

## **APLICAÇÃO DE MÉTODO MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO PARA HIERARQUIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM DRENAGEM URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO ARRUDAS, EM BELO HORIZONTE-MG**

**RAFAEL ARANTES<sup>(1)</sup>, ELIANA RIBEIRO<sup>(2)</sup>, ADRIANA CARDOSO<sup>(3)</sup>, RAISSA VITARELI  
ASSUNÇÃO DIAS<sup>(4)</sup>, FABIANA MARTINS<sup>(5)</sup>, BRUNO DE LIMA E SILVA SOARES  
TEIXEIRA<sup>(6)</sup>**

<sup>(1)</sup> COBRAPE, [rafaelarantes@cobrape.com.br](mailto:rafaelarantes@cobrape.com.br)

<sup>(2)</sup> COBRAPE, [elianaribeiro@cobrape.com.br](mailto:elianaribeiro@cobrape.com.br)

<sup>(3)</sup> COBRAPE, [adrianacardoso@cobrape.com.br](mailto:adrianacardoso@cobrape.com.br)

<sup>(4)</sup> COBRAPE, [raissadias@cobrape.com.br](mailto:raissadias@cobrape.com.br)

<sup>(5)</sup> COBRAPE, [fabianamartins@cobrape.com.br](mailto:fabianamartins@cobrape.com.br)

<sup>(6)</sup> COBRAPE, [brunosoares@cobrape.com.br](mailto:brunosoares@cobrape.com.br)

### **Resumo**

O presente trabalho visa apresentar o modelo de auxílio à decisão empregado no desenvolvimento do contrato firmado entre a Prefeitura de Belo Horizonte (PBH), por meio da Superintendência de Desenvolvimento de Capital (SUDECAP), e a COBRAPE para “Elaboração de estudos técnicos, estudos de viabilidade econômica, serviços preliminares, anteprojetos, projetos básicos e projetos executivos referentes à reestruturação, revitalização ambiental dos córregos da bacia do Ribeirão Arrudas com requalificação urbana das suas áreas de influência, no trecho compreendido entre as nascentes dos seus afluentes na Regional Barreiro e a confluência do Ribeirão Arrudas com o Córrego Tejuco, Avenida Teresa Cristina/Via Expressa, Regional Oeste, em Belo Horizonte”, desenvolvido entre os anos de 2010 e 2014. O estudo teve como objetivo subsidiar a seleção de projetos de canalização e reservação na bacia do Ribeirão Arrudas, a qual é composta por 21 bacias elementares, segundo a divisão definida pelo Plano Diretor de Drenagem do município de Belo Horizonte (PDDBH). A bacia do Ribeirão Arrudas, no trecho delimitado para o estudo, possui área de 121,89 km<sup>2</sup> (frente a um total de 207,64 km<sup>2</sup>). O estudo técnico foi agrupado em 3 (três) macroatividades: Prognóstico Integrado, Estudos de Viabilidade Econômica e Pareceres Técnicos. O presente trabalho abordará apenas os Estudos de Viabilidade Econômica para os grupos de intervenções hidráulicas propostos na etapa de Prognóstico Integrado.

**Palavras-chave:** Método Multicritério de Apoio à Decisão; Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas; Drenagem Urbana; Hierarquização.

## Introdução

Decidir é uma das tarefas básicas da gestão, sendo que, normalmente, o processo decisório significa optar entre diversas alternativas viáveis oferecidas. No processo de decisão, vários fatores exercem influência, como: informações, recursos e tempo disponíveis. Considerada a complexidade do processo decisório e a importância da decisão de investimento, parece lógico aplicar um método de análise multicritério para tentar balancear, de modo racional e comprehensivo, os vários critérios e aspectos envolvidos. Sua intenção é levar à melhor seleção entre as alternativas propostas, ponderando todas as informações e recursos disponíveis e os objetivos desejados, procurando conduzir à decisão que permita obter os melhores resultados (BISPO, 1998).

Os métodos de apoio à decisão do tipo multicritério permitem, portanto, identificar quais variáveis são mais relevantes à decisão, possibilitando a análise de muitas alternativas, acúmulo de conhecimento, facilidade de comunicação e análise de resultados. Estas vantagens são obtidas através da estruturação de um problema complexo sob uma forma mais comprehensível e da utilização de programas de computadores especializados disponíveis. São, assim, uma representação simplificada da realidade, mediante a qual procura-se identificar e destacar os elementos mais importantes para a decisão.

