

Relatório - Projeto 2ADC: Espelhos de Corrente

- Disciplina: TE332 – Laboratório de Eletrônica Analógica II
- Professor: Bernardo Leite
- Alunos: Henrique Meurer Zardo e Lucas Tavares Rockembach
- Semestre: 2025-1

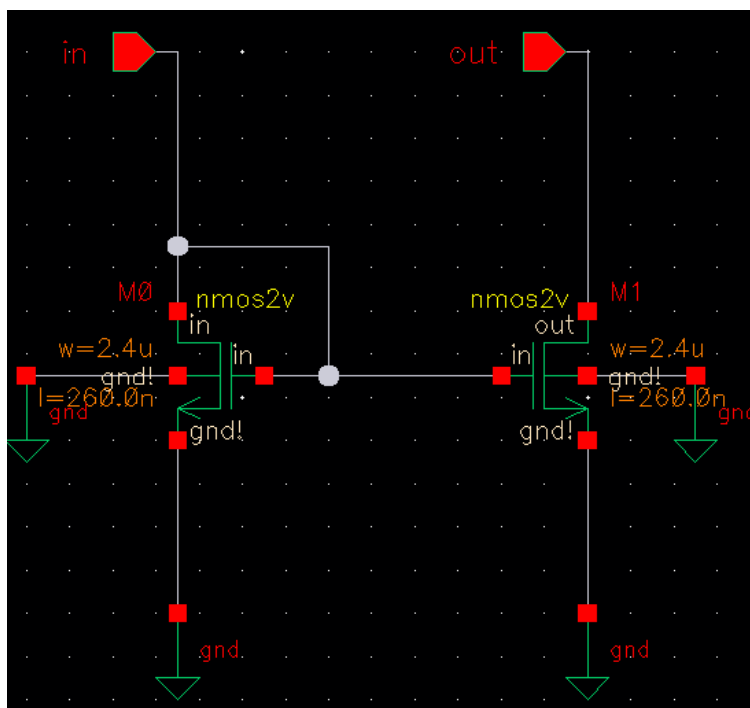
Observações iniciais: Todos os esquemáticos e simulações foram realizados com as seguintes condições:

- L (transistores) = 260 nm
- Temperatura de simulação = 58 °C
- Corrente de referência: 30 μA

