

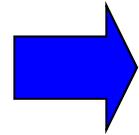
# *PRO 2304*

## *Princípios de Gestão da Produção e Logística*

Profa. Dra. Marly Monteiro de Carvalho

**LGP**  
[www.pro.poli.usp.br/lgp](http://www.pro.poli.usp.br/lgp)

# Agenda



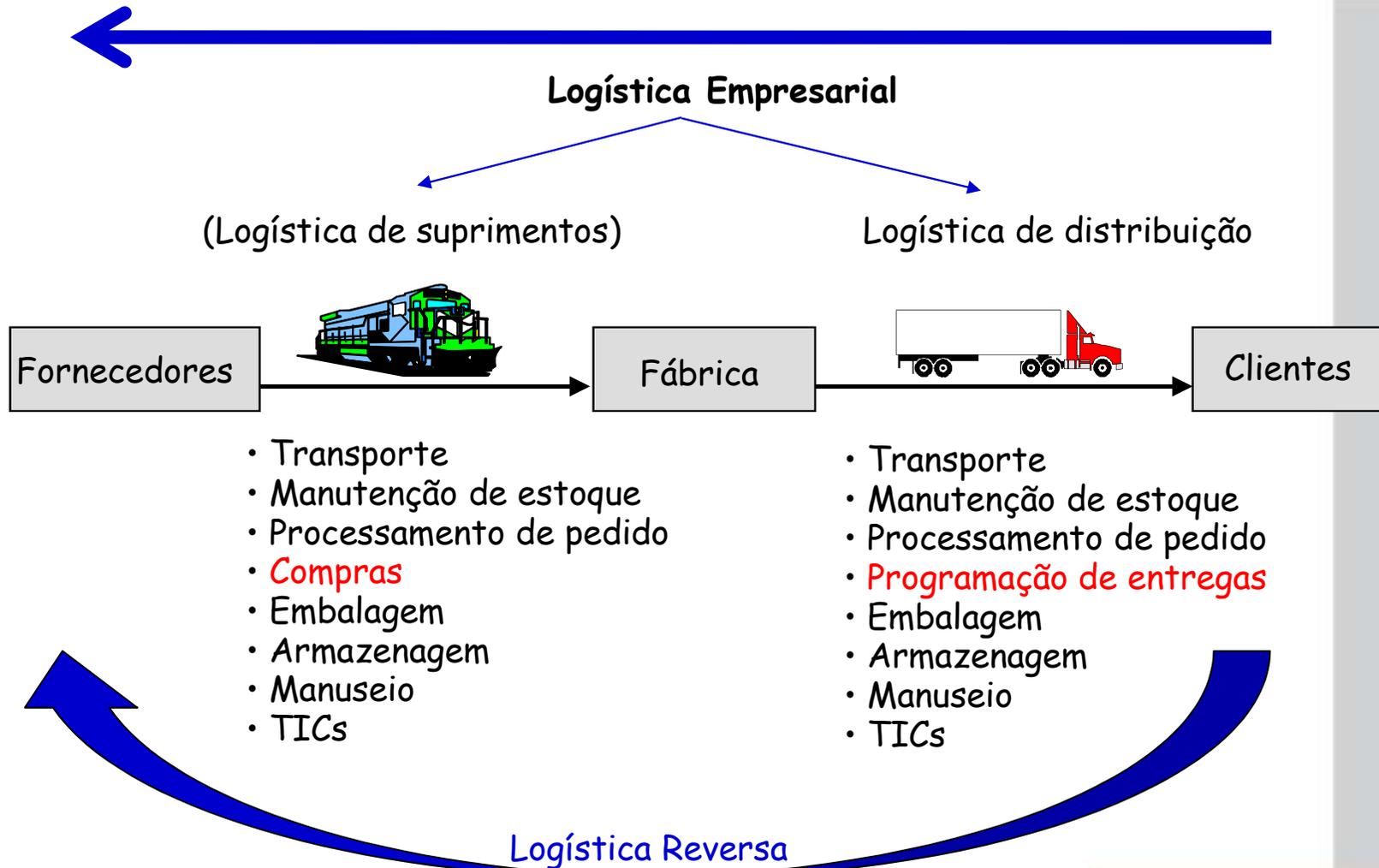
## 1. Logística

- Tipos de Modais de transporte

