



Universidade de São Paulo  
Escola Politécnica  
Departamento de Engenharia de Transportes

## Avaliação de Projetos de Transporte

**PTR 3431**  
**Planejamento e Operação de Sistemas de**  
**Transportes**

**Prof. Dr. Cassiano A. Isler**  
**2023.2**



- Definições
- Análise Multicritério
- Análise Custo-Benefício
  - Noções Básicas
  - Custos e Benefícios
  - Medidas de Desempenho



# Definições

A avaliação de projetos é o processo de tomada de decisão para utilização racional dos recursos disponíveis para a sociedade.

Os recursos escassos devem ser alocados de maneira a se obter o melhor resultado possível.

No setor de transportes as decisões geralmente tratam de grande soma de recursos e a vida útil dos projetos supera 20 anos, influenciando a qualidade de vida de muitas pessoas e o desenvolvimento de uma região em longo prazo.





A avaliação socioeconômica de projetos é o processo de **análise do desempenho de possíveis alternativas** quando de sua implantação e operação, em relação ao seu próprio sistema e aqueles com que interage.

A avaliação permite **escalonar alternativas** em uma ordem de prioridade, definindo a sequência de execução.

A avaliação de um projeto deve ser acompanhada de considerações:

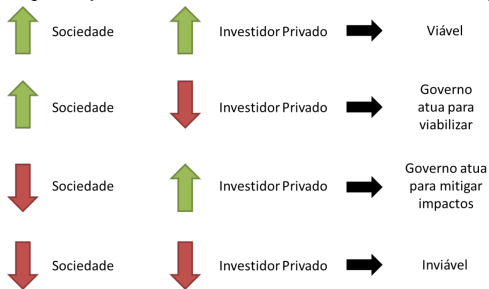
- **tecnológicas:** processos técnicos de construção e operação
- **administrativas:** questões gerenciais e de recursos humanos
- **financeiras:** despesas e receitas em fluxos de caixa no tempo
- **econômicas:** custos e benefícios monetários;
- **sociais:** impactos na comunidade afetada e sociedade
- **ambientais:** impactos e medidas mitigadoras



A avaliação pode ser feita do ponto de vista de um **empreendedor** (empresa privada), **financiador** (bancos), do **governo** ou da **sociedade**.

A avaliação socioeconômica de projetos tem enfoque social pois os investimentos são analisados com base nos interesses da sociedade, ignorando as fronteiras individuais.

Assim, um projeto pode estar condicionado às situações:





Os métodos de avaliação socioeconômica de projetos de transporte podem ser classificados em:

(1) **Métodos de critério único** (enfoque monetário)

Métodos quantitativos que buscam a definição de indicadores que revelam os benefícios e custos de projetos permitindo a comparação de alternativas.

(2) **Métodos múltiplos critérios** (enfoque não monetário)

Métodos que auxiliam o decisor na avaliação de projetos em que vários objetivos devem ser atingidos simultaneamente, em geral, através de modelos matemáticos e análises qualitativas.



# Análise Multicritério





# Análise Multicritério

O processo de tomada de decisão pela Análise Multicritério consiste das seguintes etapas:

- (1) Definir as alternativas
- (2) Definir os critérios relevantes para o problema de decisão
- (3) Avaliar a importância relativa de cada critério
- (4) Avaliar as alternativas em relação aos critérios
- (5) Determinar a avaliação global de cada alternativa

O método mais conhecido é o “Processo Hierárquico Analítico” (*AHP – Analytic Hierarchy Process*) em que o problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos para facilitar sua compreensão e avaliação.





O Método *AHP* pode ser dividido em duas etapas:

## (1) **estruturação hierárquica do problema**

O nível mais alto corresponde ao problema e os níveis abaixo dele representam as alternativas para resolvê-lo.

Nos níveis subsequentes, o decisor deve combinar critérios nos níveis hierárquicos necessários para a fiel representação do problema.