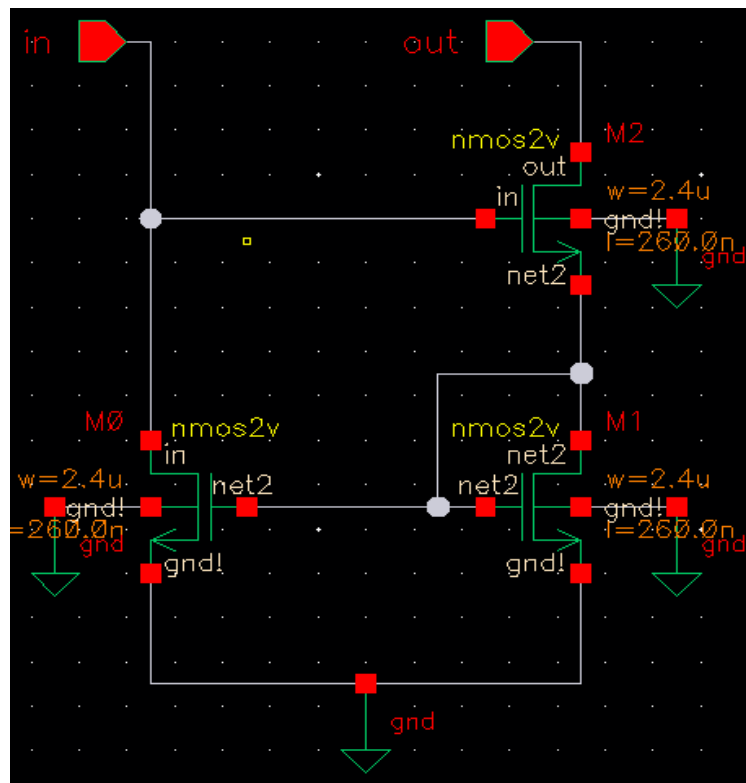
2.1 Espelhos de Corrente NMOS

a) Esquemáticos e símbolos

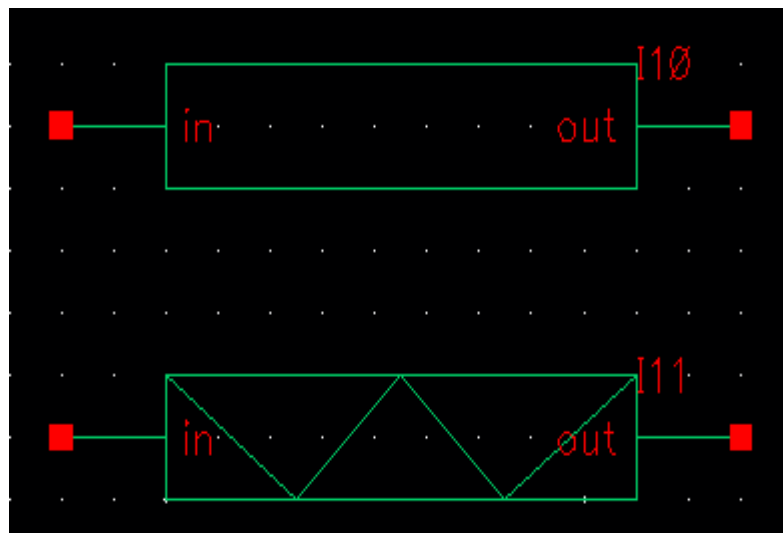
Foram projetados dois espelhos de corrente com transistores NMOS utilizando largura $W = 2,4 \mu\text{m}$ e comprimento $L = 260 \text{ nm}$.



Primeiramente foi confeccionado o [Espelho NMOS Simples](#), composto por dois transistores conectados de acordo com o circuito disponibilizado na seção de teoria da UFPR virtual.



Após isso, foi montado [Espelho de Corrente Wilson NMOS](#), incorporando três transistores de acordo com o modelo teórico para melhorar a precisão e estabilidade da corrente de saída.

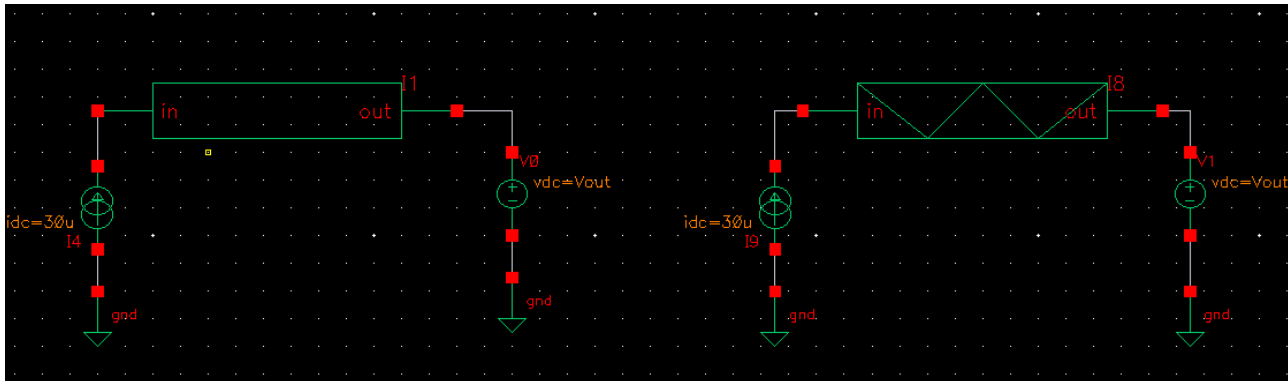


Então, os símbolos utilizados para representa-los foram:

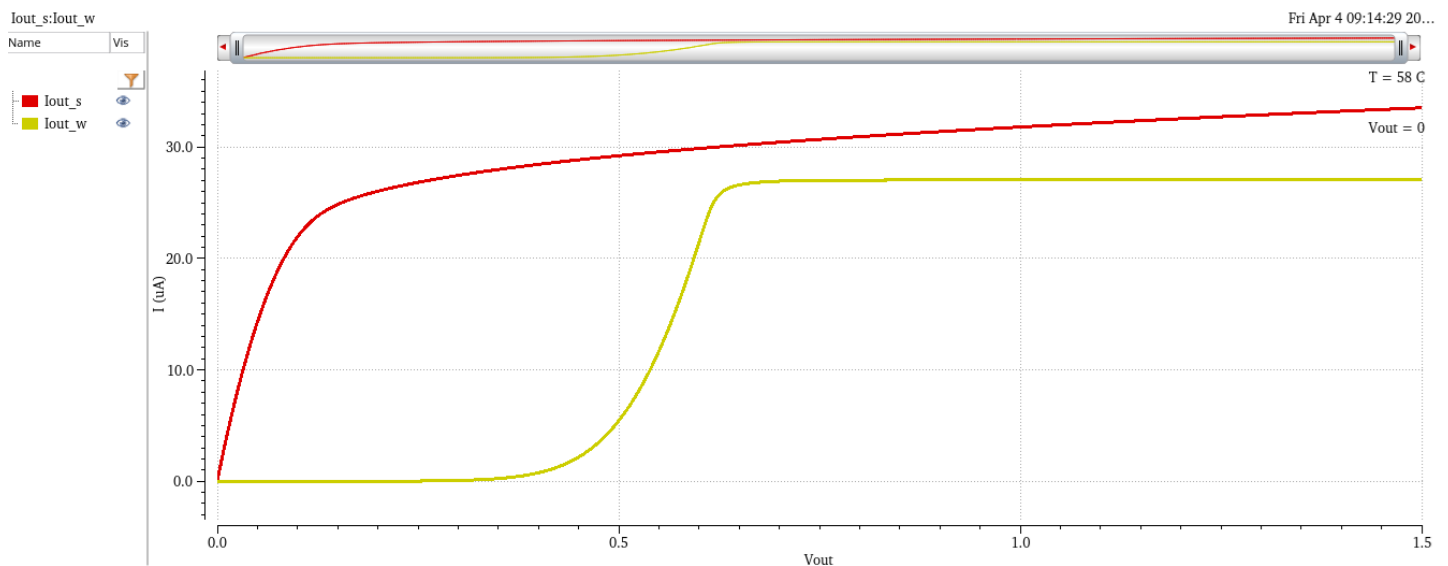
- Um retângulo para o espelho NMOS simples
- Um retângulo com a letra 'W' para o espelho Wilson.

