidráulica pela Escola Politécnica da USP, MBA em Gestão de Serviços pela UNIP e Tecnóloga em Edificações e Obras Hidráulicas pela FATEC. Experiência de 29 anos em saneamento, com atuações nas áreas de planejamento, operação e manutenção de redes de água e esgoto. Gestão em programa de redução de perdas, gestão de contratos e gestão de financiamentos.

**Evandro Vale de Almeida<sup>(3)</sup>**

Tecnólogo em Construção Civil - Obras Hidráulicas pela FATEC-SP. Tecnólogo na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

**Felipe Magno da Silva Neto<sup>(4)</sup>**

Pós-graduando – MBA Gestão Empresarial pela FGV – Fundação Getúlio Vargas, Engenheiro Civil pela Universidade Anhembi Morumbi, Tecnólogo em Hidráulica e Saneamento Ambiental pela Faculdade de Tecnologia de SP – FATEC-SP. Técnico em Saneamento na cia de saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, na Operação de Água Sul.

**Endereço:** Rua Grahan Bell, 647. Alto da Boa Vista – São Paulo – SP - CEP: 04737-030 - Brasil - Tel: +55 (11) 98740 8756 - Fax: +55 (11) 5682-9844 - e-mail: [aalberto@sabesp.com.br](mailto:aalberto@sabesp.com.br).

## RESUMO

A Unidade de Operação Sul, em seu planejamento levantou a necessidade de melhorar de maneira célere a eficiência operacional que reflete nos indicadores IRFA, IPDT, IVV e Contratos de Programas dos Municípios, e solicitou aos seus colaboradores com experiências de operação em campo que indicassem quais seriam as obras necessárias para isto. Uma lista de 99 obras foi apresentada, e então era necessário algum critério de priorização para a execução das mesmas, e foi então que a metodologia AHP foi aplicada, fazendo com que as obras fossem elencadas considerando o impacto e complexidade, além do acompanhamento do status, prazos, responsáveis e executores de cada uma das etapas das mesmas, que levou rapidamente a resultados satisfatórios, na execução dos projetos.

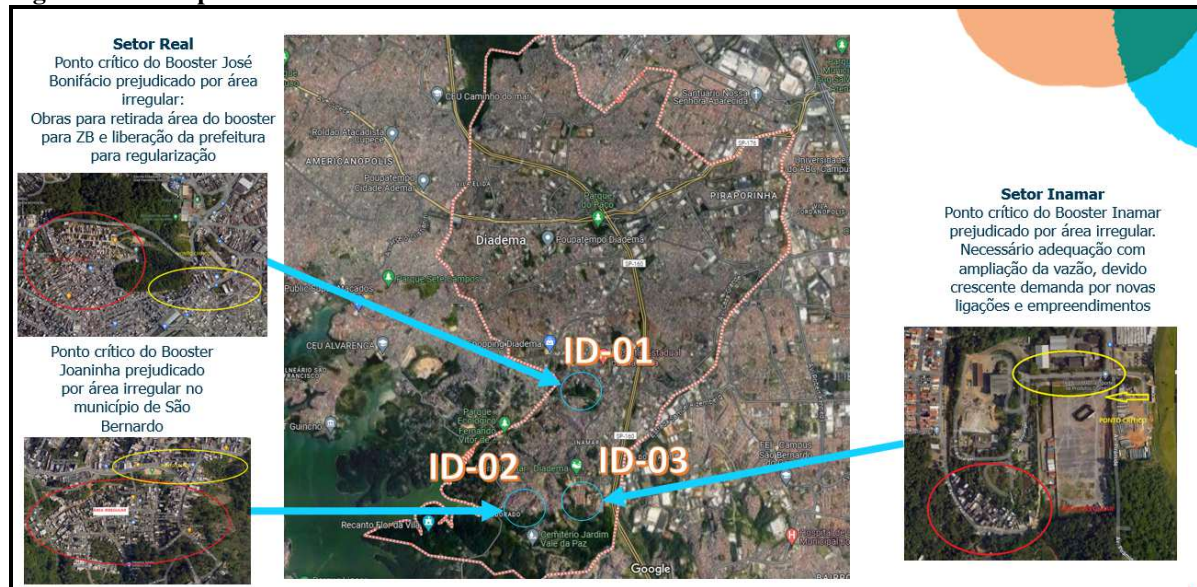
**PALAVRAS-CHAVE:** Priorização de obras, Metodologia AHP, Modelagem.