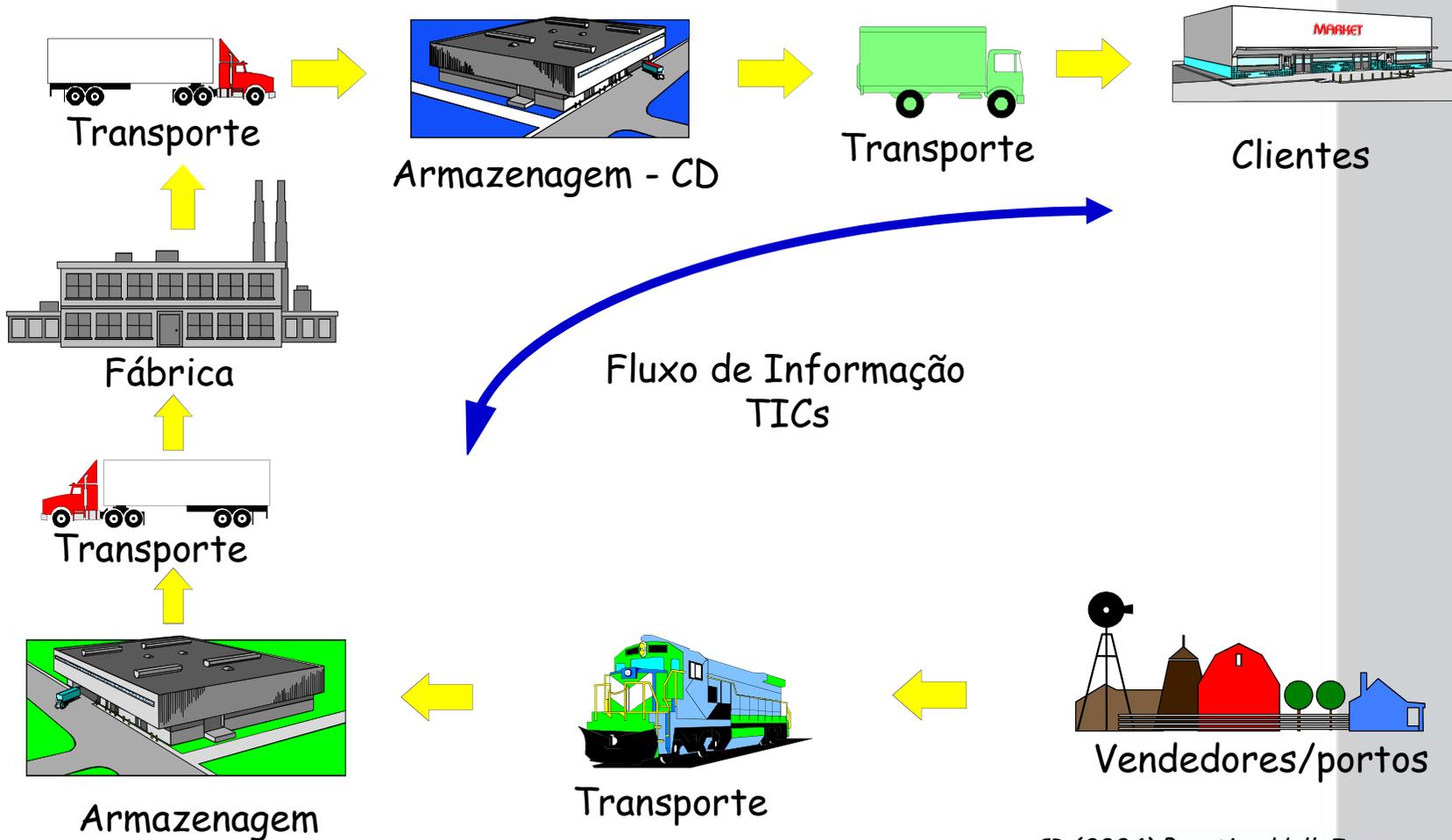
## 2. Modelos de transporte

- Desenvolver uma solução inicial
- A Regra Northwest-Corner
- O método Stepping-Stone
- Software Loqware

# Logística empresarial



# Cadeia de Suprimentos imediata da empresa



CR (2004) Prentice Hall, Inc.

