

# **CCI-36 – Computação Gráfica**

## **Modelos Radiométricos**

**Instituto Tecnológico de Aeronáutica**

**Prof. Carlos Henrique Q. Forster – Sala 121 IEC**

**[forster@ita.br](mailto:forster@ita.br)**

**ramal 5981**

## **Tópicos da aula**

- BRDF
- Modelo de Phong
- Modelo de Gorraud

## **Livro para acompanhar essa aula**

Horn caps 10 e 11

Ballard cap 3

Trucco cap 9

## Ângulo Sólido

**Ângulo sólido da esfera:**  $2\pi sr$

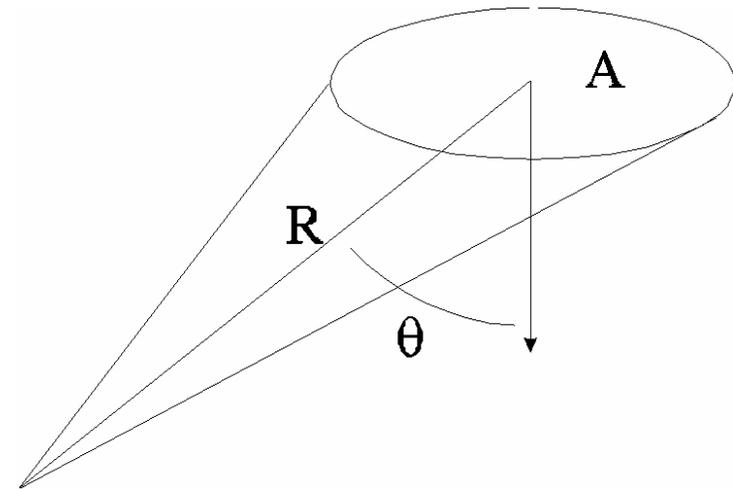
Corresponde à área da casca esférica unitária que pertence a um cone.

$$\Omega = \frac{A \cos \theta}{R^2}$$

é o ângulo sólido da figura acima (área A e distância R do centro do cone).

A área é pequena de forma que não são consideráveis variações no ângulo.

O efeito causado por esse ângulo  $\theta$  é conhecido como *foreshortening* (redução da área aparente)

