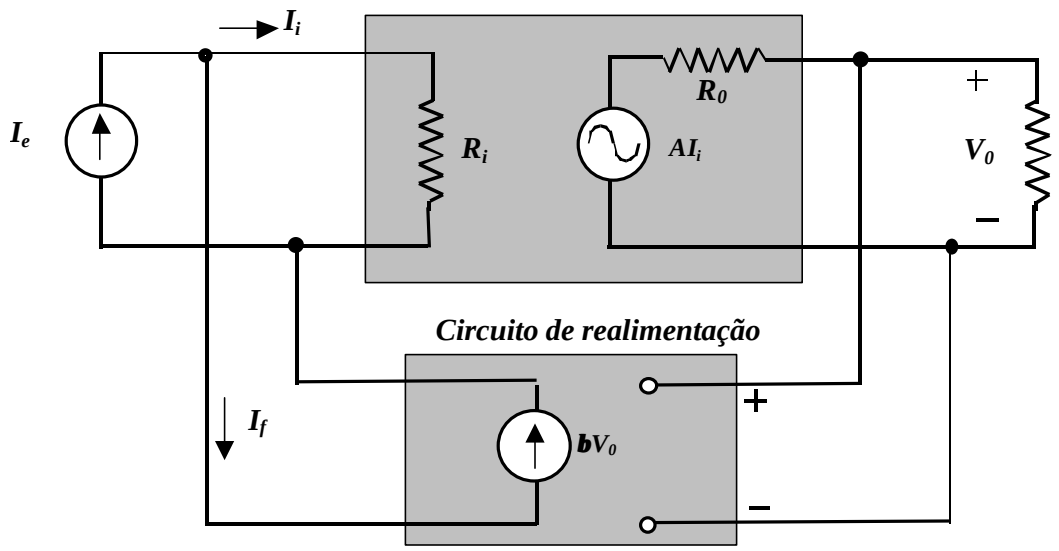
✓ *Realimentação de tensão em paralelo (paralelo-paralelo)*

A figura abaixo mostra uma conexão de realimentação de tensão em paralelo. A corrente de realimentação (I_f) que é proporcional (b) a tensão de saída é realimentada em paralelo com o sinal de entrada.



Conexão para realimentação de tensão em paralelo (paralelo-paralelo)

*O amplificador apresenta um ganho **A** (transresistência) (ganho de malha aberta da conexão), impedância de entrada R_i, e impedância de saída R_0. O circuito de realimentação apresenta um ganho **b** (transcondutância), uma impedância de entrada zero, e uma impedância de saída zero.*

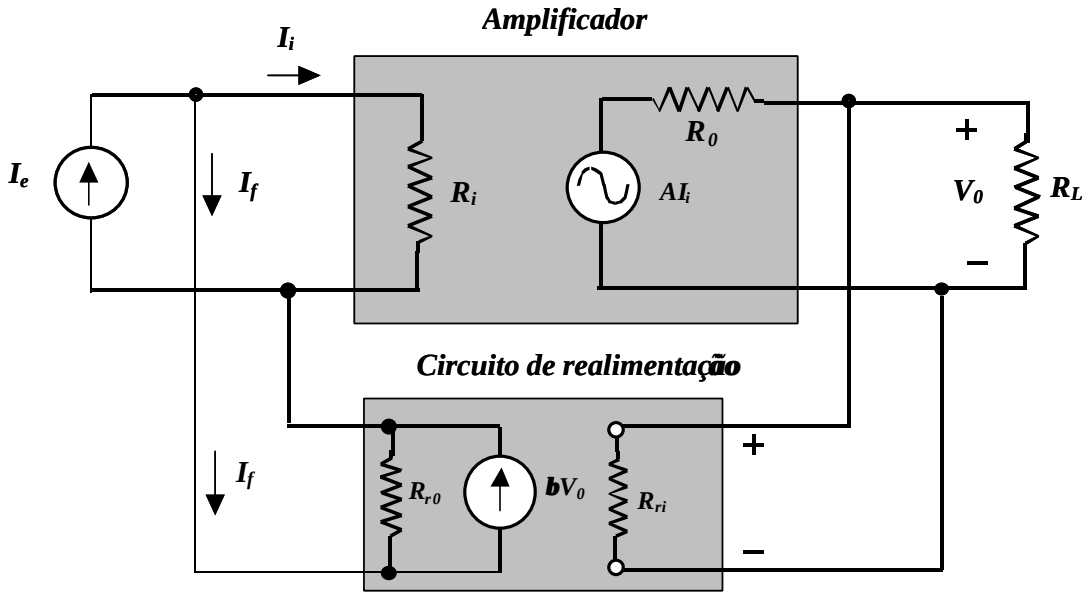
- *Caso o circuito de realimentação apresente uma impedância de saída finita, R_{r0}, podemos considerar esta em paralelo com a impedância de entrada, R_i, e ainda considerar a conexão como a mostrada acima, agora com a impedância de entrada do amplificador igual a $R'_i = R_i // R_{r0}$.*

- *Ainda, se o circuito de realimentação apresenta uma impedância de entrada finita, R_{ri}, podemos considerar esta em paralelo com a impedância de saída R_0, e ainda considerar a conexão como a mostrada acima, agora com agora com um ganho reduzido $A' = AR_{ri}/(R_0+R_{ri})$ e uma impedância de saída $R'_0 = R_0 // R_{ri}$.*