## INTRODUÇÃO

Da necessidade de priorizar um conjunto de obras levantadas pelos colaboradores especialistas em operação juntamente com os tomadores de decisões, conforme figura 1 que foi transformada na planilha1, foi aplicada a metodologia AHP, dividindo o problema através de critérios e alternativas, determinando os seus pesos e assim elencando a sequência a ser executada.



**Figura 1 – Exemplo de obras indicadas e validadas.**



**Planilha 1 – Obras indicadas num total de 99.**

S1			
AHP Geral (A-UN+000)	Município	Setor	Nome do Empreendimento
050A2024-001	Diadema	Real	Readequação da área do Booster José Bonifácio
050A2024-002	Diadema	Inamar	Readequação Booster Joaquinha
050A2024-003	Diadema	Inamar	Adequação do Booster Inamar
050A2024-004	SBC	Alvarenga	Rua da Água (Modernização do Booster João de Barros)
050A2024-005	SBC	Alvarenga	Rua Piauí (Adequação do Booster Parque das Garças)
050A2024-006	SBC	Tatetos	Estrada Caminho da Divisa (Novo Poço Tatetos P3)
050A2024-007	SBC	Capelinha	Rua Francisco Gava (Novo poço e interligação no SIM)
050A2024-008	Rib. Pires	Jd. Verão	Rua Araras (Implantação de mini Booster)
050A2024-009	Rib. Pires	Ouro Fino	Adutora Finalizada, aguardando execução vazamentos.
050A2024-010	RGS	Rio Gd Serra	Rede de 200mm para Villa Tsuzuki e Pedreira
050A2024-011	São Paulo	Jd. São Luiz	Cohab Adventista - Trav Rosiflora. Performance
050A2024-012	São Paulo	Jd. São Luiz	Raquel Alves Moreira. Performance
050A2024-013	São Paulo	Bologne	João Robalo (Rede)
050A2024-014	São Paulo	Bologne	Morro do Índio. (Prolong p/Booster Tiquira)
050A2024-015	São Paulo	Bologne	Rua Falcon (rede)
050A2024-016	São Paulo	Bologne	Jd. Copacabana (Rede)
050A2024-017	São Paulo	Jd. Ângela	Rua Cruzeiro/Paraíso Tropical ?????
050A2024-018	São Paulo	Jd. Ângela	Xambarés (Pq do Lago. Estudo Booster Tilápia)
050A2024-019	São Paulo	Jd. Ângela	Castro Lopes. Pq do Lago. Estudo do Booster Tilápia)
050A2024-020	São Paulo	Jd. Ângela	Rua Plínio Dias. Junto com ID34
050A2024-021	São Paulo	Jd. Ângela	Jd. Do Edem. Reforço de rede. J
050A2024-022	São Paulo	Jd. Ângela	Estudo para adequação de Booster (Junto com Horiz azul)
050A2024-023	São Paulo	Jd. Ângela	Rua do Campinho / Rua Diogo Persone. (Reforço de rede)
050A2024-024	São Paulo	Jd. Ângela	Estrada do Araguay. Estudo do novo Booster Puruba)

## OBJETIVO

O objetivo desta ação foi a priorização AHP que a partir de vários julgamentos humanos usados para elencar obras visando resultados específicos foram transformados em informações numéricas baseadas em multicritérios modelados de maneira a obter consenso visando a melhoria dos indicadores de perdas e operacionais; IPDT, IRFA, IVV e Contratos de Programas com os Municípios.

## METODOLOGIA UTILIZADA

Foi utilizada a Metodologia AHP (Analytic Hierarchy Process) desenvolvida por Thomas L. Saaty na década de 1970 para subsidiar a tomada de decisão com multicritérios. Ela é amplamente utilizada para ajudar na resolução de priorizações de problemas complexos, onde são necessários julgamentos quantitativos e qualitativos, considerando a melhoria dos seguintes indicadores:

**IPDT:** Índice de perdas de água na distribuição que mede as perdas em volume totais por ligação na rede de distribuição de água por dia, que é o indicador recomendado pela IWA – International Water Association, por permitir a realização de comparações entre os operadores de sistemas de distribuição de água que adotam essa metodologia.