No que se refere aos recursos hídricos, os modelos para a tomada de decisão multicritério (MCDM) têm sido aplicados principalmente no planejamento de sistemas novos ou na reabilitação dos mesmos (MONTE & FILHO, 2015). Neste contexto, para a hierarquização de projetos de drenagem previstos para a Bacia do Ribeirão Arrudas, com vistas ao controle de cheias, no presente trabalho foi empregado o método de análise multicritério, o qual é baseado na análise de nove atributos/critérios.

## Metodologia

Para o Estudo de Viabilidade Econômica foram empreendidas as tarefas de montagem dos cenários de planejamento e das metodologias de tomada de decisão.

A definição dos cenários repercutiu na definição e dimensionamento das intervenções futuras que deveriam ser empreendidas, identificando conflitos em sua localização, dimensões, interfaces (potencialização recíproca) e tendências, de modo que foram propostas medidas mitigadoras e/ou de reversão dos conflitos. Visou-se, portanto, a uma análise global dos conflitos entre as tendências de desenvolvimento do município e as condições de atendimento do sistema de drenagem vislumbrado para o mesmo. Para isto, foram realizadas as seguintes atividades: (i) Definição dos Cenários de Solução; (ii) Determinação de Custos

Complementares das Propostas; (iii) Estudos de Viabilidade Econômica e (iv) Elaboração da Matriz Funcional de Prioridades Técnicas e Econômicas.

Em relação às metodologias de decisão, adotou-se a “Teoria da Utilidade de Multi-Atributo – Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)”, a qual é indicada para aplicações envolvendo riscos e incerteza, escolha de alternativas e análise do comportamento do decisor, considerando sua percepção ao risco em relação às consequências probabilísticas associadas aos problemas analisados (KEEYNEY & RAIFFA, 1976 *apud* MONTE & FILHO, 2015). Nesse método, o parâmetro utilizado para definir o valor de uma alternativa em relação a um determinado atributo produz uma nota cuja somatória é igual a 1, de modo que se respeite a distância relativa entre o valor de cada atributo no conjunto de alternativas avaliadas<sup>1</sup>. No mesmo sentido, a somatória dos pesos de cada atributo também é igual a 1 na Função de Utilidade do modelo. Da somatória do produto “*atributos x pesos*” é que resulta a pontuação total de cada alternativa, resultando na hierarquização desejada das alternativas avaliadas. A vantagem deste método de decisão é que o mesmo é teoricamente sólido, sendo baseado somente em cálculo matemático, aplicável a uma vasta gama de problemas. Além disso, preconiza uma fácil identificação de violações de coerência e independência entre atributos e alternativas.

Pela matriz funcional, dos 22 (vinte e dois) grupos propostos, foram identificados e elencados 20 (vinte) grupos<sup>2</sup> de intervenções com as respectivas obras necessárias para solução dos problemas, ordenados em função de custos, riscos econômicos e de vida, priorizando-os. Com a finalidade de reduzir a subjetividade nos resultados do modelo, todos os atributos da Matriz de Utilidade têm peso igual a 4, exceto o atributo risco de vida, que tem peso 5. Entretanto, a critério do gestor, os pesos podem ser alterados na Matriz de Utilidade, conforme o consenso do grupo técnico que avalia as intervenções dos projetos.

A análise foi realizada por Grupo de Obras, para 9 (nove) atributos identificados, conforme descrito na Tabela 1.

<sup>1</sup> As utilidades e os pesos são normalizados em uma escala que varia entre 0 e 1.

<sup>2</sup> As obras dos Grupos 7 e 10 não foram consideradas na hierarquização em virtude de já se encontrarem em fase de execução pela SUDECAP e pelo Departamento de Obras Públicas do Estado de Minas Gerais (DEOP-MG), respectivamente.