b) Teste com fonte de corrente

No esquemático, uma fonte de corrente ideal de $30\text{ }\mu\text{A}$ foi aplicada na entrada de ambos os espelhos. Na saída, conectou-se uma fonte de tensão variando de 0 a V_{dd} .



Visando comparar o comportamento dos dois tipos diferentes de espelhos, o gráfico abaixo relaciona a corrente de saída de cada um com a tensão de entrada variável:



c) Faixa de operação

De acordo com os resultados de simulação, o espelho de corrente Wilson apresenta uma faixa de operação maior, mantendo I_{out} aproximadamente constante mesmo com

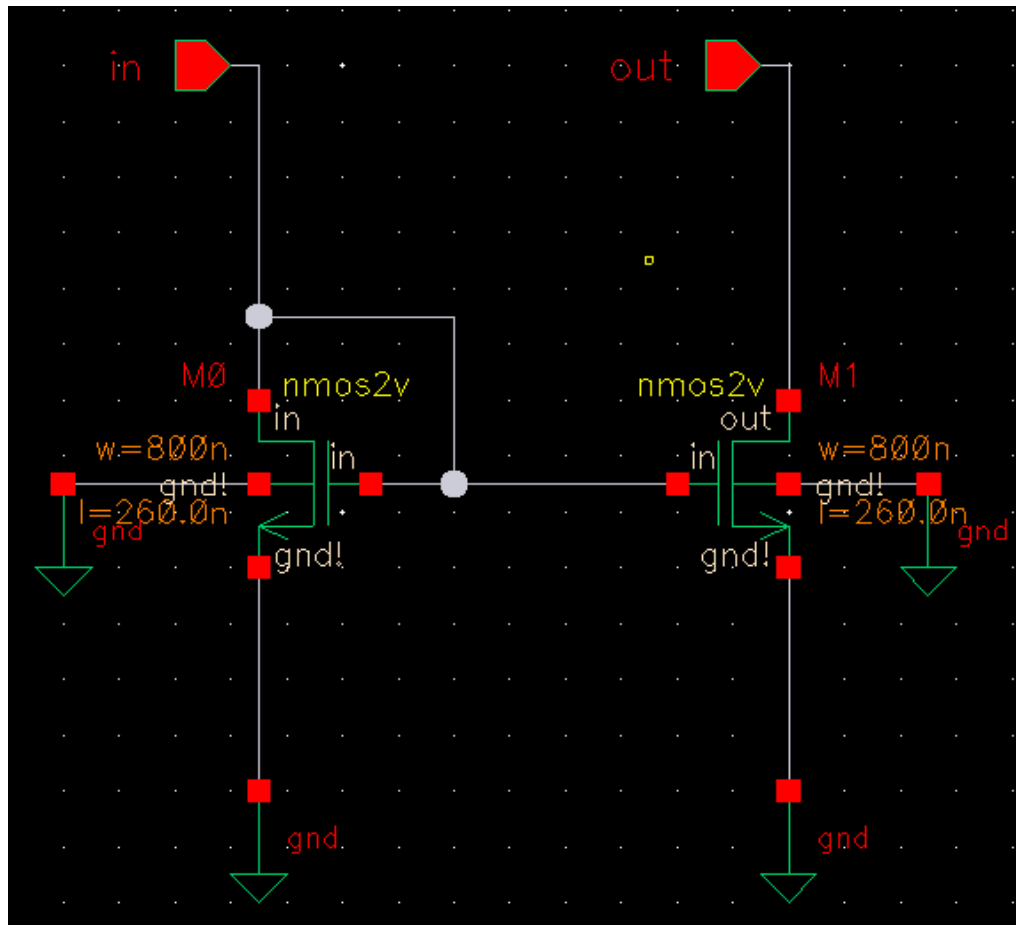
variações maiores em V_{out} . Isso evidencia sua maior capacidade de operar como fonte de corrente em diferentes condições.