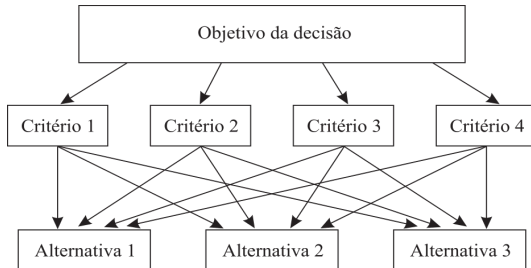
No nível hierárquico mais baixo definem-se as alternativas para solução do problema, que serão analisadas quanto a cada critério.

A estruturação do problema deve ser feita de tal forma que os critérios aplicados em cada nível sejam homogêneos (mesmo grau de importância) e não redundantes (independentes dos níveis inferiores).



## (2) modelagem do método propriamente dito

Definida a estrutura hierárquica, realiza-se a comparação par a par de cada alternativa dentro de cada critério do nível imediatamente superior, através de pesos e notas atribuídas em uma escala específica.



Loureiro, R. R., Goldman, F. L., & de Oliveira Neto, M. S. (2018). Gestão de portfólio de projetos com auxílio do Método AHP. *Sistemas & Gestão*, 13(3), 295-310.



Primeiramente define-se uma matriz comparativa entre critérios com base em valores estabelecidos por um (ou mais) especialistas segundo a escala de Saaty.

<b>Crítérios</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
C1	1	avaliação	
C2	1/avaliação	1	
C3			1

<b>Escala</b>	<b>Avaliação</b>	<b>Recíproco</b>	<b>Comentário</b>
Igualmente preferido	1	1	Os dois critérios contribuem igualmente para os objetivos
Moderadamente preferido	3	1/3	A experiência e o julgamento favorecem um critério levemente sobre o outro,
Fortemente preferido	5	1/5	A experiência e o julgamento favorecem um critério fortemente sobre o outro
Muito fortemente preferido	7	1/7	Um critério é fortemente favorecido em relação a outro e pode ser demonstrado
Extremamente preferido	9	1/9	Um critério é favorecido em relação a outro com o mais alto grau de certeza
Valores intermediários	2, 4, 6 e 8	1/2; 1/4; 1/6 e 1/8	Quando o consenso não for obtido e houver necessidade de uma negociação



A matriz comparativa com os  $n$  critérios em cada linha e coluna é expressa por:

$$MC_{n \times n} = \begin{bmatrix} 1 & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ 1/c_{21} & 1 & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \\ 1/c_{n1} & & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Soma} \quad \sum_i^n c_{i1} \quad \sum_i^n c_{i2} \quad \cdots \quad \sum_i^n c_{in}$$

A matriz comparativa é normalizada resultando em:

$$|MC|_{n \times n} = \begin{bmatrix} |c|_{11} & |c|_{12} & \cdots & |c|_{1n} \\ |c|_{21} & |c|_{22} & \cdots & |c|_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \\ |c|_{n1} & & \cdots & |c|_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sum_i^n c_{i1}} & \frac{c_{12}}{\sum_i^n c_{i2}} & \cdots & \frac{c_{1n}}{\sum_i^n c_{in}} \\ \frac{1/c_{21}}{\sum_i^n c_{i1}} & \frac{1}{\sum_i^n c_{i2}} & \cdots & \frac{c_{2n}}{\sum_i^n c_{in}} \\ \vdots & & \ddots & \\ \frac{1/c_{n1}}{\sum_i^n c_{i1}} & \frac{1}{\sum_i^n c_{i2}} & \cdots & \frac{1}{\sum_i^n c_{in}} \end{bmatrix}$$

$$\text{Soma} \quad 1,00 \quad 1,00 \quad \cdots \quad 1,00$$



São calculados os pesos de cada critério pela média da linha da matriz comparativa normalizada.