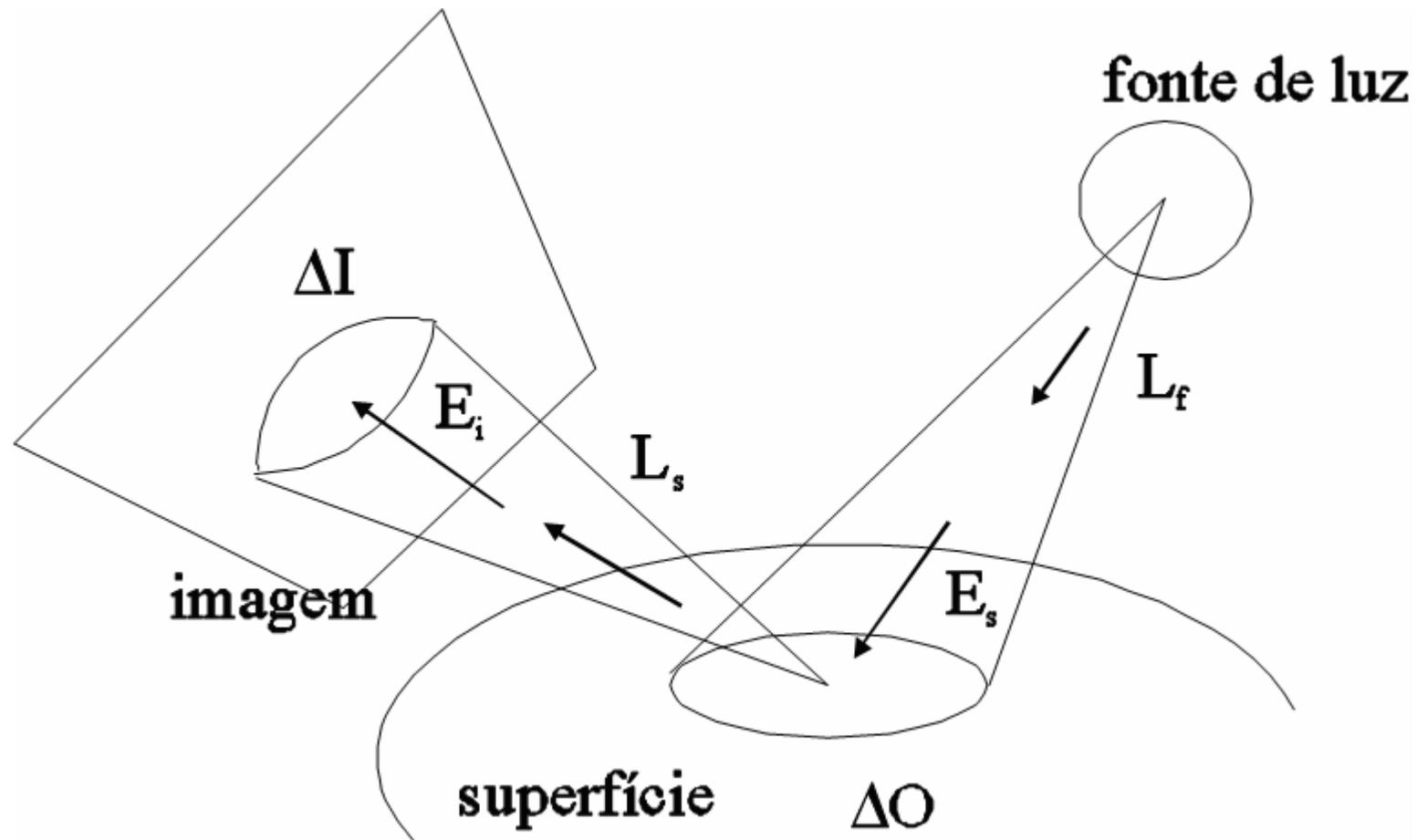


## Radiância $L$ e Irradiância $E$

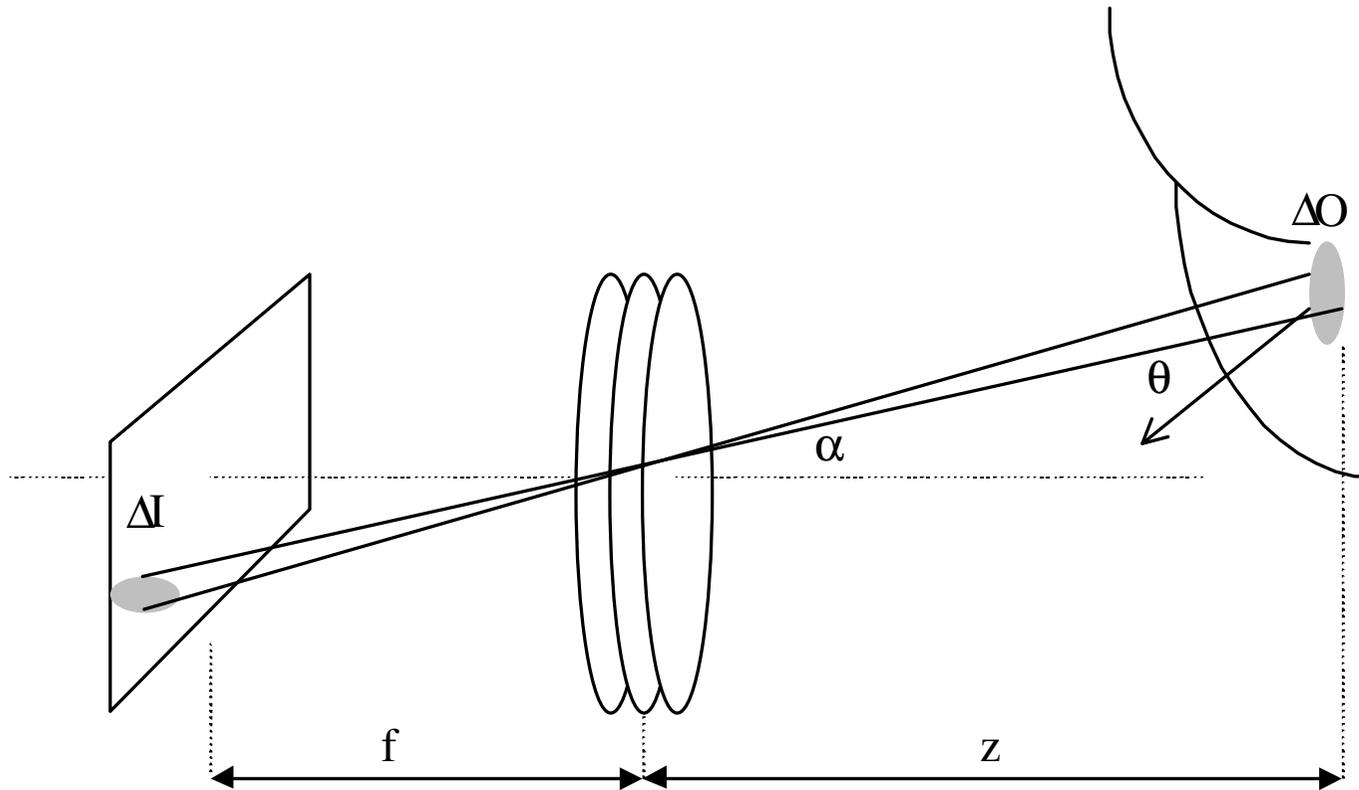
Define-se irradiância como a quantidade de luz que uma superfície recebe. Essa quantidade pode ser medida em  $\frac{W}{m^2}$  (Watt por metro quadrado), ou seja, potência por área ou intensidade. Essa grandeza será representada pelo símbolo  $E$  neste texto.

Define-se radiância como a quantidade de luz emitida por uma superfície para um ângulo sólido específico. Ela é medida levando em conta o ângulo sólido que está sendo avaliado e, portanto, a unidade utilizada é  $\frac{W}{m^2 sr}$  (Watt por metro quadrado por esterorradiano), ou seja, intensidade por ângulo sólido. A notação que será utilizada para radiância é  $L$ .