d) Resistência de saída

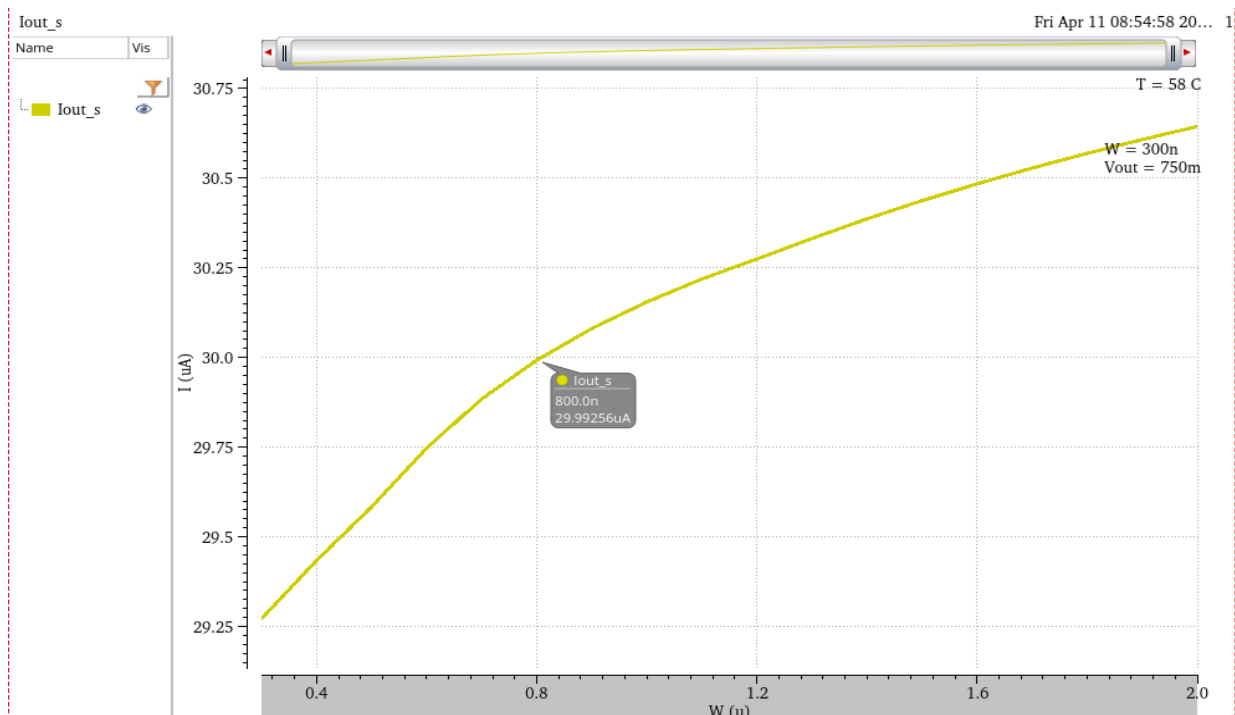
O espelho de corrente de Wilson também apresentou melhor resistência de saída, com a corrente se mantendo praticamente constante ao longo de V_{out} . Já o espelho simples apresentou uma variação maior da corrente com o aumento da tensão de saída.

e) Dimensionamento – Espelho NMOS Simples

Segue abaixo o esquemático com o dimensionamento adequado para obter a corrente de saída igual a corrente de entrada, quando $V_{out} = V_{dd}$:

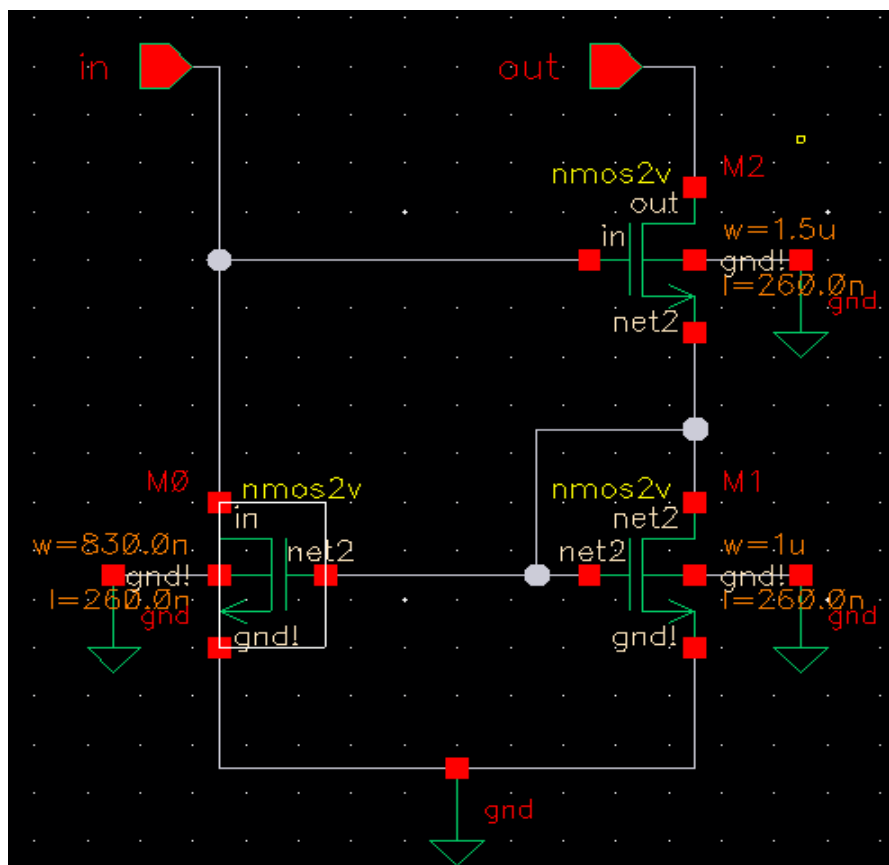


Para garantir $I_{out} = I_{in}$ ($30 \mu A$) com $V_{out} = V_{dd}$, foram simuladas larguras variáveis para os transistores. A melhor largura encontrada foi **$W = 800 \text{ nm}$** , como é possível visualizar no gráfico abaixo:

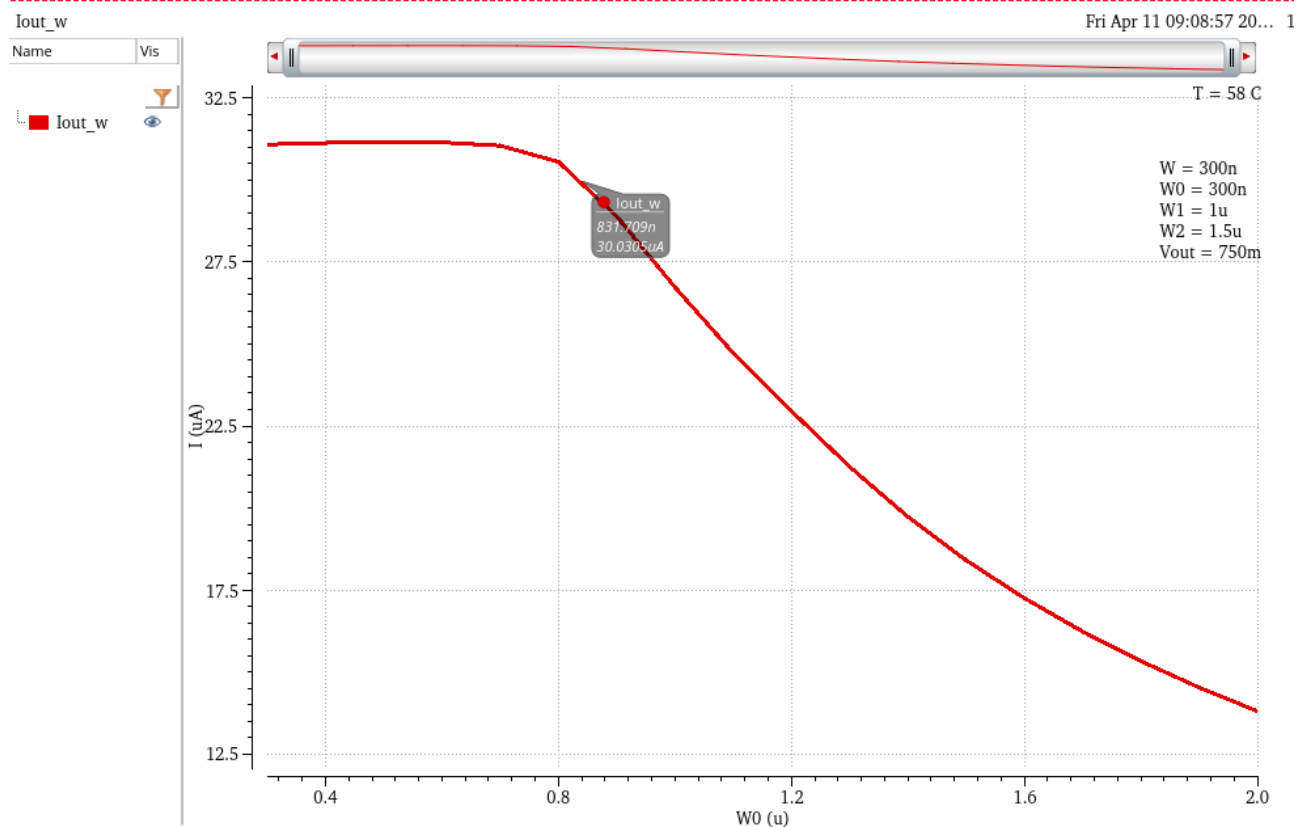


f) Dimensionamento – Espelho Wilson NMOS

Em seguida, espelho NMOS Wilson foi submetido a um processo de dimensionamento similar. Assim, o esquemático a seguir apresenta os valores das larguras dos transistores que mais foram adequados:

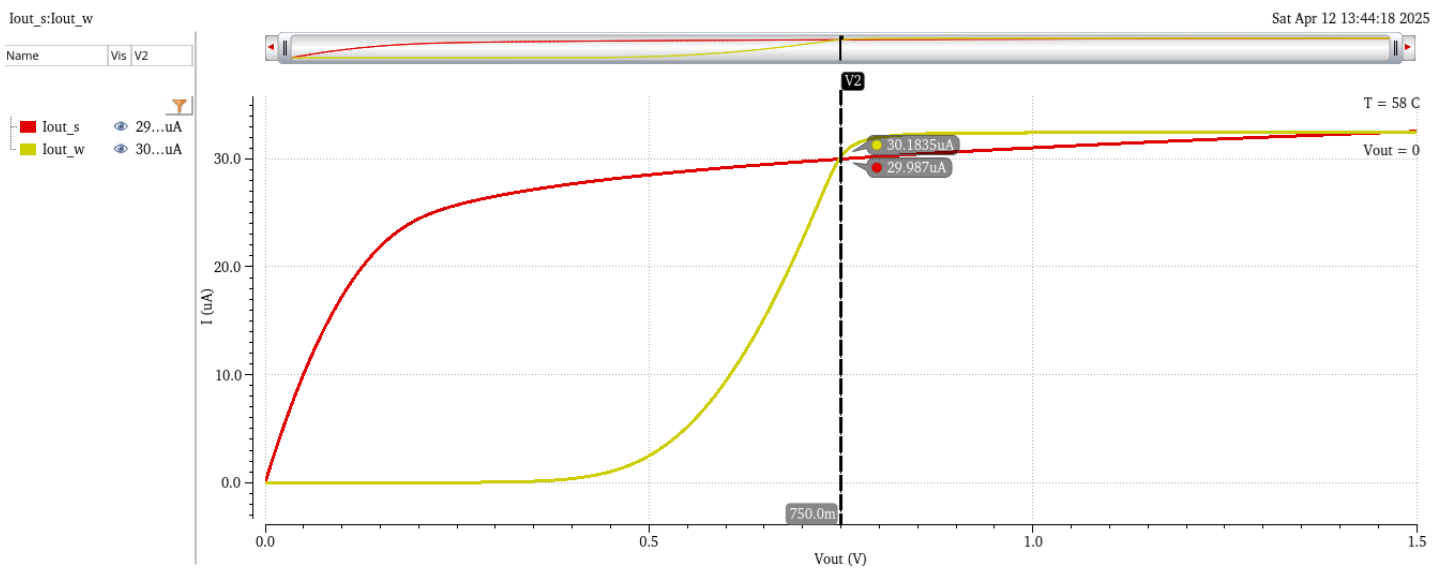


Seguindo metodologia similar, foram definidos valores arbitrários para dois transistores ($1,5\ \mu\text{m}$ e $1\ \mu\text{m}$), enquanto a largura do terceiro foi determinada graficamente. A largura final escolhida foi $W = 830\ \text{nm}$, conforme arredondamento permitido pela tecnologia.



g) Gráfico comparativo

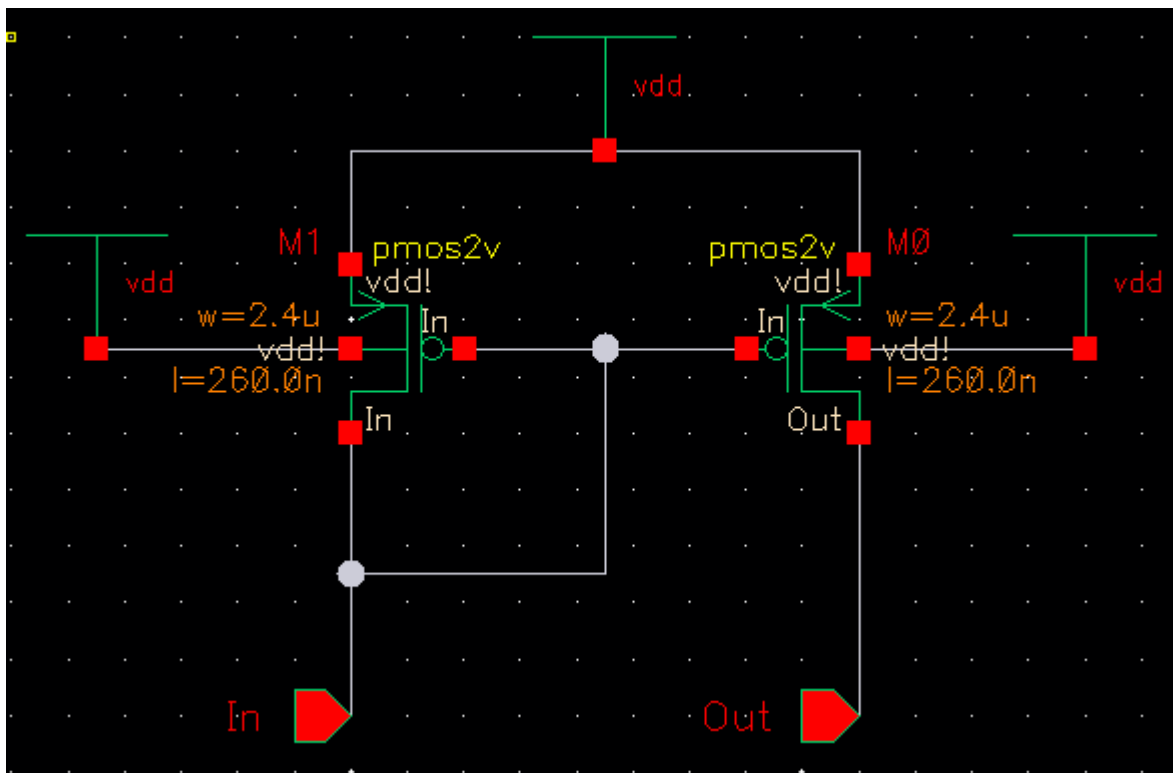
Após o redimensionamento, foi traçado o gráfico comparando as correntes de saída em função de V_{out} . Nota-se que as curvas se cruzam em $V_{out} = V_{dd}/2$, com diferenças desprezíveis, validando os dimensionamentos.