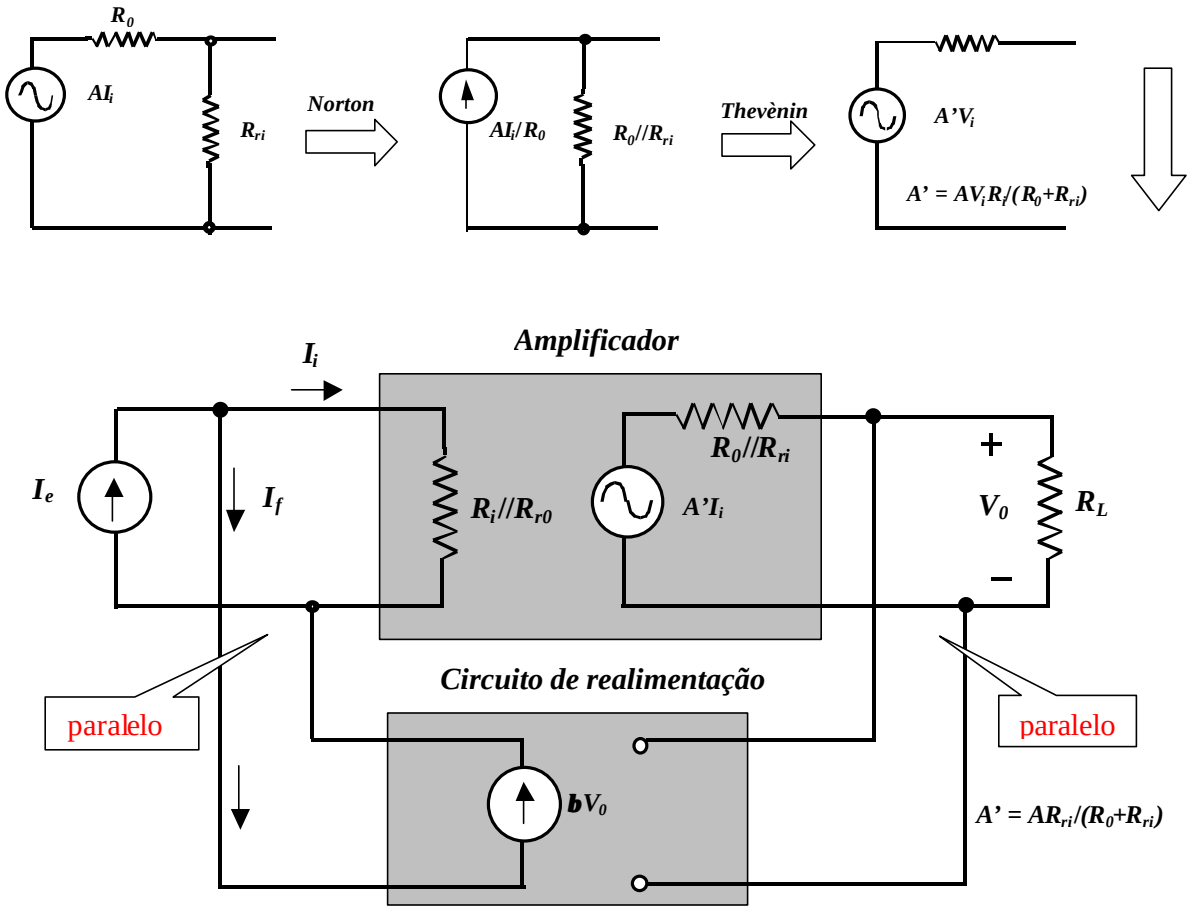
- *O ganho reverso (V_0/I_f) do circuito de realimentação é sempre de desprezado.*

Obs: Normalmente $R_{ri} >> R_0$ e $R_{r0} >> R_i$

As figuras abaixo ilustram as considerações acima.



Conexão para realimentação de tensão em paralelo (paralelo-paralelo) com impedância de entrada e saída no circuito de realimentação



Conexão para realimentação de tensão em paralelo (paralelo-paralelo) com impedância de entrada e saída no circuito de realimentação equivalente.

Vamos determinar para esta conexão, o ganho de malha fechada, a impedância de entrada e a impedância de saída.

- ***Ganho de malha fechada***

Para esta análise vamos nos reportar as figuras anteriores. Se não houver realimentação (I_f =0), o ganho do estágio amplificador com R_L=¥ (ganho de malha aberta) é

$$A = V_0 / I_e = V_0 / I_i$$

Se um sinal de realimentação, I_f, for conectado em paralelo com a entrada, então