5 modais básicos:

- Hidroviário
- Ferroviário
- Rodoviário
- Aeroviário
- Dutoviário



# Opções de Modal

**TABELA 6-3** Classificação relativa de modais de transporte por custo e características de desempenho operacional<sup>a</sup>

Modal de transporte	Características de desempenho				
	Custo <sup>b</sup> 1 = maior	Tempo médio de entrega <sup>c</sup> 1 = mais rápido	Variabilidade do tempo de entrega		Perdas e danos <sup>d</sup> 1 = menor
			Absoluta 1 = menor	Percentual <sup>d</sup> 1 = menor	
Ferroviário	3	3	4	3	5
Rodoviário	2	2	3	2	4
Aquaviário	5	5	5	4	2
Dutoviário	4	4	2	1	1
Aéreo	1	1	1	5	3

<sup>a</sup> Presume-se que o serviço esteja disponível.

<sup>b</sup> Custo por tonelada-milha.

<sup>c</sup> Velocidade porta-a-porta.

<sup>d</sup> Taxa da variação absoluta do tempo de entrega em relação ao tempo médio de entrega.

Fonte: Estimativas do autor quanto ao desempenho médio em uma variedade de circunstâncias.

Fonte: Ballou, 2006, p.158

# Opções de Modal

## Preço

- Varia bastante conforme o modal utilizado

<b>Modal</b>	<b>Preço Médio (US\$ por tonelada-milha)</b>
Ferroviário	2,28
Rodoviário	26,19
Hidroviário	0,74
Dutoviário	1,46
Aeroviário	61,2

Fonte: Ballou, 2006, p.151

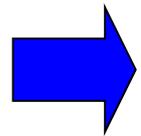
Dados resultantes da renda de transporte gerada por um modal em relação ao total embarcado de milhas-toneladas.

**Crítica:** A comparação de custos deve ser feita com base em tarifas reais que reflitam o produto embarcado, a distância e o destino, mais qualquer manuseio especial exigido por esse carregamento.

# Agenda

## 1. Logística

- Tipos de Modais de transporte



## 2. Modelos de transporte

- Desenvolver uma solução inicial
- A Regra Northwest-Corner
- O método Stepping-Stone
- Software Loqware