$$W_{n \times 1} = \begin{bmatrix} \sum_i^n \frac{|c|_{1i}}{n} \\ \sum_i^n \frac{|c|_{2i}}{n} \\ \vdots \\ \sum_i^n \frac{|c|_{ni}}{n} \end{bmatrix}$$

Obtém-se o vetor soma ponderada ( $VS$ ) da multiplicação da matriz original pelos pesos.

$$VS_{n \times 1} = MC_{n \times n} \cdot W_{n \times 1} = \begin{bmatrix} VS_1 \\ VS_2 \\ \vdots \\ VS_n \end{bmatrix}$$



O vetor de consistência ( $VC$ ) é dado pela divisão dos valores do vetor soma ponderada dividido pelos respectivos pesos.

$$VC_{n \times 1} = \begin{bmatrix} VC_1 \\ VC_2 \\ \vdots \\ VC_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{VS_1}{W_1} \\ \frac{VS_2}{W_2} \\ \vdots \\ \frac{VS_n}{W_n} \end{bmatrix}$$

Para verificar se a matriz comparativa é consistente, calcula-se o autovalor máximo ( $\lambda_{max}$ ) e o índice de consistência ( $IC$ ):

$$\lambda_{max} = \sum_i^n \frac{VC_i}{n}$$

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$



Para verificar se a matriz comparativa é consistente, calcula-se a relação de consistência por:

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

onde  $IC$  = índice de consistência

$IR$  = índice randômico

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$IR$	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Se  $RC < 0,10$  então a matriz comparativa possui nível de inconsistência aceitável, senão é necessário alterar um ou mais dos seguintes elementos:

- Pesos dos critérios e/ou julgamento das alternativas
- Quantidade de critérios e/ou alternativas





O mesmo processo é executado na comparação entre alternativas para cada um dos critérios (cada linha e coluna da matriz  $MC$  representa a alternativa).

$$MC_{k \times k}^{Criterio} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ 1/a_{21} & 1 & \cdots & a_{2k} \\ \vdots & & \ddots & \\ 1/a_{k1} & & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Soma  $\sum_i^k a_{i1}$   $\sum_i^k a_{i1}$   $\cdots$   $\sum_i^k a_{ik}$

Procede-se ao cálculo da respectiva matriz normalizada, os pesos de cada alternativa  $A$  segundo o critério  $C$  ( $W_{AC}$ ) análogo ao de pesos de critérios, do vetor soma ponderada, do vetor de consistência e da relação de consistência  $RC$ , executando os ajustes necessários.



Finalmente, considerando que todas as matrizes têm  $RC$  aceitável, obtém-se a matriz de decisão que permite identificar a alternativa mais adequada.

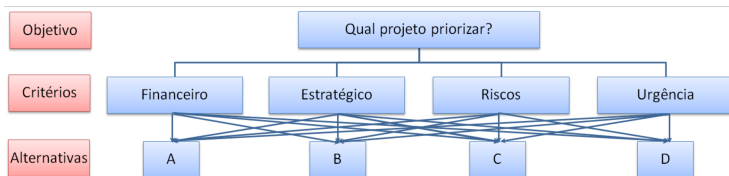
Critério		$C_1$	$C_2$	$C_i$	...	$C_n$	Resultado
Peso		$W_1$	$W_2$	$W_i$	...	$W_n$	
Alternativas	$A_1$	Pesos das alternativas por critério ( $W_{ki}$ )					$\sum_i^n W_{1i} \cdot W_i$
	:						:
	$A_k$						$\sum_i^n W_{ki} \cdot W_i$

A alternativa a ser escolhida é a de maior  $\sum_i^n W_{ki} \cdot W_i$ .



Considere o seguinte exemplo:

Projeto	Descrição	Investimento (R\$ milhões)
A	Plano de dutos	200
B	Adequação de capacidade viária	130
C	Eliminar gargalos logísticos na operação	170
D	Adequação de estoque	30



Loureiro, R. R., Goldman, F. L., & de Oliveira Neto, M. S. (2018). Gestão de portfólio de projetos com auxílio do Método AHP. *Sistemas & Gestão*, 13(3), 295-310.