$$I_i = I_e - I_f$$

Uma vez que

$$V_0 = A\, I_i = A\,(I_e - I_f) = A\, I_e - A\, I_f = A\, I_e - Ab\, V_0$$

então

$$V_0\,(1 + Ab) = A\, I_e$$

e o ganho de malha fechada é dada por

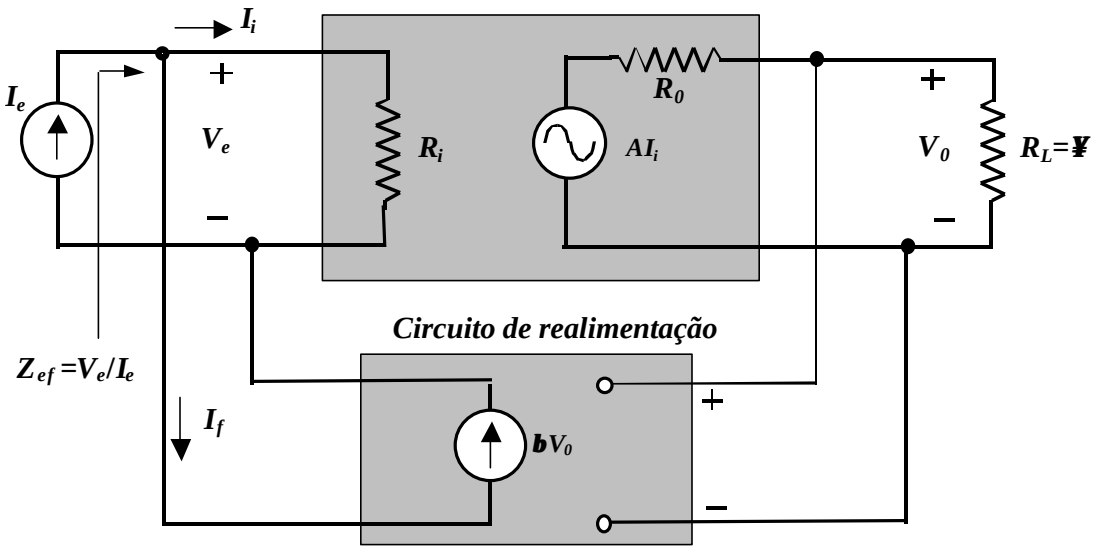
$$A_f = V_0 / I_e = A / (1 + Ab) \qquad (417)$$

A equação (417) mostra que o ganho com realimentação (ganho de malha fechada) é o ganho do amplificador reduzido pelo fator ***(1+ Ab).***

É importante observar que o ganho neste caso é uma transresistência e não um ganho de tensão ou corrente.

- ***Impedância de entrada***

Para determinar a impedância de entrada vamos repetir a conexão com a indicação da impedância de entrada como mostra a figura abaixo.



Determinação da impedância de entrada para a conexão realimentação de tensão em paralelo (paralelo-paralelo)

A impedância de entrada pode ser determinada da seguinte forma: ***(com R_L = ¥)***

$$I_e = I_i + I_f = V_e/R_i + b\,V_0 = V_e/R_i + bA\,I_i = V_e/R_i + bA\,V_e/R_i$$

$$R_i\,I_e = V_e + b\,A\,V_e$$

$$R_i\,I_e = V_e\,(1 + b\,A)$$

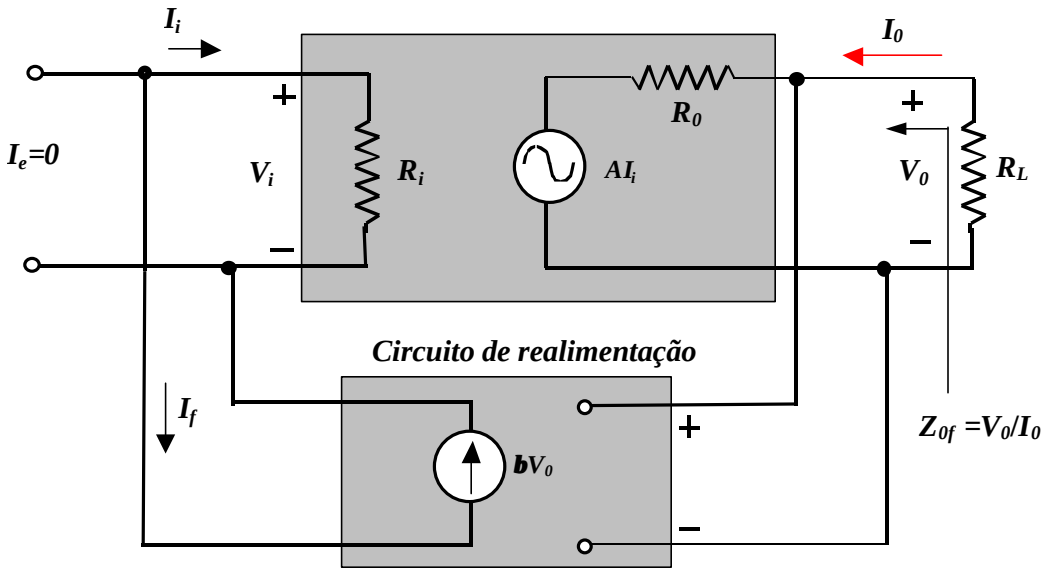
Portanto

$$\boxed{Z_{ef} = V_e / I_e = R_i/(1+bA)} \qquad (418)$$

*Esta equação mostra que a impedância de entrada de um circuito com realimentação de tensão em paralelo(**paralelo-paralelo**) é igual a impedância de entrada sem realimentação dividida pelo fator **(1+bA)**.*

- ***Impedância de saída***

Para determinar a impedância de entrada vamos repetir a conexão com a indicação da impedância de saída como mostra a figura abaixo.