**IRFA:** Índice de reclamação de falta d'água que é a razão entre o total de reclamações por descontinuidade do serviço de abastecimento de água registradas no serviço de atendimento da companhia para cada 1000 ligações ativas de água, representa a descontinuidade do serviço relacionada à falta de água e baixa pressão e constitui-se na principal fonte de reclamação dos usuários; o índice objetiva a continuidade de serviços de abastecimento de água, mapeando e minimizando a prestação de serviço insuficiente quanto à regularidade e à continuidade.

**IVV:** Índice de vazamentos visíveis que é a razão entre o total de vazamentos visíveis e a extensão da rede de distribuição de água em km, partindo dos dados cadastrais e históricos da companhia, e sua redução reflete a melhoria no valor de perdas e na manutenção preventiva do sistema de distribuição de água.

Nesta metodologia é feita a decomposição do problema em uma hierarquia de critérios mais facilmente analisáveis e comparáveis. Assim, tira-se subjetividades e de forma competente, objetiva e com mais qualidade priorizou-se as obras a serem executadas.

## Metodologia AHP

A metodologia AHP baseia-se em três princípios fundamentais:

1. **Decomposição:** Dividir o problema complexo em uma hierarquia de subproblemas mais simples, que podem ser mais facilmente analisados e comparados. A hierarquia geralmente é composta de três níveis:
  - **Objetivo:** A meta principal que se deseja alcançar.
  - **Crítérios:** Os fatores ou parâmetros que serão usados para avaliar as alternativas.
  - **Alternativas:** As opções ou soluções possíveis que serão avaliadas.
2. **Comparação par-a-par:** Avaliar os elementos em cada nível da hierarquia em pares, comparando-os em termos de sua contribuição para o elemento superior da hierarquia. Isso é feito usando uma escala de razão (geralmente uma escala de 1 a 9), onde 1 indica que os dois elementos são igualmente importantes e 9 indica que um elemento é extremamente mais importante que o outro.
3. **Síntese das prioridades:** Calcular os pesos dos critérios e das alternativas para determinar uma ordem de prioridade. Isso envolve a construção de matrizes de comparação e a realização de cálculos matemáticos para derivar os pesos e verificar a consistência das comparações.

Etapas da Metodologia AHP

1. **Definição do Problema e Construção da Hierarquia**
  - Identificação clara do objetivo principal.
  - Definição dos critérios que serão usados para avaliar as alternativas.
  - Listagem das alternativas a serem consideradas.
  - Estruturação do problema em uma hierarquia de três níveis (objetivo, critérios e alternativas).
2. **Realização das Comparações Par-a-Par**
  - Comparação de cada critério em relação ao objetivo principal.
  - Comparação de cada alternativa em relação a cada critério.
  - Preenchimento das matrizes de comparação com base nas avaliações dos especialistas ou tomadores de decisão.

### 3. Cálculo dos Pesos dos Critérios e das Alternativas

- Construção das matrizes de comparação.
- Cálculo dos vetores próprios e dos valores próprios das matrizes para determinar os pesos relativos.
- Normalização dos vetores próprios para obter os pesos finais.
- Verificação da consistência das matrizes (Cálculo do Índice de Consistência (IC) e Razão de Consistência (RC)).

### 4. Síntese dos Resultados

- Multiplicação dos pesos dos critérios pelos pesos das alternativas para cada critério.
- Somatório dos resultados para obter uma pontuação global para cada alternativa.
- Classificação das alternativas de acordo com suas pontuações globais.

#### Vantagens do AHP

1. **Estruturação clara e lógica:** A decomposição do problema em uma hierarquia facilita a compreensão e a análise.
2. **Flexibilidade:** Pode ser aplicado a uma ampla variedade de problemas de decisão.
3. **Incorporação de julgamentos qualitativos e quantitativos:** Permite que as avaliações subjetivas sejam quantificadas.
4. **Verificação de consistência:** A análise de consistência ajuda a garantir que os julgamentos são coerentes.
5. Limitações do AHP
6. **Complexidade e tempo:** Pode ser demorado e complexo, especialmente para problemas com muitos critérios e alternativas.
7. **Dependência de julgamentos subjetivos:** A precisão dos resultados depende da qualidade dos julgamentos dos tomadores de decisão.
8. **Sensibilidade a inconsistências:** Pequenas inconsistências nos julgamentos podem afetar significativamente os resultados.