A matriz comparativa para os **critérios** foi preenchida e obtidos os respectivos pesos, além da relação de consistência.

Crítérios	Financeiro	Estratégico	Riscos (Ameaça)	Urgência
Financeiro	1	1	9	3
Estratégico	1	1	3	5
Riscos (Ameaça)	1/9	1/3	1	1
Urgência	1/3	1/5	1	1
<b>Total</b>	2,4444	2,5333	14,0000	10,0000

Crítérios	Financeiro	Estratégico	Riscos (Ameaça)	Urgência	Peso (%)	Vetor Soma	V. consistência
Financeiro	1	1	9	3	43,67%	1,8903	4,3289
Estratégico	1	1	3	5	37,95%	1,5610	4,1129
Riscos (Ameaça)	1/9	1/3	1	1	8,71%	0,3588	4,1190
Urgência	1/3	1/5	1	1	9,67%	0,4053	4,1916
<b>Total</b>	2,4444	2,5333	14,0000	10,0000	100,00%	4,2154	

CI	RI	CR
0,062699	0,9	0,0697



A matriz comparativa para as alternativas segundo o critério **Financeiro** foi preenchida e obtidos os pesos de cada um deles, além da relação de consistência.

<b>Financeiro</b>	Projeto A	Projeto B	Projeto C	Projeto D
Projeto A	1	3	2	9
Projeto B	1/3	1	2	5
Projeto C	1/2	1/2	1	7
Projeto D	1/9	1/5	1/7	1
<b>Total</b>	1,9444	4,7000	5,1429	22,0000

Financeiro	Projeto A	Projeto B	Projeto C	Projeto D	Peso (%)	Vetor Soma	V. consistência
Projeto A	1	3	2	9	48,76%	2,0651	4,2348
Projeto B	1/3	1	2	5	25,01%	1,0669	4,2660
Projeto C	1/2	1/2	1	7	21,90%	0,8905	4,0656
Projeto D	1/9	1/5	1/7	1	4,32%	0,1787	4,1340
<b>Total</b>	1,9444	4,7000	5,1429	22,0000	100,00%	4,2012	

CI	RI	CR
0,058372	0,9	0,0649



A matriz comparativa para as alternativas segundo o critério **Estratégico** foi preenchida e obtidos os pesos de cada um deles, além da relação de consistência.

<b>Estratégico</b>	Projeto A	Projeto B	Projeto C	Projeto D
Projeto A	1	2	1/3	1
Projeto B	1/2	1	1/5	1/3
Projeto C	3	5	1	3
Projeto D	1	3	1/3	1
<b>Total</b>	5,5000	11,0000	1,8667	5,3333

Estratégico	Projeto A	Projeto B	Projeto C	Projeto D	Peso (%)	Vetor Soma	V. consistência
Projeto A	1	2	1/3	1	18,24%	0,7382	4,0463
Projeto B	1/2	1	1/5	1/3	8,79%	0,3524	4,0104
Projeto C	3	5	1	3	52,46%	2,1266	4,0542
Projeto D	1	3	1/3	1	20,52%	0,8260	4,0264
<b>Total</b>	5,5000	11,0000	1,8667	5,3333	100,00%	4,0432	

CI	RI	CR
0,01144	0,9	0,0127



A matriz comparativa para as alternativas segundo o critério **Riscos** foi preenchida e obtidos os pesos de cada um deles, além da relação de consistência.