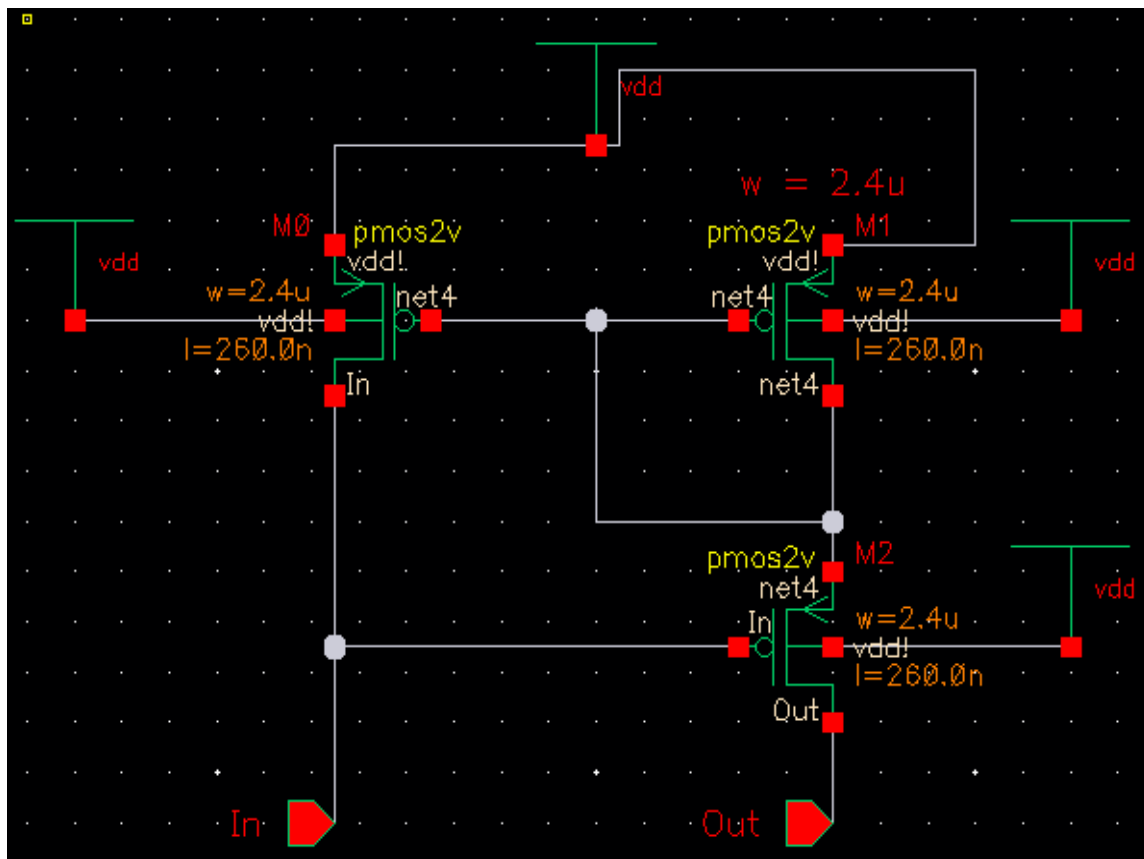
2.2 Espelhos de Corrente PMOS

a) Esquemáticos e símbolos

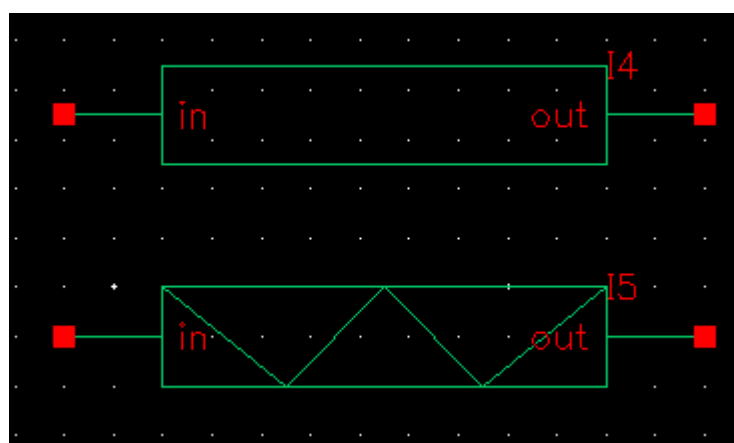
Foram projetados dois espelhos de corrente utilizando transistores PMOS com largura $W = 2,4 \mu\text{m}$, e largura $L = 260 \text{ nm}$.