Determinação da impedância de saída para a conexão realimentação de tensão em paralelo (paralelo-paralelo)

A impedância de saída pode ser determinada da seguinte forma:

$V_0 = R_0 (I_0 + AI_i)$

para $I_e = 0 \quad I_i = -I_f$

portanto

$V_0 = R_0 I_0 - R_0 AI_f = R_0 I_0 - R_0 Ab V_0$

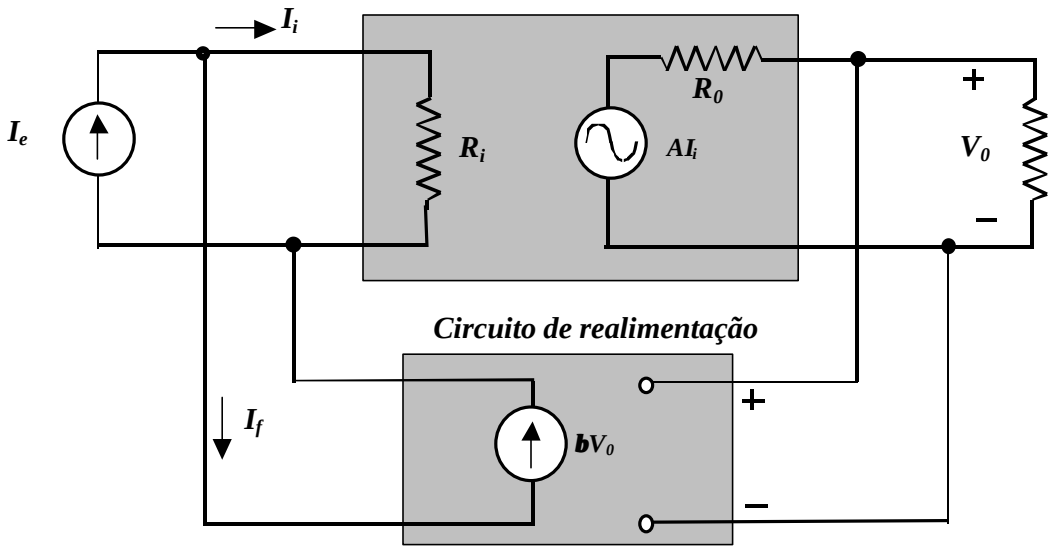
$V_0(1 + Ab) = R_0 I_0$

portanto

$$Z_{0f} = V_0 / I_0 = R_0 / (1 + Ab) \qquad (419)$$

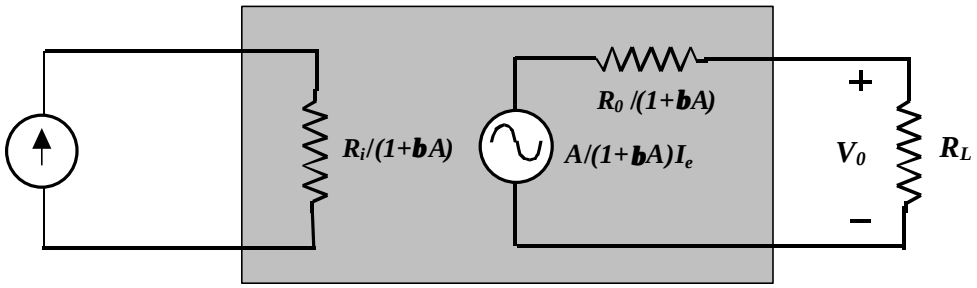
Esta equação mostra que a impedância de saída de um circuito com realimentação de tensão em paralelo ***(paralelo-paralelo)*** *é igual a impedância de saída sem realimentação dividida pelo fator* ***(1+bA)****.*

A figura abaixo mostra o circuito equivalente da conexão com realimentação de tensão em paralelo.



Conexão com realimentação de tensão em paralelo (paralelo-paralelo)

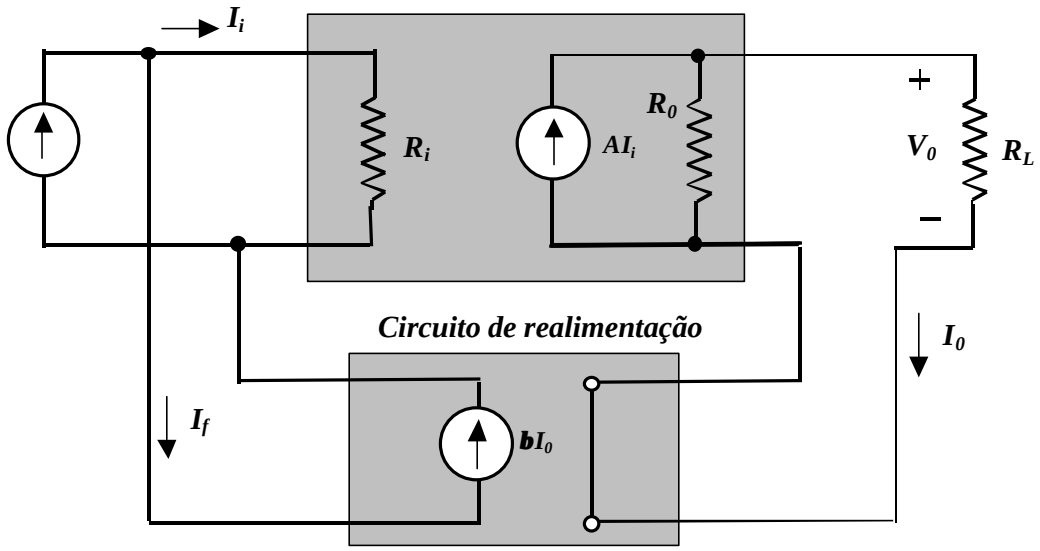
Amplificador com realimentação



Circuito equivalente

✓ *Realimentação de corrente em paralelo (paralelo-série)*

A figura abaixo mostra uma conexão de realimentação de corrente em paralelo. A corrente de realimentação (I_f) que é proporcional (b) a corrente de saída é realimentada em paralelo com o sinal de entrada.