Riscos (Ameaça)	Projeto A	Projeto B	Projeto C	Projeto D
Projeto A	1	1/5	1/3	1/3
Projeto B	5	1	1	3
Projeto C	3	1	1	3
Projeto D	3	1/3	1/3	1
Total	12,0000	2,5333	2,6667	7,3333

Riscos (Ameaça)	Projeto A	Projeto B	Projeto C	Projeto D	Peso (%)	Vetor Soma	V. consistência
Projeto A	1	1/5	1/3	1/3	8,32%	0,3356	4,0345
Projeto B	5	1	1	3	39,89%	1,6542	4,1472
Projeto C	3	1	1	3	35,72%	1,4878	4,1652
Projeto D	3	1/3	1/3	1	16,07%	0,6623	4,1205
Total	12,0000	2,5333	2,6667	7,3333	100,00%	4,1400	

CI	RI	CR
0,038952	0,9	0,0433



A matriz comparativa para as alternativas segundo o critério **Urgência** foi preenchida e obtidos os pesos de cada um deles, além da relação de consistência.

Urgência	Projeto A	Projeto B	Projeto C	Projeto D
Projeto A	1	1/9	3	3
Projeto B	9	1	9	9
Projeto C	1/3	1/9	1	1
Projeto D	1/3	1/9	1	1
Total	10,6667	1,3333	14,0000	14,0000

Urgência	Projeto A	Projeto B	Projeto C	Projeto D	Peso (%)	Vetor Soma	V. consistência
Projeto A	1	1/9	3	3	15,14%	0,6176	4,0786
Projeto B	9	1	9	9	71,99%	3,2411	4,5023
Projeto C	1/3	1/9	1	1	6,44%	0,2592	4,0270
Projeto D	1/3	1/9	1	1	6,44%	0,2592	4,0270
Total	10,6667	1,3333	14,0000	14,0000	100,00%	4,3770	

CI	RI	CR
0,052908	0,9	0,0588





Finalmente, obteve-se a matriz de decisão e o resultado de escolha pelos critérios (o segundo projeto de maior investimento no valor de R\$170 milhões).

	Financeiro	Estratégico	Riscos (Ameaça)	Urgência	Resultados
Pesos	43,67%	37,95%	8,71%	9,67%	
Projeto A	48,76%	18,24%	8,32%	15,14%	30,41%
Projeto B	25,01%	8,79%	39,89%	71,99%	24,69%
Projeto C	21,90%	52,46%	35,72%	6,44%	33,21%
Projeto D	4,32%	20,52%	16,07%	6,44%	11,70%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%



# Análise Custo-Benefício



Método para avaliar o impacto econômico líquido de um projeto, através da soma algébrica de custos e benefícios descontados ao longo do tempo.

Tem como objetivos:

- Quantificar os efeitos econômicos de um projeto.
- Transformá-los em unidades monetárias.
- Calcular a rentabilidade econômica por um indicador que permita formular uma opinião concreta quanto ao desempenho econômico e social do projeto.

Em termos gerais a Análise Custo-Benefício (*ACB*) pode ser utilizada durante a seleção de projetos ou para avaliar os impactos sociais e econômicos de um projeto.



A *ACB* é constituída essencialmente de três partes:

- (1) Uma componente técnica em que se definem o contexto e características do projeto
- (2) Uma análise financeira como ponto de partida sob o ponto de vista do investidor
- (3) Uma análise econômica (*ACB* propriamente dita) que identifica os itens de custos e benefícios econômicos, aplicando-se uma série de correções temporais

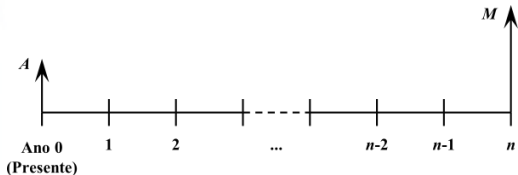
O tratamento dos fluxos de custos e benefícios ao longo do tempo impõe a ideia de que uma quantidade de dinheiro tem menor valor futuro do que no presente (pelas incertezas da sua existência futura).



Surge o conceito de **juros**, simplificado como valor de remuneração do capital expresso por uma taxa em um período de tempo.

A **equivalência de capitais** refere-se à aplicação da variação do valor do dinheiro a uma taxa de juros específica.