# Formação da imagem (simplificado)

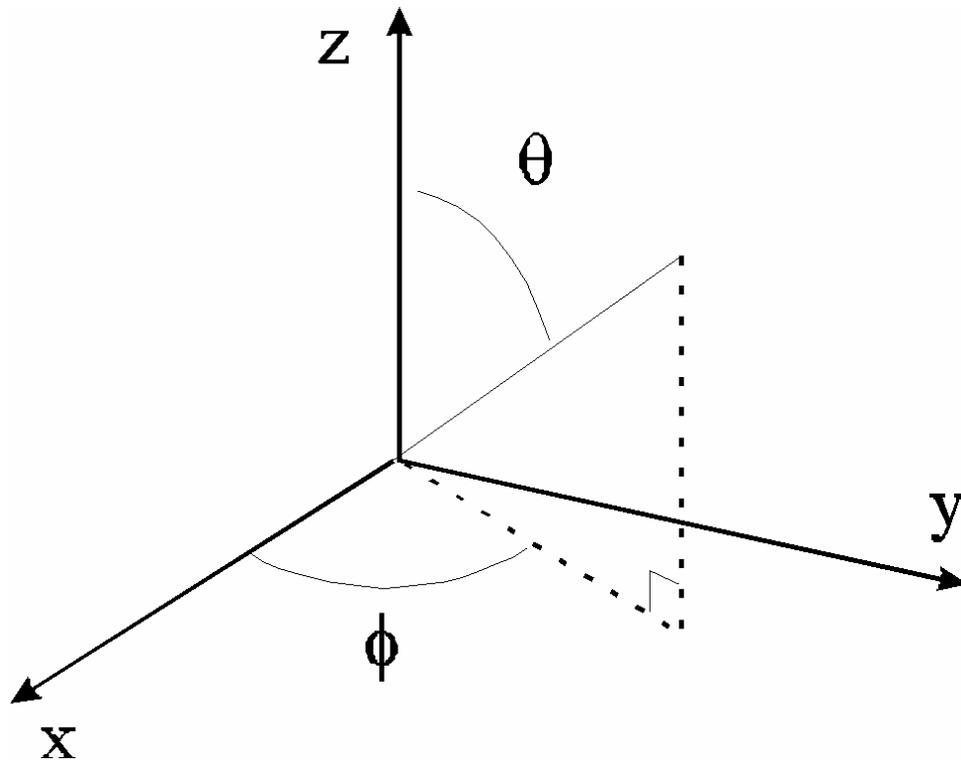


Relação entre  $E_i$  (Irradiância na Imagem) e  $L_s$  (Radiância na Superfície)



$$\frac{E_i}{L_s} = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d}{f} \right)^2 \cos^4 \alpha$$

Relação entre  $L_s$  e  $E_s$ , Radiância e Irradiância na Superfície, respectivamente



**ângulo polar (slant) e azimute (tilt)**

## BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function)

$$f(\theta_i, \phi_i; \theta_e, \phi_e) = \frac{\Delta L(\theta_e, \phi_e)}{\Delta E(\theta_i, \phi_i)}$$

**Reciprocidade de Helmholtz**  $f(\theta_i, \phi_i; \theta_e, \phi_e) = f(\theta_e, \phi_e; \theta_i, \phi_i)$

**Ausência de microtextura**  $f(\theta_i, \theta_e, \phi_e - \phi_i)$

$$L_s(\theta_e, \phi_e) = \int_{-\pi}^{\pi} \int_0^{\pi/2} f(\theta_e, \phi_e; \theta_i, \phi_i) E_s(\theta_i, \phi_i) \sin \theta_i \cos \theta_i d\theta_i d\phi_i$$

**Uma fonte de luz pontual isotrópica de intensidade  $I_0$  gera uma**

**irradiância  $E_s = \frac{I_0 \cos \theta_s}{4\pi r^2}$  num ponto do objeto**

## A Lei de Reflexão de Lambert

A reflexão lambertiana ideal ocorre quando a radiância é isotrópica e toda luz incidente é refletida, sem absorção. Dessa forma, a BRDF é constante e pode ser demonstrado que essa constante vale  $1/\pi$ .

Calculando-se a integral do produto da BRDF pela irradiância devido à fonte de luz pontual na direção  $(\theta_s, \phi_s)$  obtém-se

$$L_s = \frac{1}{\pi} E_s \cos \theta_s .$$

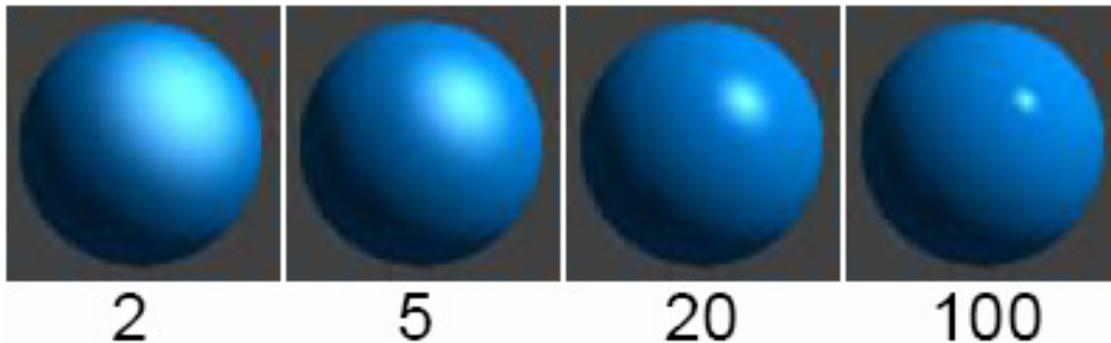
Esta é a lei de reflexão de Lambert.