**Tabela 1 – Atributos e Pesos para a definição da Função Utilidade**

Atributo	Parâmetro do atributo	Peso adotado para o atributo	Comportamento do atributo na Função de Utilidade
1. Custo das obras	Valor absoluto dos investimentos previstos para o Grupo de obras	4 (quatro) em uma escala de 1 (um a 5 (cinco)	Quanto maior o valor da obra, menor a pontuação que recebe para o cômputo geral da nota final da alternativa
2. Custos de relocação	Valor relativo entre os custos de relocação da alternativa e os custos totais da alternativa	4 (quatro) em uma escala de 1 (um a 5 (cinco)	Quanto maior o valor percentual do custo de relocação, menor a pontuação que recebe para o cômputo geral da nota final da alternativa
3. Custo eficiência, por família	Custo total da obra dividido pelo número de famílias afetadas por inundações, o que corresponde ao custo per capita para os beneficiários diretos das obras	4 (quatro) em uma escala de 1 (um a 5 (cinco)	Quanto menor o valor <i>per capita</i> do investimento, maior a pontuação que recebe para o cômputo geral da nota final da alternativa
4. Custos de desapropriação	Valor relativo entre os custos de desapropriação da alternativa e os custos totais da alternativa	4 (quatro) em uma escala de 1 (um a 5 (cinco)	Quanto maior o valor percentual do custo de desapropriação, menor a pontuação que recebe para o cômputo geral da nota final da alternativa
5. População afetada na situação sem projeto	Valor absoluto da população afetada diretamente por inundações na situação sem projeto (beneficiários diretos)	4 (quatro) em uma escala de 1 (um a 5 (cinco)	Quanto maior a população afetada, maior a pontuação que recebe para o cômputo geral da nota final da alternativa
6. Interrupção no tráfego na situação sem projeto	Variável “dummny” <sup>(1)</sup> que assume o valor “1” quando há interrupções no tráfego por motivos de inundações e o valor “0” quando não ocorre interrupções no tráfego por motivos de inundações, ambas na situação sem projeto	4 (quatro) em uma escala de 1 (um a 5 (cinco)	Recebe pontuação se o valor do atributo for “1” (um) e não recebe pontuação de o valor do atributo for “0” (zero)
7. Valor dos imóveis residenciais atingidos na situação sem projeto	Valor absoluto total dos imóveis residenciais atingidos por inundações na situação sem projeto	4 (quatro) em uma escala de 1 (um a 5 (cinco)	Quanto maior o valor dos imóveis residenciais afetados por inundações, maior a pontuação que recebe para o cômputo geral da nota final da alternativa
8. Valor dos imóveis comerciais atingidos na situação sem projeto	Valor absoluto total dos imóveis comerciais atingidos por inundações na situação sem projeto	4 (quatro) em uma escala de 1 (um a 5 (cinco)	Quanto maior o valor dos imóveis comerciais afetados por inundações, maior a pontuação que recebe para o cômputo geral da nota final da alternativa
9. Risco de vida	Variável “dummny” que assume o valor “1” quando há riscos de vida para a população por causa das inundações e o valor “0” quando não há risco de vida por motivo de inundações, ambas na situação sem projeto.	5 (cinco) em uma escala de 1 (um a 5 (cinco)	Recebe pontuação se o valor do atributo for “1” (um) e não recebe pontuação de o valor do atributo for “0” (zero)

**Nota:** <sup>(1)</sup>Nome dado a uma variável que pode assumir apenas dois valores em um modelo matemático: zero ou um. Por isso é chamada de variável binária. Nos manuais de econometria são também chamados de variável DUMMY ou qualitativa.

## Resultados e Discussão

A Matriz Multicriterial com os valores dos atributos analisados pode ser observada na Tabela 2. Os resultados, por sua vez, estão apresentados na Tabela 3 de acordo com a ordem de priorização para os 20 grupos de obras avaliados. Observa-se que Grupo 21 apresenta a maior pontuação total do conjunto de obras proposto, seguido imediatamente pelos Grupos 22, 15, 19 e 12.

Tendo em vista as características da Função Utilidade do modelo, deve-se salientar que, caso haja quaisquer alterações no valor dos atributos, bem como nos pesos atribuídos às variáveis do modelo, a hierarquização é recalculada imediatamente, podendo-se alterar a ordem de hierarquização apresentada na Tabela 3 à medida que ajustes são incorporados à Matriz de Atributos.

