



# INTRODUÇÃO À ENGENHARIA

AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES

# [ Etapas Projeto ]

1. Identificação e definição do problema
2. Proposição de alternativas
3. Definição de critérios de escolha
4. Escolha da solução
5. Implantação

# Critérios de Avaliação

- Forma de mensurar a solução sob algum aspecto relevante
- Permitir diferenciar as alternativas de solução
- Pode ser:
  - Um critério
  - Múltiplos critérios

# [ Critérios de Avaliação ]

- **Quantitativos**

- Escala de valores objetiva (tangível)

- **Qualitativos**

- Escala de valores subjetiva (intangível)

- **Múltiplos tomadores de decisão**

- Visão diferente dos decisores

- **Importância relativa entre os critérios**

# Critérios Quantitativos

## ■ Exemplo

Solução	Tempo Implantação (dias)	Custo (R\$)	Economia (m <sup>3</sup> /dia)
1	5	10.000,00	20
2	12	800,00	12
3	7	500,00	5
4	35	5.000,00	30
5	10	12.000,00	80

<b>Melhor Solução</b>	1	3	5
-----------------------	---	---	---

*Qual é, de fato, a melhor solução?*

# Critérios Qualitativos

## ■ Exemplo

Solução	Estética	Aceitação dos Usuários	Impacto Ambiental
1	Bonito	Baixa	Médio
2	Feio	Alta	Nulo
3	Indiferente	Alta	Médio
4	Horrível	Muito Alta	Baixo
5	Bonito	Indiferente	Baixo

<b>Melhor Solução</b>	1 ou 5	4	2
-----------------------	--------	---	---

# Critérios

- Necessidade de estabelecimento de métrica
  - Valores **mínimo e máximo**
  - Objetivo: **agregação de valor**
    - Baixo custo (▼) → Alta importância (▲)
    - Alto impacto ambiental (▲) → Baixo interesse para o projeto (▼)
  - Como comparar R\$ 50,00 x R\$ 30.000,00 ?
    - Por meio de uma escala

# Critérios / Escala

## ■ Exemplo – Critério Quantitativo

Como atribuir as notas na escala?

Tempo Implantação (dias)	Nota 1	Nota 2	Nota 3
5	10,0	10,0	10,0
7	8,0	7,5	7,1
10	6,0	5,0	5,0
12	4,0	2,5	4,2
35	2,0	0,0	1,4

Escala de 2 a 10 ou 0 a 10

*Considera a  
proporcionalidade*



# [ Critérios / Escala ]

- Exemplo – Critério Qualitativo

<b>Estética</b>	<b>Escala</b>
Bonito	10,0
Indiferente	6,7
Feio	3,3
Horrível	0,0

[

]

# Avaliação de Soluções

# INTRODUÇÃO

- São utilizados diversos critérios para avaliar as soluções propostas.
- Atribuição de pesos aos critérios.
- Atribuição de notas às soluções para cada um dos critérios.

# MATRIZ DE DECISÃO

- Consiste em selecionar a melhor alternativa pela determinação da maior média ponderada das notas.
- Devido à dificuldade e subjetividade para atribuir pesos e avaliar soluções, a matriz de decisão possui algumas limitações.
- Existem propostas para aperfeiçoar a matriz de decisão, como o método de análise hierárquica(AHP).

# MÉTODO AHP

- Estruturação do problema (Definição dos objetivos, critérios de avaliação e alternativas de solução).
- Comparação dos elementos (critérios e alternativas) dois a dois
- Atribuição de pesos aos critérios.
- Atribuição de notas às soluções para cada um dos critérios

# Exemplo de aplicação do método AHP

**Tabela 17 Comparação entre Critérios**

<b>Preferência relativa de importância</b>	<b>Nota relativa</b>
extremamente mais importante	9,8
muito mais importante	7,6
Mais importante	5,4
moderadamente mais importante	3,2
Igualmente importante	1

**Tabela 18 Comparação entre Soluções**

<b>Qualificação da preferência</b>	<b>Índice quantitativo</b>
extremamente acentuada	9; 8
muito acentuada	7; 6
acentuada	5; 4
moderada	3; 2
indiferente	1

# MATRIZ DE COMPARAÇÃO

## Características de seus elementos

$$A = \begin{vmatrix} 1 & a_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdot & \cdot & \cdot & 1 \end{vmatrix}$$

# Exemplo de aplicação do método AHP

- Em um projeto para redução do consumo de energia elétrica, são comparadas três alternativas para iluminação.

**Tabela 16 Características das Soluções**

	Vapor de mercúrio	Vapor de sódio	Incandescente
Potência (W)	125	70	250
Durabilidade (h)	12.000	16.000	2.000
Custo (R\$)	220,00	260,00	5,00



# [ Exemplo de aplicação do método AHP ]

---

- Este procedimento pressupõe uma comparação, tanto entre os critérios, como entre as soluções, aos pares.
- Partindo de avaliações qualitativas procede-se a uma quantificação desta preferência.

# Comparação entre Critérios

<b>Preferência relativa de importância</b>	<b>Nota relativa</b>
extremamente mais importante	9,8
muito mais importante	7,6
Mais importante	5,4
moderadamente mais importante	3,2
Igualmente importante	1

# Tabela 18 Comparação entre Soluções

<b>Qualificação da preferência</b>	<b>índice quantitativo</b>
extremamente acentuada	9; 8
muito acentuada	7; 6
acentuada	5; 4
moderada	3; 2
indiferente	1

# Critérios de Avaliação

- Critérios relevantes
- Cuidado com as redundâncias
  - Critérios que não abordam aspectos essencialmente diferentes
- ...