## Modelo de Reflexão de Phong

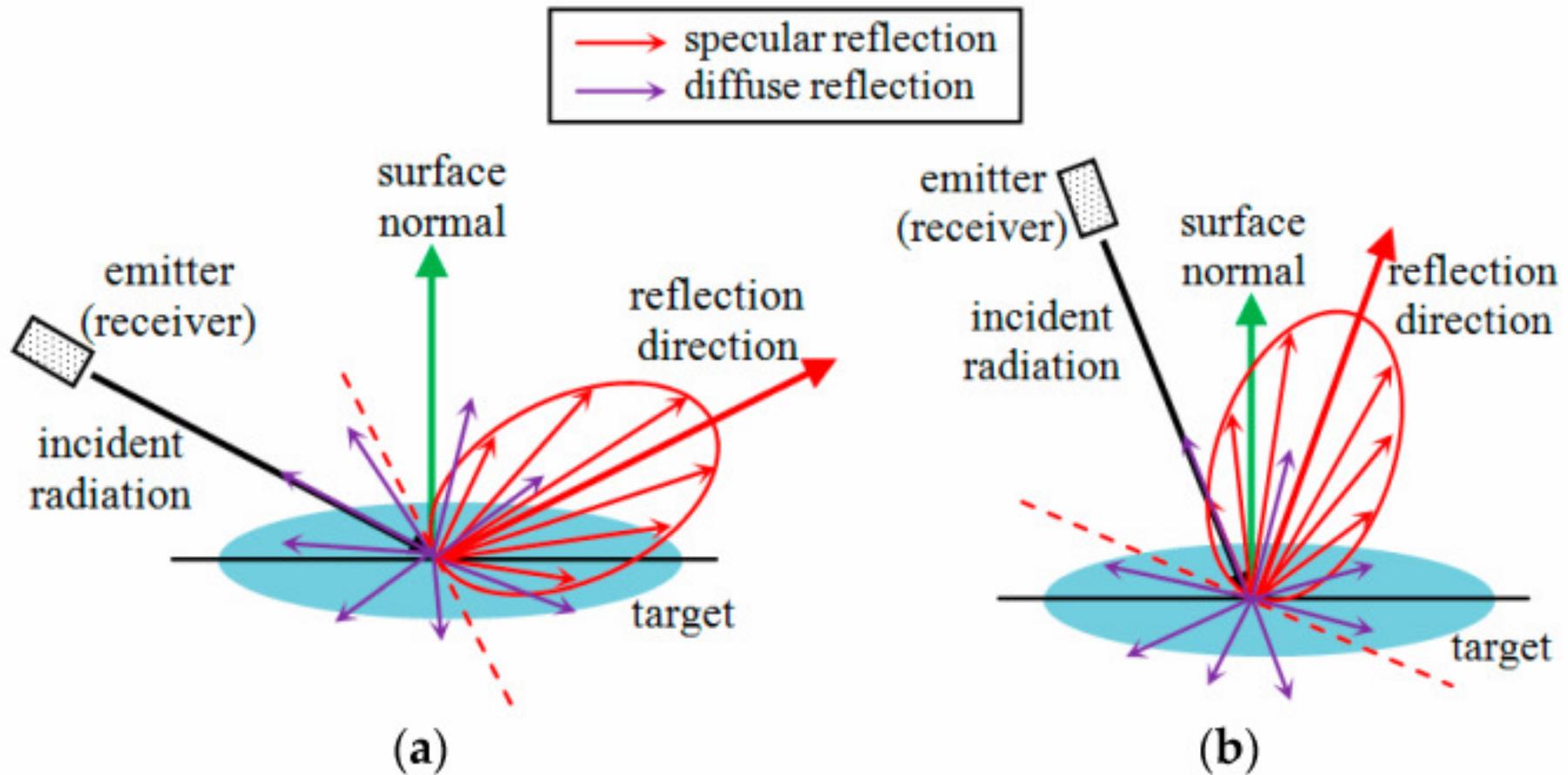
Reflexão difusa: “albedo”, característica do material, produto da cor do material pela cor da iluminação