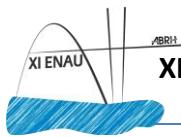
**Tabela 2 – Matriz Multicriterial para obras na Bacia do Ribeirão Arrudas, em Belo Horizonte**

Alternativas de Projetos	Matriz Multi-Critéria - Método do Produto dos Pesos (Weighted Product)								
	Atributos Avaliados								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Custo das Obras (R\$)	Valor % da Relocação em relação ao custo total da alternativa	Custo Eficiência, por Família (R\$/família)	Valor % da desapropriação em relação em custo total da alternativa	População diretamente afetada por inundação	Há interrupção no tráfego? (1) Sim (0) Não	Valor dos imóveis residenciais atingidos (R\$)	Valor dos imóveis comerciais atingidos (R\$)	Risco de Vida para a população? (1) Sim (0) Não
Grupo 1	18.067.950	0,0%	96.106	0,0%	282	0	9.400.000	0	0
Grupo 2	17.233.650	0,0%	17.233.650	0,0%	49	0	0	0	0
Grupo 3	30.651.278	0,0%	144.581	0,0%	201	0	10.600.000	0	0
Grupo 4	834.300	0,0%	834.300	0,0%	14	0	0	0	0
Grupo 5	21.474.400	0,0%	21.474.400	0,0%	1.978	0	0	0	0
Grupo 6	15.058.845	0,0%	15.058.845	0,0%	341	0	0	0	0
Grupo 8	48.336.141	0,0%	255.747	12,4%	964	0	9.450.000	3.105.000	0
Grupo 9	134.416.268	0,0%	1.244.595	23,7%	116	1	5.400.000	21.735.000	0
Grupo 11	110.787.750	0,0%	452.195	0,0%	581	0	12.250.000	0	0
Grupo 12	3.500.000	0,0%	15.909	85,7%	0	0	11.000.000	0	0
Grupo 13	2.502.900	0,0%	2.502.900	0,0%	253	0	0	0	0
Grupo 14	1.668.600	0,0%	1.668.600	0,0%	289	0	0	0	0
Grupo 15	1.500.000	0,0%	8.621	0,0%	123	0	8.700.000	0	0
Grupo 16	3.500.000	0,0%	3.500.000	85,7%	74	1	0	0	0
Grupo 17	5.906.700	0,0%	5.906.700	0,0%	39	0	0	0	0
Grupo 18	45.776.925	0,0%	45.776.925	0,0%	507	1	0	0	0
Grupo 19	51.820.500	0,0%	97.224	13,3%	0	1	26.650.000	0	0
Grupo 20	67.384.500	0,0%	227.650	33,5%	0	1	14.800.000	0	0
Grupo 21	262.559.100	5,7%	1.244.356	23,4%	718	0	10.550.000	0	1
Grupo 22	10.974.649	0,0%	129.114	0,0%	300	1	1.700.000	158.355.000	0
PESOS ATRIBUÍDOS		4	4	4	4	4	4	4	5