Conexão para realimentação de corrente em paralelo (paralelo-série)

O amplificador apresenta um ganho ***A*** *(de corrente) (ganho de malha aberta da conexão), impedância de entrada* $\boldsymbol{R_i}$*, e impedância de saída* $\boldsymbol{R_0}$*. O circuito de realimentação apresenta um ganho* ***b*** *(de corrente), uma impedância de entrada zero, e uma impedância de saída zero.*

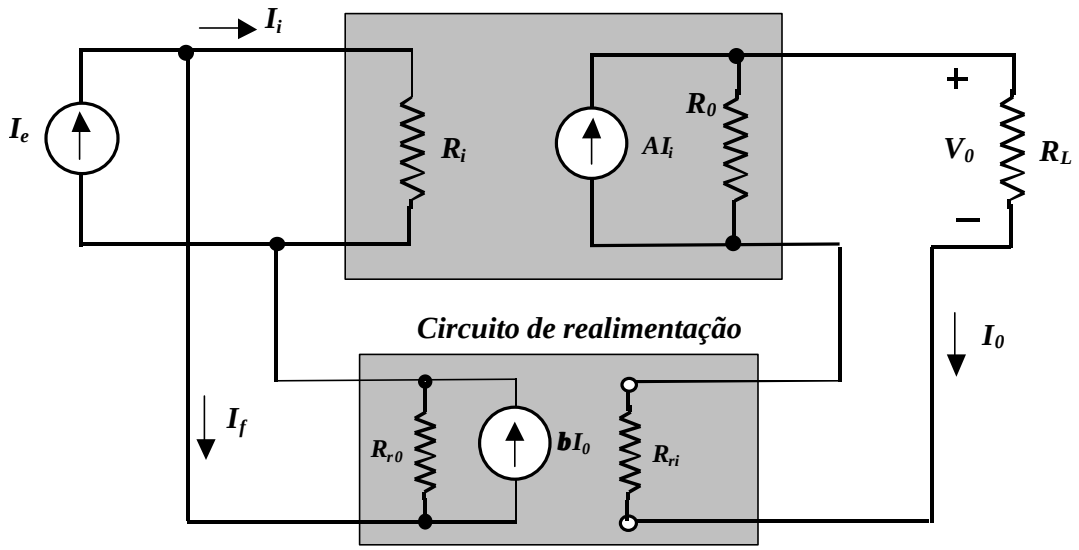
- *Caso o circuito de realimentação apresente uma impedância de saída diferente de zero,* $\boldsymbol{R_{r0}}$*, podemos considerar esta em paralelo com a impedância de entrada,* $\boldsymbol{R_i}$*, e ainda considerar a conexão como a mostrada acima, agora com a impedância de entrada do amplificador igual a* $\boldsymbol{R'_i = R_i // R_{r0}}$.

- *Ainda, se o circuito de realimentação apresenta uma impedância de entrada finita,* $\boldsymbol{R_{ri}}$*, podemos considerar esta em série com a impedância de saída* $\boldsymbol{R_0}$*, e ainda considerar a conexão como a mostrada acima, agora com agora com um ganho reduzido* $\boldsymbol{A' = AR_0/(R_0+R_{ri})}$ *e uma impedância de saída* $\boldsymbol{R'_0 = R_0 + R_{ri}}$.