#### Aplicação da metodologia AHP. Definição do problema e construção da hierarquia.

Foi identificado que o objetivo de melhorar os indicadores de operação e perdas (IRFA, IPDT, IVV e Contratos de Programas dos Municípios) seriam alcançados de maneira célere com um conjunto de obras escolhidas de forma assertiva, e então os colaboradores de cada área da unidade apresentaram suas propostas conforme figura 1, que a seguir foram compiladas e validadas pela engenharia de operação, sendo assim listadas com uma série a ser executada com um código de identificação (ID) a ser acompanhado ao longo do ciclo.

Esta lista final continha 99 obras indicadas, e era necessário ter uma priorização na execução das mesmas, considerando o seu impacto nos indicadores, a situação inicial em que cada uma delas estavam, a complexidade envolvida em cada uma, se tinham projetos, quem executaria.

Foi então definido que o impacto e a complexidade destas intervenções seriam importantes, e foram então subdivididos em critérios para serem avaliados em alternativas conforme segue abaixo.

#### 1. Impacto das obras para atender os objetivos:

##### • Critério metas:

- ✓ Controle e redução de perdas (IPDT);
- ✓ Falta d'água (IRFA);
- ✓ Índice de vazamentos visíveis (IVV)
- ✓ Atendimento aos contratos de programas com os municípios.

##### • Critério eficiência Operacional:

- ✓ Redução de despesas operacionais;
- ✓ Continuidade de abastecimento/recuperação dos setores;
- ✓ Qualidade da água.

##### • Critério execução:

- ✓ Contratos existentes;
- ✓ Contratos novos;
- ✓ Mão de obra própria.

#### 2. Complexidade das obras para atender os objetivos:

- Critério licenças, autorizações e liberações:

- ✓ Licença ambiental;
- ✓ Autorizações de outros órgãos;
- ✓ Regularização de propriedades;
- ✓ Adequação de sistemas.
- **Critério tipo de empreendimento:**
- ✓ Técnica a ser aplicada;
- ✓ Porte.

### Comparação par a par e cálculo dos pesos dos critérios e alternativas

Com os critérios e alternativas definidos, pode ser feita a comparação entre si:

- Comparação de cada critério em relação ao objetivo principal conforme figura 2:

**Figura 2 – Comparação entre os critérios.**

Com relação a *Impacto das Obras na OS*, qual critério é mais importante, e quanto mais em uma escala de 1 a 9?

A - *sem Impacto das Obras na OS - or 87*      Igual      Quanto mais?

1	<input checked="" type="radio"/> Metas	<input type="radio"/> Eficiência Operacional	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
2	<input checked="" type="radio"/> Metas	<input type="radio"/> Execução	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
3	<input checked="" type="radio"/> Eficiência Operacional	<input type="radio"/> Execução	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input checked="" type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9

CR = 8.3% OK

#### Prioridades Resultantes

Cat		Prioridade de	Rank
1	Metas	55.0%	1
2	Eficiência Operacional	36.8%	2
3	Execução	8.2%	3

AHP-OS author: Klaus D. Goebel; EPMSG; [CONTACT](#) Last update: Feb 26, 2022 Rev: 172

- Comparação de cada alternativa em relação a cada critério conforme figura 3.

Estas comparações, par a par, avalia os elementos em cada nível de hierarquia, usando uma escala de razão de 1 a 9, onde 1 indica que os dois elementos são igualmente importantes e 9 indica que um elemento é extremamente mais importante que o outro. Preenchidas estas matrizes de comparação com base nas avaliações dos especialistas operadores do sistema juntamente com os tomadores de decisão, a ferramenta nos leva aos cálculos dos vetores próprios para determinar os valores próprios das matrizes para assim determinar os pesos relativos que somados serão 100%, mostrando a importância de cada elemento em relação ao outro.

**Síntese das prioridades:** Calcular os pesos dos critérios e das alternativas para determinar uma ordem de prioridade. Isso envolve a construção de matrizes de comparação e a realização de cálculos matemáticos para derivar os pesos e verificar a consistência das comparações.