**Tabela 3 – Resultados do Modelo e Hierarquização das Obras, segundo o Ranking**

Alternativas de Projetos	RANKING EM ORDEM DECRESCENTE DA PONTUAÇÃO NORMALIZADA PELA FUNÇÃO UTILIDADE									Ranking	
	Atributos Avaliados										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
	Custo das Obras	Valor % da Relocação em relação ao custo total da alternativa	Custo Eficiência, por Família	Valor % da desapropriação em relação em custo total da alternativa	População diretamente afetada por inundação	Há interrupção no tráfego? (1) Sim (0) Não	Valor dos imóveis residenciais atingidos	Valor dos imóveis comerciais atingidos	Risco de Vida para a população? (1) Sim (0) Não		
Grupo 21	0,001	0,000	0,004	0,000	0,105	-	0,088	-	1,000	<b>0,1441</b> 0,1441	
Grupo 22	0,022	0,053	0,034	0,077	0,044	0,167	0,014	0,864	-	<b>0,1246</b> 0,1246	
Grupo 15	0,165	0,053	0,506	0,077	0,018	-	0,072	-	-	<b>0,0911</b> 0,0911	
Grupo 19	0,005	0,053	0,045	0,000	-	0,167	0,221	-	-	<b>0,0529</b> 0,0529	
Grupo 12	0,071	0,053	0,274	0,000	-	-	0,091	-	-	<b>0,0528</b> 0,0528	
Grupo 4	0,296	0,053	0,005	0,077	0,002	-	-	-	-	<b>0,0475</b> 0,0475	
Grupo 5	0,011	0,053	0,000	0,077	0,290	-	-	-	-	<b>0,0473</b> 0,0473	
Grupo 9	0,002	0,053	0,004	0,000	0,017	0,167	0,045	0,119	-	<b>0,0448</b> 0,0448	
Grupo 18	0,005	0,053	0,000	0,077	0,074	0,167	-	-	-	<b>0,0421</b> 0,0421	
Grupo 20	0,004	0,053	0,019	0,000	-	0,167	0,123	-	-	<b>0,0410</b> 0,0410	
Grupo 11	0,002	0,053	0,010	0,077	0,085	-	0,102	-	-	<b>0,0375</b> 0,0375	
Grupo 14	0,148	0,053	0,003	0,077	0,042	-	-	-	-	<b>0,0370</b> 0,0370	
Grupo 8	0,005	0,053	0,017	0,000	0,141	-	0,078	0,017	-	<b>0,0359</b> 0,0359	
Grupo 1	0,014	0,053	0,045	0,077	0,041	-	0,078	-	-	<b>0,0356</b> 0,0356	
Grupo 16	0,071	0,053	0,001	0,000	0,011	0,167	-	-	-	<b>0,0350</b> 0,0350	
Grupo 3	0,008	0,053	0,030	0,077	0,029	-	0,088	-	-	<b>0,0334</b> 0,0334	
Grupo 13	0,099	0,053	0,002	0,077	0,037	-	-	-	-	<b>0,0317</b> 0,0317	
Grupo 6	0,016	0,053	0,000	0,077	0,050	-	-	-	-	<b>0,0249</b> 0,0249	
Grupo 17	0,042	0,053	0,001	0,077	0,006	-	-	-	-	<b>0,0232</b> 0,0232	
Grupo 2	0,014	0,053	0,000	0,077	0,007	-	-	-	-	<b>0,0207</b> 0,0207	
Somatória Atributos		<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>		
Pesos e Somatória Pesos		0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,119	<b>1,000</b>	

Como constava no contrato a elaboração dos projetos das 3 (três) primeiras prioridades, foram elaborados os projetos da Bacia de Detenção do Bairro Calafate (Grupo 21), do Reservatório do Bairro das Indústrias (Grupo 22) e a drenagem da Rua Magi Salomon (Grupo 15).



## Conclusões

O gestor deve ter sempre em conta que os melhores resultados são obtidos quanto menor a subjetividade apresentada nos valores dos atributos do modelo e, principalmente, nos pesos atribuídos a cada variável. Neste sentido, o modelo apresentado soluciona de modo apropriado ambos os temas, ao assumir, no primeiro caso, valores absolutos para cada atributo, os quais são obtidos a partir de informações técnicas confiáveis e, no segundo caso, na definição de pesos iguais para todas as variáveis, exceto para a variável “risco de vida” para a população, que sempre é a prioridade dos administradores públicos e, por esta razão, apresenta peso diferenciado no modelo. Desse modo, a matriz multicritério deve ser avaliada em profundidade pelos gestores do projeto com o objetivo de verificar se as hipóteses apresentadas para cada grupo de obras e para cada variável do modelo correspondem fielmente à realidade atual e, se não for o caso, ajustá-la para que represente o mais fidedignamente possível esta realidade.

## Referências Bibliográficas

- BISPO, Carlos Alberto Ferreira. *Uma análise da nova geração de sistemas de apoio à decisão*. 1998. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- KEEYNEY, R. L., RAIFFA, H. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Wiley, New York, 1976. *apud* MONTE, M. B. S.; FILHO, A. T. A. *Planejamento da manutenção preventiva em poço para abastecimento de água utilizando MAUT*. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, XLVII, 2015, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas: SOBRAPO, 2015.
- MONTE, M. B. S.; FILHO, A. T. A. *Planejamento da manutenção preventiva em poço para abastecimento de água utilizando MAUT*. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, XLVII, 2015, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas: SOBRAPO, 2015.