Supondo inexistência de inflação, o valor futuro  $M$  de um capital  $A$  aplicado no ano presente a uma taxa  $i$  ao ano em  $n$  anos sob juros compostos pode ser representado por:



$$M = (1 + i)^n \cdot A$$

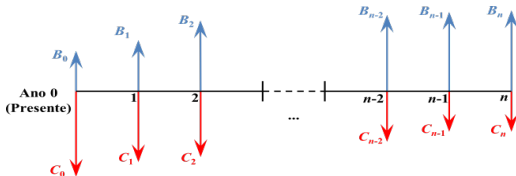


O valor monetário futuro é calculado em valor presente por:

$$A = \frac{M}{(1 + i)^n}$$

Esse resultado é denominado “Valor Presente Líquido” de  $A$  ( $VPL_A$ ) e refere-se a um custo ou benefício econômico futuro em valor presente a uma taxa de remuneração de capital.

A  $ACB$  considera o cálculo e comparação do valor presente líquido de custos e benefícios de um projeto.





Portanto, o Valor Presente Líquido dos custos do projeto é:

$$VPL_C = \sum_{t=0}^n \sum_x \frac{C_{x,t}}{(1+i)^t}$$

onde  $C_{x,t}$  = custo econômico do item  $x$  estimado no ano  $t$ .

Analogamente quanto aos benefícios do projeto:

$$VPL_B = \sum_{t=0}^n \sum_y \frac{B_{y,t}}{(1+i)^t}$$

onde  $B_{y,t}$  = benefício econômico de  $y$  estimado no ano  $t$ .

Logo, a execução da Análise Custo-Benefício depende da estimativa dos valores monetários esperados dos custos e benefícios de diferentes itens de um projeto de transporte



Os itens de custos comuns em projetos de transporte são:

- **Investimentos em Infraestrutura e Veículos**

Construção de vias e edifícios, e compra de veículos

- **Operação**

Materiais necessários para movimentação dos veículos (combustível, energia elétrica etc.)

- **Manutenção**

Reparos de edifícios e troca de peças e materiais dos veículos (pneus, lubrificantes etc.)

- **Pessoal**

Salários de recursos humanos para operação do sistema de transporte

Existem outros itens de custo que podem ser incluídos como impostos, licenças ambientais e de operação, externalidades.





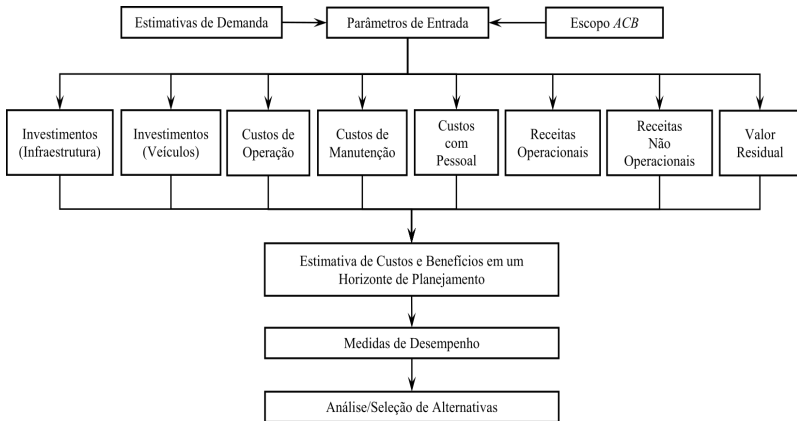
Os itens de benefícios em geral correspondem a:

- **Receitas Operacionais**  
Remuneração proveniente da venda de passagens.
- **Receitas Não Operacionais**  
Remuneração proveniente de outras fontes, como aluguel de instalações
- **Valor Residual**  
Valor da infraestrutura e dos veículos após a vida útil

Assim como para os custos, uma *ACB* pode contabilizar outros benefícios, como ganhos econômicos devido à redução de tempo de viagem e acidentes, impactos ambientais etc.



Um possível fluxo para execução da *ACB* contemplando esses itens pode ser como indicado na figura abaixo.