- Normalização dos vetores próprios para obter os pesos finais.
- Verificação da consistência das matrizes (Cálculo do Índice de Consistência (IC) e Razão de Consistência (RC)). Conforme figura 4.

**Figura 3 – Comparação entre as alternativas propostas.**



A partir destes pesos foi possível comparar as obras propostas em relação a cada critério, e após isto calcular os pesos e sintetizar os resultados, a assim obteve-se uma ordem de prioridade clara para a execução das mesmas conforme figuras 5 e 6 ainda compara considerando os valores estimados que são representados pelo tamanho da bolha.

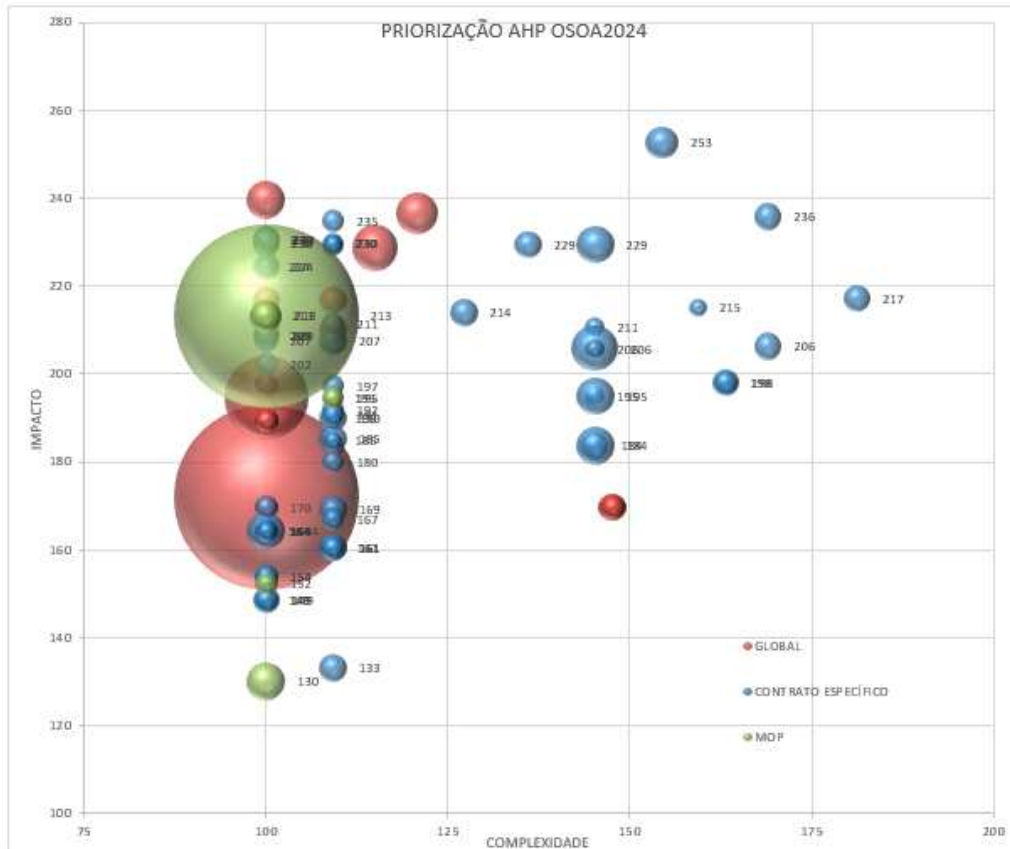
**Figura 4 – Cálculo dos pesos relativos.**