# [Exemplo de aplicação do método AHP]

## A) Critérios de decisão

- Custo total
- Meio ambiente
- Conforto visual
- Tempo da troca

# [Exemplo de aplicação do método AHP]

---

## **B) Aplicação do Procedimento de Avaliação**

**B1) Ponderação dos critérios**

**B2) Avaliação das soluções**

**B3) Ordenação das Alternativas**

# Comparação entre Critérios

<b>Preferência relativa de importância</b>	<b>Nota relativa</b>
extremamente mais importante	9,8
muito mais importante	7,6
Mais importante	5,4
moderadamente mais importante	3,2
Igualmente importante	1

# B1) Ponderação dos critérios

- **Comparação de critérios**
  - compara-se o critério que aparece em cada linha com cada um que aparece nas colunas
- **Exemplo 1: Custo é considerado moderadamente mais importante que Meio Ambiente**
  - na célula (1,2) colocamos a nota “2” e, por conseqüência, na célula simétrica (2,1) colocamos “  $\frac{1}{2}=0,5$  ”



## B1) Ponderação dos critérios

- Exemplo 2: “Visual” é mais importante que “Meio Ambiente”
  - na célula (3,2) coloca-se 5 e na célula (2,3)  $\Rightarrow 1/5=0,2$
- Na diagonal tem-se tudo igual a 1

# B1) Ponderação dos critérios

- Construção da tabela para comparação dos critérios

Tabela 19 - Comparação de critérios

	custo	MA	visual	troca
Custo	1,00	2,00	0,33	0,17
MA	0,50	1,00	0,20	0,13
Visual	3,00	5,00	1,00	0,20
Troca	6,00	8,00	5,00	1,00
	10,50	16,00	6,53	1,49

- Exemplo: “Visual” é mais importante que “Meio Ambiente(JUSTIFICAR PORQUE); portanto na célula (3,2) coloca-se 5 e na célula (2,3) coloca-se  $1/5=0,2$ .

# NORMALIZAÇÃO DOS PESOS

- Divide-se cada termo de uma coluna pela soma dos termos da coluna
- Calcula-se a média dos valores das linhas, obtendo como resultado os pesos de cada critério

**Tabela 20 Normalização dos pesos**

	custo	MA	visual	troca	
custo	0,10	0,13	0,05	0,11	0,10
MA	0,05	0,06	0,03	0,08	0,06
visual	0,29	0,31	0,15	0,13	0,22
troca	0,57	0,50	0,77	0,67	0,63
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
normalizada					importância média

## B2) Avaliação das soluções (Custo)

- Para cada critério efetua-se a comparação das alternativas de solução (lâmpada de sódio, mercúrio e incandescente).
- Exemplo: segundo o critério “Custo”, a lâmpada incandescente é a melhor alternativa, sendo moderadamente preferida em relação à de vapor de mercúrio e acentuadamente em relação à de vapor de sódio.

# Tabela 18 Comparação entre Soluções

<b>Qualificação da preferência</b>	<b>índice quantitativo</b>
extremamente acentuada	9; 8
muito acentuada	7; 6
acentuada	5; 4
moderada	3; 2
indiferente	1

## B2) Avaliação das soluções (Custo)

Tabela 21 Comparação das soluções do ponto de vista “custo”

custo	sódio	mercurio	incand		sódio	mercurio	incand	
sodio	1,00	0,33	0,20		0,11	0,06	0,14	0,10
mercurio	3,00	1,00	0,25		0,33	0,19	0,17	0,23
incand.	5,00	4,00	1,00		0,56	0,75	0,69	0,67
	9,00	5,33	1,45		1,00	1,00	1,00	1,00

- A normalização das notas é feita da mesma maneira que a normalização dos critérios

## B2) Avaliação das soluções (MA)

**Tabela 22 Comparação das soluções do ponto de vista “meio ambiente”**

MA	sódio	mercurio	incand		sódio	mercurio	incand	
sodio	1,00	3,00	9,00		0,69	0,72	0,53	0,65
mercurio	0,33	1,00	7,00		0,23	0,24	0,41	0,29
incand.	0,11	0,14	1,00		0,08	0,03	0,06	0,06
	1,44	4,14	17,00		1,00	1,00	1,00	1,00

- Repete-se o procedimento para os demais critérios (meio ambiente, aspecto visual e troca)

# Matriz de Decisão

- Procedimento estruturado de atribuição de valor às alternativas e determinação da solução do problema segundo o peso dos critérios utilizados



## B3) Ordenação das Alternativas

- Para cada critério são utilizadas duas colunas: a primeira contém a nota atribuída a cada alternativa, e a segunda contém o peso relativo do critério
- Assim pode-se calcular a nota ponderada de cada alternativa

**Tabela 25 Ponderação Final**

	custo		MA		visual		troca		final
sodio	0,10	0,10	0,65	0,06	0,13	0,22	0,65	0,63	0,48
mercurio	0,23	0,10	0,29	0,06	0,24	0,22	0,29	0,63	0,28
incand.	0,67	0,10	0,06	0,06	0,63	0,22	0,06	0,63	0,24
	1,00		1,00		1,00		1,00		1,00

# OUTRA FORMA DE COMPARAÇÃO DE CRITÉRIOS

Crítérios	Crítério 1	Crítério 2	Crítério 3	Crítério 4	Pontuação Total	Pesos Normalizados
Crítério 1	-	1	1	1	3	3/6
Crítério 2	0	-	0	1	1	1/6
Crítério 3	0	1	-	1	2	2/6
Crítério 4	0	0	0	-	0	0/6