Dado que o  $VPL$  dos custos e benefícios é conhecido, existem diferentes medidas de desempenho para verificação da viabilidade socioeconômica de um projeto de transporte.

- **Valor Presente Líquido Total**

É a diferença entre o  $VPL$  de benefícios e custos estimados para o projeto.

$$\begin{aligned} VPL_T &= VPL_B - |VPL_C| \\ &= \sum_{t=0}^n \sum_y \frac{B_{y,t}}{(1+i)^t} - \left| \sum_{t=0}^n \sum_x \frac{C_{x,t}}{(1+i)^t} \right| \end{aligned}$$

Em geral, um projeto é considerado viável do ponto de vista socioeconômico se o  $VPL_T$  é maior que zero ( $VPL_T > 0$ ).



- **Razão Benefício-Custo**

Assemelha-se ao Valor Presente Líquido Total pela razão entre o *VPL* de benefícios e custos estimados para o projeto.

$$RBC = \frac{VPL_B}{|VPL_C|} = \frac{\sum_{t=0}^n \sum_y \frac{B_{y,t}}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \sum_x \frac{|C_{x,t}|}{(1+i)^t}}$$

Em geral, um projeto é considerado viável do ponto de vista socioeconômico se a *RBC* é maior ou igual a um ( $RBC \geq 1$ ).



- **Taxa Interna de Retorno**

É a taxa de remuneração do capital na qual os benefícios econômicos igualam-se aos custos econômicos.

Taxa de remuneração de capital  $i$  em que  $VPL_B = VPL_C$

$$\sum_{t=0}^n \sum_y \frac{B_{y,t}}{(1 + TIR)^t} = \sum_{t=0}^n \sum_x \frac{C_{x,t}}{(1 + TIR)^t}$$

O projeto é considerado viável se a  $TIR$  é maior que uma taxa de atratividade mínima.

Essa decisão corresponde à de investir um valor futuro no projeto sob a remuneração do capital pela  $TIR$  ao invés de investi-lo em outro fins que resultem em maior remuneração.

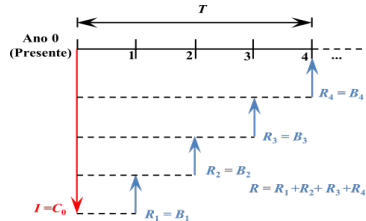


# Medidas de Desempenho

- **Prazo de retorno do investimento** (*payback*)

Esse método não considera a variação monetária no tempo, mas busca estimar o período necessário para que os investimentos sejam recuperados pelas receitas.

$$T = \frac{I}{R}$$



onde  $T$  = tempo de retorno do projeto;

$I$  = investimento no projeto para iniciar a operação;

$R$  = receitas advindas da operação.

Quanto menor o *payback* maior a atratividade do projeto.

# Exemplo Análise Custo-Benefício



Como exemplo, considere um projeto de construção de uma linha de BRT (Bus Rapid Transit) com as seguintes estimativas prévias de construção e operação:

**Extensão total (origem ao destino):** 75 km

**Período de Construção:** 5 anos

**Custos de Construção:**  $8,77 \times 10^6$ /km

**Custo de aquisição de cada Veículo:** R\$298.000

**Frota:** 260 veículos comprados no último ano de construção

**Tempo de ciclo:** 90 minutos

**Período de Operação:** 20 anos

**Custo de Combustível:** R\$0,7628/km



**Custo de Manutenção dos Veículos:** R\$0,56/km

**Custo com Pessoal:**  $24 \times 10^6$ /ano

**Demanda Anual:**  $132 \times 10^6$  passageiros/ano

**Tarifa:** R\$4,50

**Receita não operacional:** R\$26  $\times 10^6$ /ano

**Valor Residual:** 5% do valor total inicial dos investimentos em infraestrutura e aquisição dos veículos, obtido no último período de operação.

**Taxa de Remuneração do Capital:** 12% ao ano