**Figura 5 – Obras indicadas prioritizadas através da metodologia AHP.**

AHP Geral (A-UN+000)	Nome do Empreendimento	Setor	Polo	Município	Possui projeto? (Sim ou Não)	Status?	PONTUAÇÃO IMPACTO	
OSOA2024-069	Adutora de 400mm Parelheiros Cipó.	Parelheiros	Interlagos	São Paulo	NÃO	Em concepção	252,6	1 <sup>a</sup>
OSOA2024-003	Adequação do Booster Inamar	Inamar	Diadema	Diadema	SIM	À iniciar	239,7	2 <sup>a</sup>
OSOA2024-002	Readequação Booster Joaquina	Inamar	Diadema	Diadema	NÃO	À iniciar	236,6	3 <sup>a</sup>
OSOA2024-006	Estrada Caminho da Divisa (Novo Poço Tatetos P3)	Tatetos	São Bernardo	SBC	NÃO	Em estudo	235,8	4 <sup>a</sup>
OSOA2024-070	Rede 300mm/200mm e Booster Gaivotas	Grajaú	Interlagos	São Paulo	NÃO	Em projeto	234,8	5 <sup>a</sup>
OSOA2024-094	Setorização Vrp Tanque	Diadema ??	Diadema	Diadema	NÃO	Contratando	230,4	6 <sup>a</sup>
OSOA2024-095	Setorização Vrp Natal	Diadema ??	Diadema	Diadema	NÃO	Contratando	230,4	7 <sup>a</sup>
OSOA2024-096	Setorização VRP Antonio Dias Adorno	Diadema ??	Diadema	Diadema	NÃO	Contratando	230,4	8 <sup>a</sup>
OSOA2024-097	Setorização VRP Manoel da Nóbrega	Diadema ??	Diadema	Diadema	NÃO	Contratando	230,4	9 <sup>a</sup>
OSOA2024-098	Setorização VRP Kennedy	Diadema ??	Diadema	Diadema	NÃO	Contratando	230,4	10 <sup>a</sup>
OSOA2024-016	Jd. Copacabana (Rede)	Bologne	Guarapiranga	São Paulo	NÃO	Em estudo	229,6	11 <sup>a</sup>
OSOA2024-019	Castro Lopes. Pq do Lago. Estudo do Booster Tilápia)	Jd. Ângela	Guarapiranga	São Paulo	NÃO	Em concepção	229,6	12 <sup>a</sup>
OSOA2024-022	Estudo para adequação de Booster (Junto com Horiz azul	Jd. Ângela	Guarapiranga	São Paulo	NÃO	À contratar	229,6	13 <sup>a</sup>
OSOA2024-024	Estrada do Araguay. Estudo do novo Booster Puruba)	Jd. Ângela	Guarapiranga	São Paulo	NÃO	À contratar	229,6	14 <sup>a</sup>
OSOA2024-025	Rua Puruba. Adequação do Booster Puruba	Jd. Ângela	Guarapiranga	São Paulo	NÃO	À contratar	229,6	15 <sup>a</sup>
OSOA2024-099	Prolongamento de rede no Joaquina (Falta água no PC, c	Diadema ??	Diadema	Diadema	NÃO	Em andamento	229,6	16 <sup>a</sup>
OSOA2024-004	Rua da Águia (Modernização do Booster João de Barros)	Alvarenga	São Bernardo	SBC	NÃO	À contratar	229,4	17 <sup>a</sup>
OSOA2024-005	Rua Piaui (Adequação do Booster Parque das Garças	Alvarenga	São Bernardo	SBC	NÃO	À contratar	229,4	18 <sup>a</sup>
OSOA2024-001	Readequação da área do Booster José Bonifácio	Real	Diadema	Diadema	SIM	Em concepção	228,6	19 <sup>a</sup>
OSOA2024-021	Jd. Do Êdem. Reforço de rede. J	Jd. Ângela	Guarapiranga	São Paulo	SIM	Concluído	224,4	20 <sup>a</sup>
OSOA2024-023	Rua do Campinho / Rua Diogo Persone. (Reforço de rede)	Jd. Ângela	Guarapiranga	São Paulo	NÃO	À contratar	224,4	21 <sup>a</sup>
OSOA2024-061	CT Performance com ampliação de reservação	Cipó	Interlagos	Embu Guaçu	NÃO	Em concepção	217,1	22 <sup>a</sup>
OSOA2024-062	Booster Parque Florestal. Instalação e redes para distribu	Parelheiros	Interlagos	São Paulo	SIM	Em andamento	216,8	23 <sup>a</sup>
OSOA2024-066	Substituição de redes PEAD. 75/100. São Norberto.	Parelheiros	Interlagos	São Paulo	NÃO	Em andamento	216,8	24 <sup>a</sup>
OSOA2024-009	Adutora Finalizada, aguardando execução vazamentos.	Ouro Fino	São Bernardo	Rib. Pires	SIM	Em andamento	215,1	25 <sup>a</sup>