# Modelos de Transportes

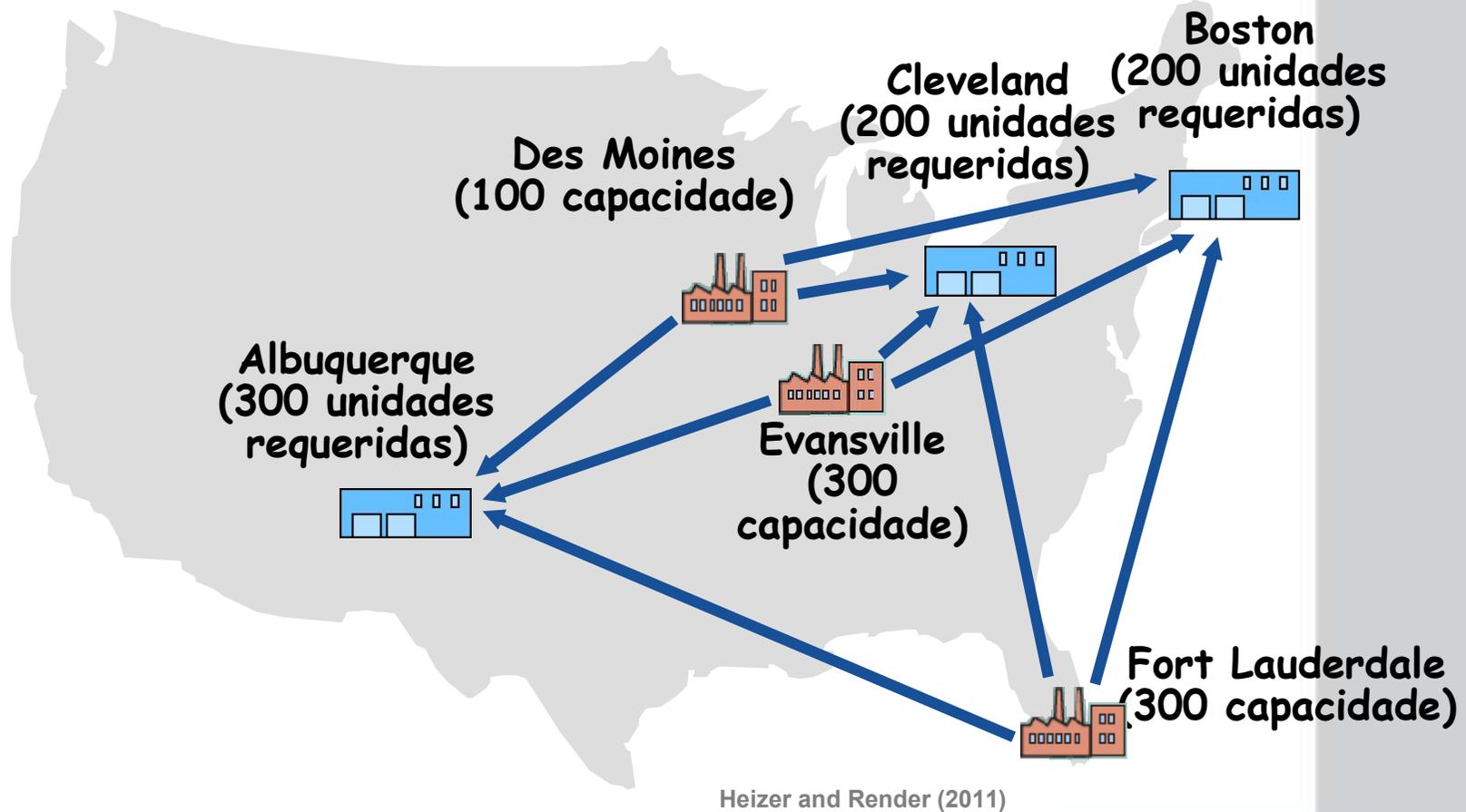
- ❑ Uma classe especial de problemas de programação linear
- ❑ Preciso saber:
  - ✓ Os pontos de origem e a capacidade de abastecimento por período em cada ponto
  - ✓ Os pontos de destino e a demanda por período em cada ponto
  - ✓ O custo de transporte de uma unidade de cada origem para cada destino

Heizer and Render (2011)

# Modelos de Transportes

<b>De \ Para</b>	<b>Albuquerque</b>	<b>Boston</b>	<b>Cleveland</b>
<b>Des Moines</b>	\$5	\$4	\$3
<b>Evansville</b>	\$8	\$4	\$3
<b>Fort Lauderdale</b>	\$9	\$7	\$5

# Modelos de Transportes



# Modelos de Transportes

## Passo 1: Matriz de transporte

De \ Para	Albuquerque	Boston	Cleveland	Capacidade de Fábrica
Des Moines	\$5	\$4	\$3	100
Evansville	\$8	\$4	\$3	300
Fort Lauderdale	\$9	\$7	\$5	300
<b>Demanda Requerida</b>	<b>300</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>700</b>

Des Moines  
Restrição de Capacidade

Célula representando uma possível atribuição de expedição da fonte ao destino (Evansville para Cleveland)

Custo do transporte de uma unidade da Fábrica de Fort Lauderdale para o armazém em Boston

Cleveland  
Demanda

Demanda total / Capacidade total

Heizer and Render (2011)

# Regra do Corner Noroeste (Northwest-Corner Rule)

- ◆ Comece na célula superior esquerda (ou canto noroeste) da tabela e aloque unidades a rotas da seguinte forma:
  1. Esgotar a capacidade de fornecimento (capacidade de fábrica) de cada linha antes de descer para a próxima linha
  2. Esgotar os requisitos de demanda do armazém de cada coluna antes de passar para a próxima coluna
  3. Verifique se todos os fornecimentos e as demandas foram atendidos