Reflexão especular: reflexão mais superficial em camada oleosa ou resinosa do material, usualmente da cor da fonte de luz, intensidade máxima na direção do raio refletido.

Expoente (de Phong) representa o quão “brilhoso” é o material



Reflexão ambiente: valor constante



## Modelos de Shading

- Phong Shading

Calcula para cada ponto os ângulos necessários para o modelo de Phong

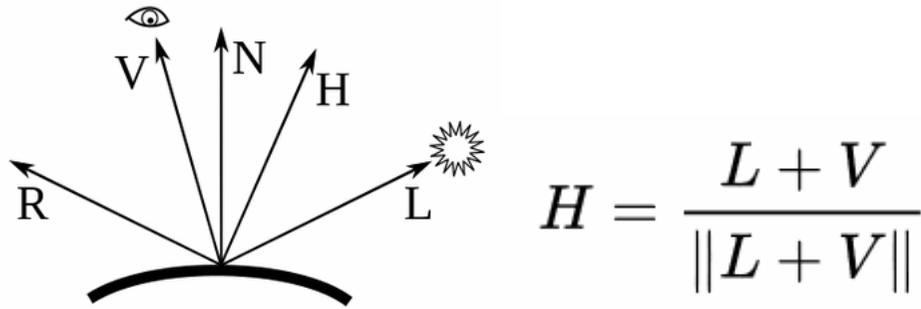
- Gouraud Shading

Calcula a iluminação segundo Phong para os vértices e interpola para os demais pontos.

- Blinn Shading

Utiliza o modelo de Blinn-Phong, aproximado utilizando o “meio-ângulo” entre a fonte de luz e o observador. Resolve alguns problemas do Phong shading e permite interpolação.

## Blinn-Phong Model



$$\sum_{m \in \text{lights}} i_{dir} k_s O_s (\mathbf{n} \cdot \mathbf{h})^\alpha$$

## Global illumination



## Radiosity

Instead of computing the lighting as the last step in the rendering process, it is done beforehand. Certain surfaces in the scene are given initial intensities, and the effect they have on other surfaces in the scene is computed in an iterative manner. This is done independently of the location of the viewer. The presence of these lit surfaces in the model is what drives the computation of the system.

F = form-factor → relação entre superfícies calculada pelo ângulo sólido

$$B_j = \rho_j H_j + E_j$$

$B_j$  – Radiosity of surface  $j$

$\rho_j$  – Reflectivity of surface  $j$

$H_j$  – Energy incident on surface  $j$

$E_j$  – Energy emitted by surface  $j$

$$\begin{bmatrix} 1 - \rho_1 F_{11} & -\rho_1 F_{12} & \cdots & -\rho_1 F_{1N} \\ -\rho_2 F_{21} & 1 - \rho_2 F_{22} & \cdots & -\rho_2 F_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\rho_N F_{N1} & -\rho_N F_{N2} & \cdots & 1 - \rho_N F_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_N \end{bmatrix}$$

$$H_j = \sum_{i=1}^N B_i F_{ij}, \quad j = 1..N$$

$$B_j = E_j + \rho_j \sum_{i=1}^N B_i F_{ij}, \quad j = 1..N$$