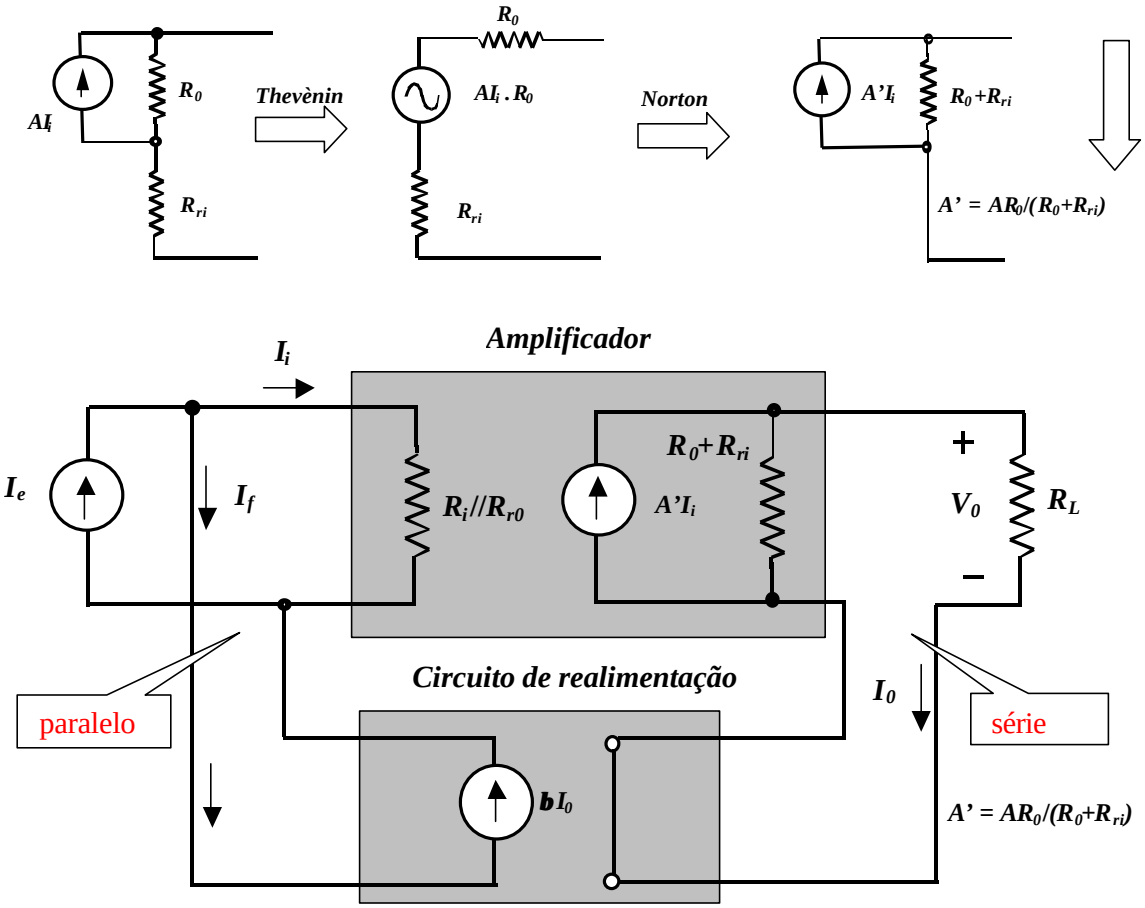
- *O ganho reverso (I_0/I_f) do circuito de realimentação é sempre desprezado.*

Obs: Normalmente $\boldsymbol{R_{ri} << R_0}$ ***e*** $\boldsymbol{R_{r0} >> R_i}$

As figuras abaixo ilustram as considerações acima.



Conexão para realimentação de corrente em paralelo (paralelo-série) com impedância de entrada e saída no circuito de realimentação



Conexão para realimentação de tensão em paralelo (paralelo-série) com impedância de entrada e saída no circuito de realimentação equivalente.

Vamos determinar para esta conexão, o ganho de malha fechada, a impedância de entrada e a impedância de saída.

- ***Ganho de malha fechada***

Para esta análise vamos nos reportar as figuras anteriores. Se não houver realimentação (I_f =0), o ganho do estágio amplificador com R_L=0 (ganho de malha aberta) é

$$A = I_0 / I_e = I_0 / I_i$$

Se um sinal de realimentação, I_f, for conectado em paralelo com a entrada, então

$$I_i = I_e - I_f$$

Uma vez que

$$I_0 = A\, I_i = A\,(I_e - I_f) = A\, I_e - A\, I_f = A\, I_e - Ab\, I_0$$

então

$$I_0\,(1 + Ab) = A\, I_e$$

e o ganho de malha fechada é dada por

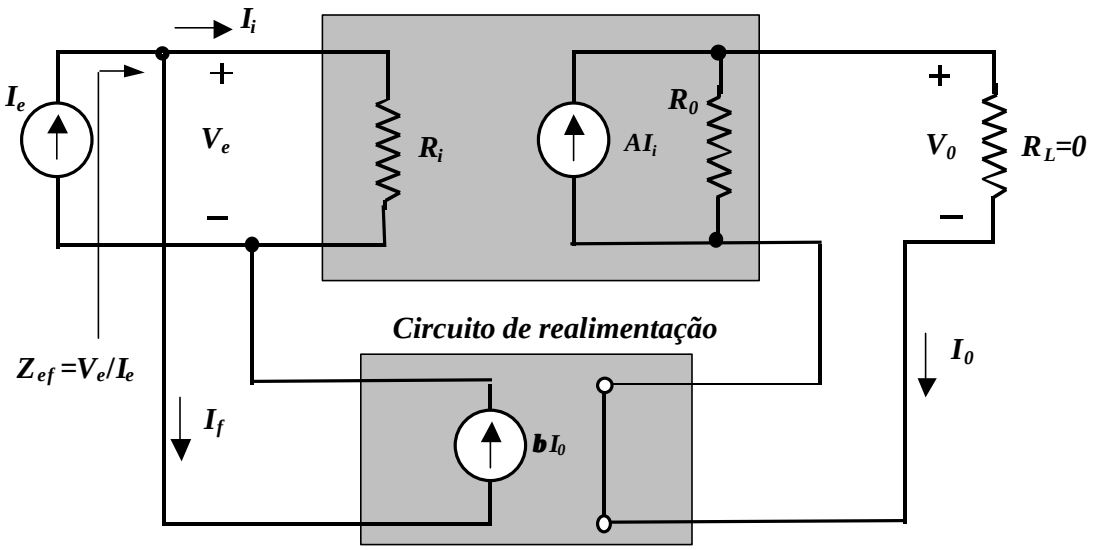
$$\boxed{A_f = I_0 / I_e = A/(1 + Ab)} \qquad (420)$$

A equação (420) mostra que o ganho com realimentação (ganho de malha fechada) é o ganho do amplificador reduzido pelo fator ***(1+ Ab).***

.