Heizer and Render (2011)

# Regra do Corner Noroeste (Northwest-Corner Rule)

1. Atribuir 100 banheiras de Des Moines para Albuquerque (limite de capacidade - Des Moines)

De \ Para				Capacity de Fábrica
	Albuquerque	Boston	Cleveland	
Des Moines	<b>100</b>			100
Evansville				300
Fort Lauderdale				300
Demanda Requerida	300	200	200	700

# Regra do Corner Noroeste (Northwest-Corner Rule)

- Atribuir 200 banheiras de Evansville para Albuquerque (esgotada a demanda de Albuquerque)

De \ Para	Albuquerque	Boston	Cleveland	Capacity de Fábrica
Des Moines	100 \$5	\$4	\$3	100
Evansville	200 \$8	\$4	\$3	300
Fort Lauderdale	\$9	\$7	\$5	300
Demanda Requerida	300	200	200	700

# Regra do Corner Noroeste (Northwest-Corner Rule)

3. Atribuir 100 banheiras de Evansville para Boston (limite de capacidade - Evansville)

De \ Para	Albuquerque	Boston	Cleveland	Capacity de Fábrica
Des Moines	100 \$5	\$4	\$3	100
Evansville	200 \$8	100 \$4	\$3	300
Fort Lauderdale	\$9	\$7	\$5	300
Demanda Requerida	300	200	200	700

# Regra do Corner Noroeste (Northwest-Corner Rule)

- Atribuir 100 banheiras de Fort Lauderdale para Boston (esgotada a demanda de Boston)

De \ Para	Albuquerque	Boston	Cleveland	Capacity de Fábrica
Des Moines	100   \$5	\$4	\$3	100
Evansville	200   \$8	100   \$4	\$3	300
Fort Lauderdale	\$9	100   \$7	\$5	300
Demanda Requerida	300	200	200	700

# Regra do Corner Noroeste (Northwest-Corner Rule)

5. Atribuir 200 banheiras de Fort Lauderdale para Cleveland (esgotada a demanda de Cleveland e capacidade de Fort Lauderdale)

De \ Para	Albuquerque	Boston	Cleveland	Capacity de Fábrica
Des Moines	100   \$5	\$4	\$3	100
Evansville	200   \$8	100   \$4	\$3	300
Fort Lauderdale	\$9	100   \$7	200   \$5	300
Demanda Requerida	300	200	200	700

# Regra do Corner Noroeste (Northwest-Corner Rule)

De \ Para	(A) Albuquerque	(B) Boston	(C) Cleveland	Capacidade
(D) Des Moines	100 \$5	\$4	\$3	100
(E) Evansville	200 \$8	100 \$4	\$3	300
(F) Fort Lauderdale	\$9	(100) \$7	200 \$5	300
Demanda	300	200	200	700

Significa que a empresa está transportando 100 banheiras de Fort Lauderdale para Boston

# Regra do Corner Noroeste (Northwest-Corner Rule)

## Custo de transporte calculado

Rota		Banheiras	Custo por Unidade	Custo Total
De	Para			
D	A	100	\$5	\$ 500
E	A	200	8	1.600
E	B	100	4	400
F	B	100	7	700
F	C	200	5	\$1.000
<b>Total:</b>				<b>\$4.200</b>

**Esta é uma solução viável,  
 mas não necessariamente  
 a alternativa de menor  
 custo**

# Método Stepping-Stone

1. Selecione qualquer célula não utilizada para avaliar
2. Comece nesta célula, trace um caminho fechado de volta para a célula inicial, via células que atualmente estão sendo usadas (não pode andar na diagonal).
3. Comece com um sinal de mais (+) no corner sem uso, coloque sinais - e + alternados em cada corner do caminho traçado

De \ Para	(A) Albuquerque	(B) Boston	(C) Cleveland	Capacidade
(D) Des Moines	100 \$5	\$4	\$3	100
(E) Evansville	200 \$8	100 \$4	\$3	300
(F) Fort Lauderdale	\$9	100 \$7	200 \$5	300
Demanda	300	200	200	700