**Figura 6 – Relação entre Impacto e Complexidade das obras com forma de execução e custos estimado**



## RESULTADOS E CONCLUSÕES

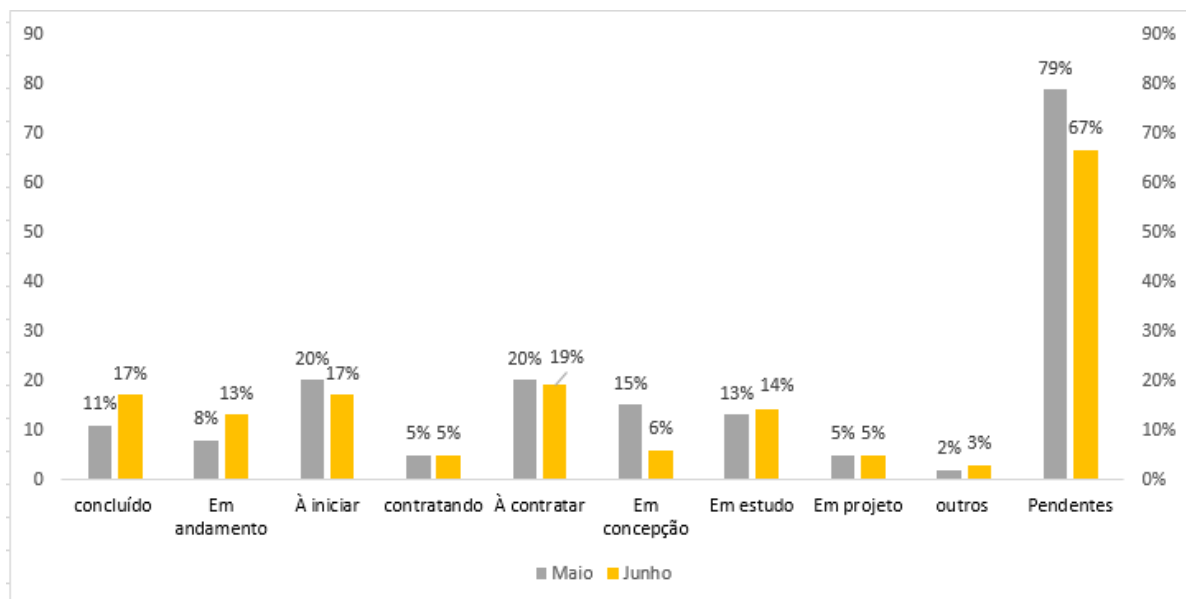
O uso do AHP proporciona uma abordagem estruturada e justificada para a tomada de decisões complexas, assegurando que todas as variáveis relevantes sejam consideradas e que as decisões sejam bem fundamentadas.

A figura 5 representa o resultado da aplicação da metodologia, priorizando as obras que atendem aos critérios utilizados para esse tipo de decisão.

Um ponto forte da utilização do AHP é a possibilidade de revisitar a metodologia aplicada e ajustar os critérios de escolha e seus respectivos pesos, gerando aprendizado e melhoria contínua, recomendamos fazer essa revisita de acordo com a velocidade da execução das obras priorizadas, que pode ser anualmente, bianualmente ou quadrienalmente.

Considerando a aplicação da metodologia, é possível verificar o avanço das ações prioritárias, conforme figura 7. Foram unidas ações que poderiam ter a mesma solução, que aparece como “outros”, concluídas aquelas que trariam resultados mais satisfatórios para os indicadores considerando a complexidade, outras encaminhadas para projetos, com o acompanhamento mensal mostrando a evolução do processo.

**Figura 7 – Avanço das ações a partir da priorização feita**



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SAATY, Thomas L. Tome Decisões: Planejamento, estabelecimento de prioridades e análise de alternativas. Traduzido por Celso Pinto de Melo. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1982.
2. SAATY, Thomas L. Técnica de Análise Hierárquica: Planejamento, prioridade e seleção de recursos. São Paulo: McGraw-Hill, 1980.
3. GOEPEL, Klaus D. AHP Hierarchy. Disponível em: <https://bpmsg.com/ahp/ahp-hierarchy.php>. Acesso em: 3 jun. 2024