- ***Impedância de entrada***

Para determinar a impedância de entrada vamos repetir a conexão com a indicação da impedância de entrada como mostra a figura abaixo.



Determinação da impedância de entrada para a conexão realimentação de corrente em paralelo (paralelo-série)

A impedância de entrada pode ser determinada da seguinte forma: ***(com $R_L = 0$)***

$$I_e = I_i + I_f = V_e/R_i + b\,I_0 = V_e/R_i + bA\,I_i = V_e/R_i + bAV_e/R_i$$

$$R_i\,I_e = V_e + bAV_e$$

$$R_i\,I_e = V_e\,(1 + b\,A)$$

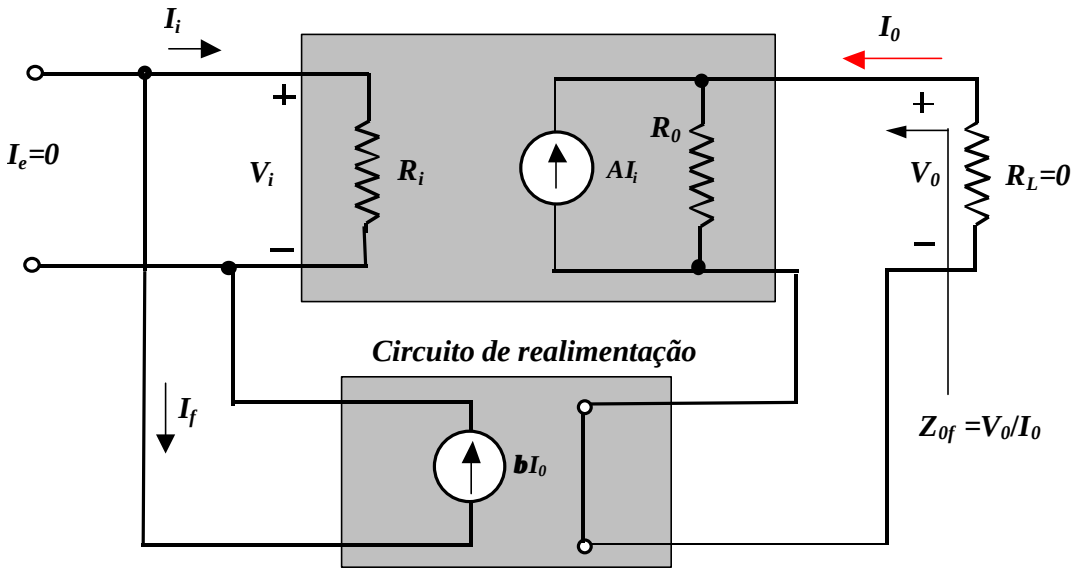
Portanto

$$\boxed{Z_{ef} = V_e / I_e = R_i/(1+bA)} \qquad (421)$$

*Esta equação mostra que a impedância de entrada de um circuito com realimentação de corrente em paralelo(**paralelo-série**) é igual a impedância de entrada sem realimentação dividida pelo fator **(1+bA)**.*

- ***Impedância de saída***

Para determinar a impedância de entrada vamos repetir a conexão com a indicação da impedância de saída como mostra a figura abaixo.



Determinação da impedância de saída para a conexão realimentação de tensão em paralelo (paralelo-paralelo)

A impedância de saída pode ser determinada da seguinte forma:

$V_0 = R_0 (I_0 + AI_i)$

para $I_e = 0 \quad I_i = -I_f$

$I_f = -bI_0$ ***(Obs:note que o sentido da corrente está invertido)***

portanto

$V_0 = R_0I_0 - R_0 AI_f = R_0I_0 + R_0AbI_0$

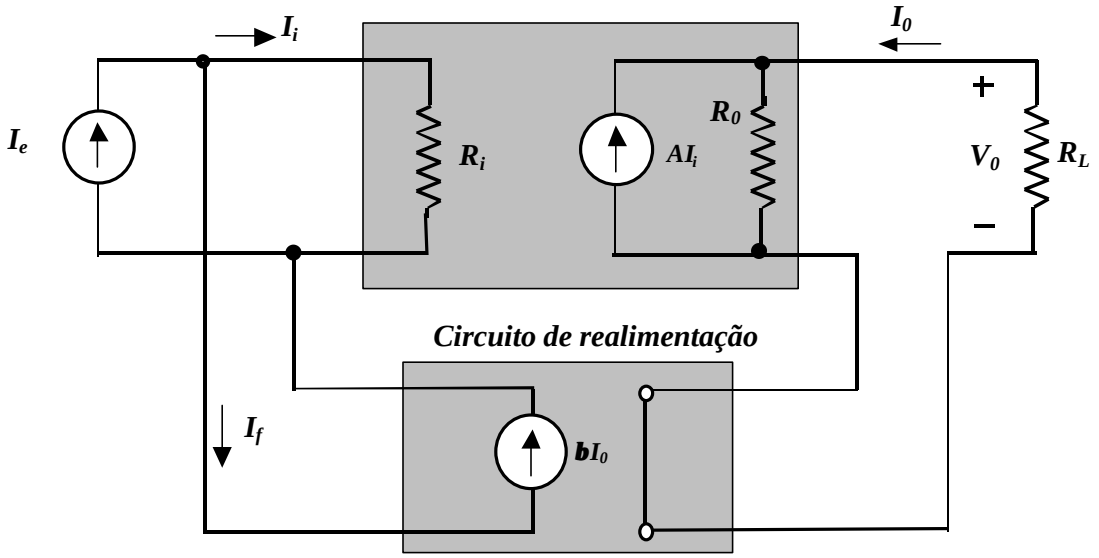
$V_0 = R_0I_0(1+ Ab)$

portanto

$$Z_{0f} = V_0 / I_0 = R_0 (1+ Ab) \qquad (422)$$

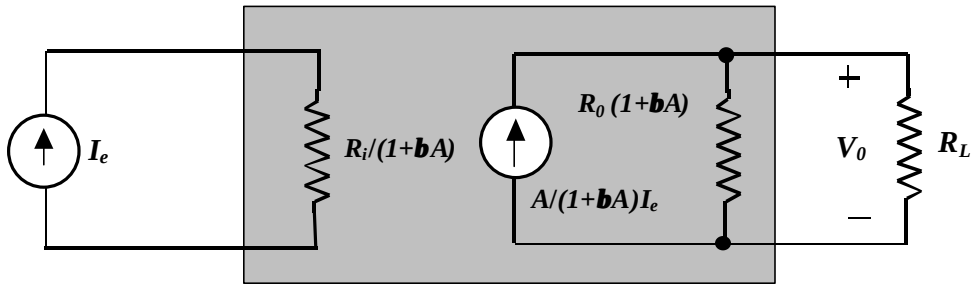
Esta equação mostra que a impedância de saída de um circuito com realimentação de corrente em paralelo ***(paralelo-série)*** *é igual a impedância de saída sem realimentação multiplicada pelo fator* ***(1+bA)****.*

A figura abaixo mostra o circuito equivalente da conexão com realimentação de tensão em paralelo.



Conexão com realimentação de tensão em paralelo (paralelo-paralelo)

Amplificador com realimentação



Circuito equivalente

A tabela abaixo mostra um resumo dos efeitos de cada uma das conexões de realimentação sobre a impedância de entrada e de saída.

Quadro – Efeito da realimentação

	Tipo da realimentação (conexão)			
	Tensão em série (série-paralelo)	*Corrente em série (série-série)*	*Tensão em paralelo (paralelo-paralelo)*	*Corrente em paralelo (paralelo-série*
Z_{if} *(entrada)*	$R_i(1+bA)$	$R_i(1+bA)$	$R_i/(1+bA)$	$R_i/(1+bA)$
Z_{0f} *(saída)*	$R_0/(1+bA)$	$R_0(1+bA)$	$R_0/(1+bA)$	$R_0(1+bA)$

Da tabela podemos observar que dependendo do tipo da conexão na entrada e saída do amplificador (série ou paralelo) a impedância de entrada ou de saída muda como indicado abaixo

Série ---------- Aumenta por um fator (1+bA)
Paralelo ---------- Diminui por um fator (1+bA)

Obs: o ganho sempre diminui pelo mesmo fator

A tabela abaixo mostra um resumo de como se deve levar em conta o efeito de carregamento, ou seja, de impedância de entrada e saída finita ou diferente de zero do circuito de realimentação para cada uma das conexões de realimentação.

Quadro – Efeito de carregamento

	Tipo da realimentação (conexão)			
	Tensão em série (série-paralelo)	*Corrente em série (série-série)*	*Tensão em paralelo (paralelo-paralelo)*	*Corrente em paralelo (paralelo-série)*
R'_i*(entrada)*	$R_i + R_{0r}$	$R_i + R_{0r}$	$R_i // R_{0r}$	$R_i // R_{0r}$
R'_0 *(saída)*	$R_0 // R_{ir}$	$R_0 + R_{ir}$	$R_0 // R_{ir}$	$R_0 + R_{ir}$
A'	$A.R_{0r}/(R_0+R_{0r})$	$A.R_0/(R_0+R_{0r})$	$A.R_{0r}/(R_0+R_{0r})$	$A.R_0/(R_0+R_{0r})$

Da tabela podemos observar que dependendo do tipo da conexão na entrada e saída do amplificador (série ou paralelo) a impedância de entrada ou de saída muda como indicado abaixo

Série --------- $R'_i = R_i + R_{0r}$, $R'_0 = R_0 + R_{ir}$ e $A' = A.R_0/(R_0+R_{0r})$
Paralelo --------- $R'_i = R_i // R_{0r}$, $R'_0 = R_0 // R_{ir}$ e $A' = A.R_{0r}/(R_0+R_{0r})$

Obs : Note que o ganho só é afetado pela impedância de entrada do circuito de realimentação, R_{0r}. Lembre-se que na conexão série, $R_{0r} << R_0$, e na conexão em paralelo, $R_{0r} >> R_0$.