**Regras:**

- ✓ no caminho só posso ter uma variável que está nula (é essa que você está testando)
- ✓ Capacidade = Demanda

# Método Stepping-Stone

De \ Para	(A) Albuquerque	(B) Boston	(C) Cleveland	Capacidade de
(D) Des Moines	100	\$5	\$4	100
(E) Evansville	200	\$8	\$4	300
(F) Fort Lauderdale	\$9	\$7	\$5	300
Demanda	300	200	200	700

$$\begin{aligned} \text{Índice Des Moines-Boston} \\ &= \$4 - \$5 + \$8 - \$4 \\ &= +\$3 \end{aligned}$$

4. Calcule o índice de cada rota não utilizada, adicionando em primeiro lugar o custo unitário de cada célula contendo o sinal + e subtraindo custo unitário de cada célula contendo o sinal -
5. Repita os passos 1 a 4 até ter calculado o índice de todas as rotas (células) não utilizadas. Se todos os índices são  $\geq 0$ , você atingiu uma solução ótima.

# Método Stepping-Stone

De \ Para	(A) Albuquerque	(B) Boston	(C) Cleveland	Capacidade
(D) Des Moines	100 - \$5	Start + \$4	\$3	100
(E) Evansville	200 + \$8	100 - \$4	\$3	300
(F) Fort Lauderdale	\$9	100 \$7	200 \$5	300
Demanda	300	200	200	700

Índice Des Moines-Boston

$$= \$4 - \$5 + \$8 - \$4 = +\$3$$

(Caminho = DB - DA - EA - EB)

# Método Stepping-Stone

Somente corner ocupados podem ser usados, por exemplo, Evansville-Cleveland não pode ser um corner.

De \ Para	(A) Albuquerque	(B) Boston	(C) Cleveland	Capacidade
(D) Des Moines	100 \$5	\$4	Start \$3	100
(E) Evansville	200 \$8	100 \$4	\$3	300
(F) Fort Lauderdale	\$9	100 \$7	200 \$5	300
<b>Demanda</b>	<b>300</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>700</b>

**Índice Des Moines-Cleveland**

$$= \$3 - \$5 + \$8 - \$4 + \$7 - \$5 = +\$4$$

# Método Stepping-Stone

Heizer and Render (2011)

De \ Para	(A) Albuquerque	(B) Boston	(C) Cleveland	Capacidade
(D) Des Moines	100 \$5	\$4	\$3	100
(E) Evansville	200 \$8	100 \$4	Start \$3	300
(F) Fort Lauderdale	\$9	100 \$7	200 \$5	300
Demanda	300	200	200	700

Diagrammatic annotations in the table:  
 - A dashed blue arrow points from the 'Start' cell (E,C) to the '100' cell (E,B).  
 - A dashed blue arrow points from the '100' cell (E,B) to the '100' cell (F,B).  
 - A dashed blue arrow points from the '200' cell (F,B) to the '200' cell (F,C).  
 - A dashed blue arrow points from the '200' cell (F,C) to the 'Start' cell (E,C).  
 - A '+' sign is located in the (E,C) cell, and a '-' sign is located in the (F,C) cell.

Índice Evansville-Cleveland  
 = \$3 - \$4 + \$7 - \$5 = +\$1  
 (Caminho= EC - EB - FB - FC)

# Método Stepping-Stone

De \ Para	(A) Albuquerque	(B) Boston	(C) Cleveland	Capacidade
(D) Des Moines	100 \$5	\$4	\$3	100
(E) Evansville	200 \$8	100 \$4	\$3	300
(F) Fort Lauderdale	Start \$9	\$7	200 \$5	300
Demanda	300	200	200	700

Diagram illustrating the Stepping-Stone method with a path from Fort Lauderdale (F) to Albuquerque (A) via Boston (B) and Evansville (E). The path is marked with blue arrows and signs: a '+' sign at F, a '-' sign at B, a '+' sign at E, and a '-' sign at A. Dashed blue lines connect the nodes in the sequence F → B → E → A.

Índice Fort Lauderdale-Albuquerque  
 $= \$9 - \$7 + \$4 - \$8 = -\$2$   
 (Caminho = FA - FB + EB - EA)

# Método Stepping-Stone

De \ Para	(A) Albuquerque	(B) Boston	(C) Cleveland	Capacidade
(D) Des Moines	100 \$5	\$4	\$3	100
(E) Evansville	200 \$8	100 \$4	\$3	300
(F) Fort Lauderdale	\$9	100 \$7	200 \$5	300
Demanda	300	200	200	700

Diagrama de fluxo de ajuste no método Stepping-Stone:  
 - Uma seta azul com um sinal de menos (-) aponta da célula (E) Evansville para a célula (A) Albuquerque.  
 - Uma seta azul com um sinal de mais (+) aponta da célula (A) Albuquerque para a célula (F) Fort Lauderdale.  
 - Uma seta azul com um sinal de menos (-) aponta da célula (F) Fort Lauderdale para a célula (B) Boston.  
 - Uma seta azul com um sinal de mais (+) aponta da célula (B) Boston para a célula (E) Evansville.  
 - O valor 100 está circulado em amarelo na célula (F) Fort Lauderdale, indicando a quantidade a ser ajustada.

Heizer and Render (2011)

Adicione 100 na rota FA  
 Subtraia 100 da rota FB  
 Adicione 100 na rota EB  
 Subtraia 100 da rota EA

- Se uma melhoria é possível, escolher a rota (célula não utilizada) com o maior índice negativo
- No caminho daquela rota, selecione o menor número encontrado nas células que contêm sinais de menos (-).
- Adicionar este número para todas as células no caminho com sinais + e subtraí-lo de todas as células com um sinal -

Por que o menor?

Índice Fort Lauderdale-Albuquerque =  $\$9 - \$7 + \$4 - \$8 = -\$2$   
 (Caminho = FA - FB + EB - EA)

# Método Stepping-Stone

De \ Para	(A) Albuquerque	(B) Boston	(C) Cleveland	Capacidade
(D) Des Moines	100 \$5	\$4	\$3	100
(E) Evansville	100 \$8	200 \$4	\$3	300
(F) Fort Lauderdale	100 \$9	\$7	200 \$5	300
Demanda	300	200	200	700

$$\begin{aligned} \text{Custo Total} &= \$5(100) + \$8(100) + \$4(200) + \$9(100) + \$5(200) \\ &= \mathbf{\$4.000} \end{aligned}$$

Heizer and Render (2011)

- ✓ Pode ainda não ser a solução ótima.
- ✓ Recalcular índices
- ✓ Critério de Parada: Todos os caminhos tem índice não negativo, caso contrário rodar nova iteração

# Método Stepping-Stone

De \ Para	(A) Albuquerque	(B) Boston	(C) Cleveland	Capacidade
(D) Des Moines	100 \$5	\$4	\$3	100
(E) Evansville	100 \$8 -	200 \$4	Start \$3 +	300
(F) Fort Lauderdale	100 \$9 +	\$7	200 \$5 -	300
Demanda	300	200	200	700

\*Índice Evansville-Cleveland index =  $\$3 - \$8 + \$9 - \$5 = -\$1$  (EC-EZ-FA-FC)

Índice Des Moines- Boston =  $\$4 - \$5 + \$8 - \$4 = +\$3$  (DB-DA-EA-EB)

Índice Des Moines-Cleveland =  $\$3 - \$5 + \$9 - \$5 = +\$2$  (DC-DA-FA-FC)

Índice Fort Lauderdale-Boston =  $\$7 - \$9 + \$8 - \$4 = +\$2$  (EC-EZ-FA-FC)

# Método Stepping-Stone

De \ Para	(A) Albuquerque	(B) Boston	(C) Cleveland	Capacidade
(D) Des Moines	100 \$5	\$4	\$3	100
(E) Evansville	100 \$8 - ←	200 \$4	Start \$3 +	300
(F) Fort Lauderdale	100 \$9 + ↓	\$7	200 \$5 -	300
Demanda	300	200	200	700

- Se uma melhoria é possível, escolher a rota (célula não utilizada) com o maior índice negativo
- No caminho daquela rota, selecione o menor número encontrado nas células que contêm sinais de menos (-)
- Adicionar este número para todas as células no caminho com sinais + e subtraí-lo de todas as células com um sinal -

# Método Stepping-Stone

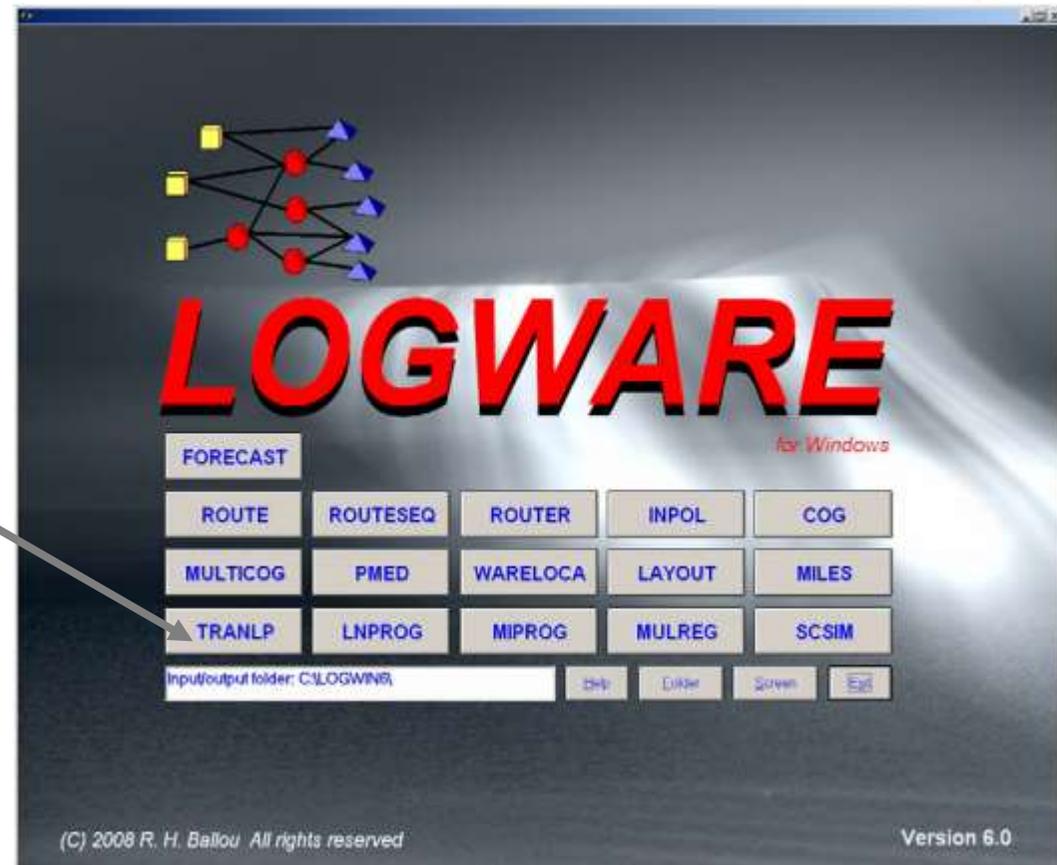
De \ Para	(A) Albuquerque	(B) Boston	(C) Cleveland	Capacidade
(D) Des Moines	100 \$5	\$4	\$3	100
(E) Evansville	- \$8	200 \$4	100 \$3	300
(F) Fort Lauderdale	200 \$9	\$7	100 \$5	300
Demanda	300	200	200	700

$$\begin{aligned} \text{Custo Total} &= \$5(100) + \$4(200) + \$3(100) + \$9(200) + \$5(100) \\ &= \$3.900 \end{aligned}$$

Fim

Software roda vários modelos na área de logística. No caso dos modelos de transporte o módulo é:

- TRANLP - Resolve problemas com matriz de transporte de até 30x30. Aplica modelo de transporte usando programação linear.



# Estudo de Caso