Primeiramente foi confeccionado o [Espelho PMOS Simples](#), composto por dois transistores conectados de acordo com o circuito disponibilizado na seção de teoria da UFPR virtual.



Após isso, foi montado Espelho de Corrente Wilson PMOS, incorporando três transistores de acordo com o modelo teórico para melhorar a precisão e estabilidade da corrente de saída.

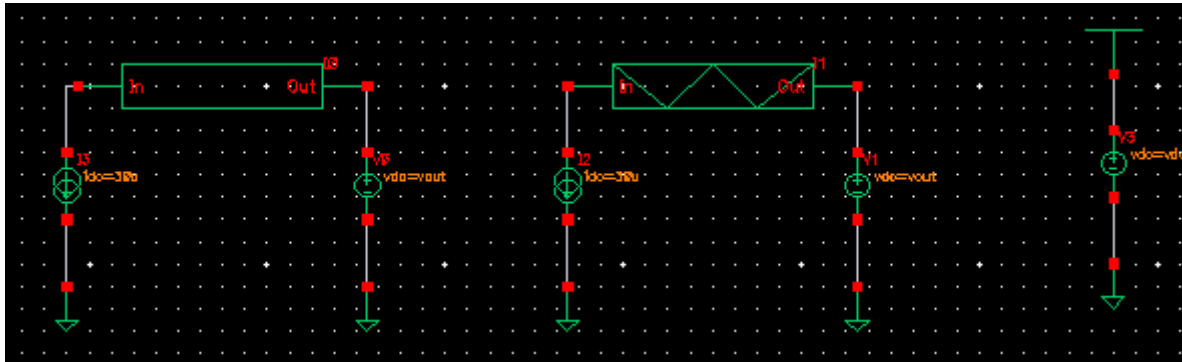


As simbologias utilizadas foram:

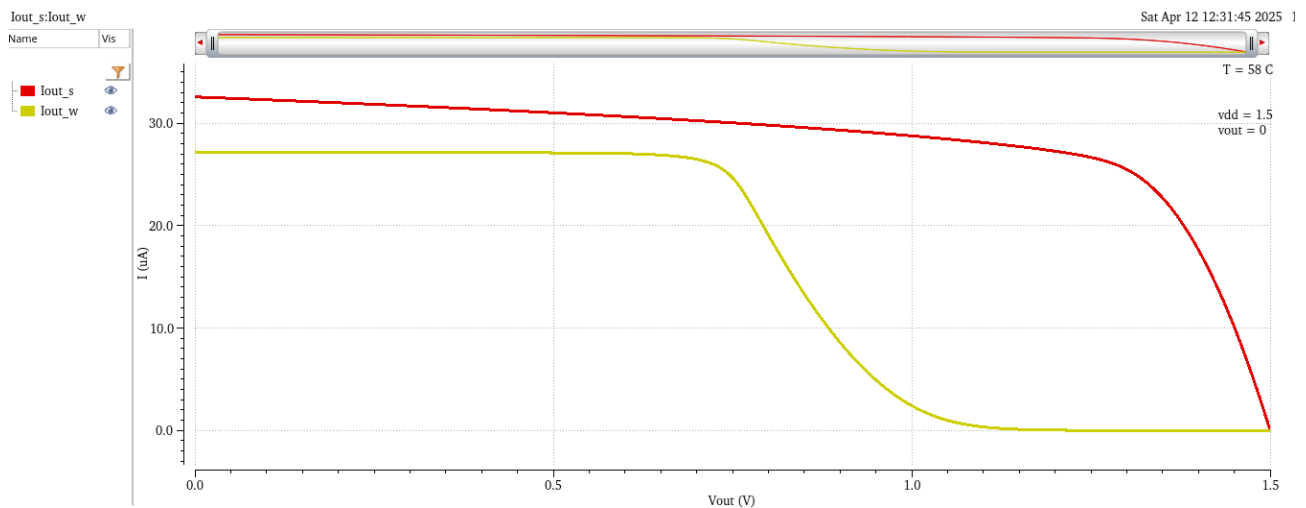
- Espelho PMOS simples: retângulo
- Espelho Wilson: retângulo com a letra “W”

b) Teste com fonte de corrente

Foi aplicada uma fonte de corrente ideal de $30\text{ }\mu\text{A}$ à entrada de cada espelho. A saída foi conectada a uma fonte de tensão contínua variando de 0 a V_{dd} :

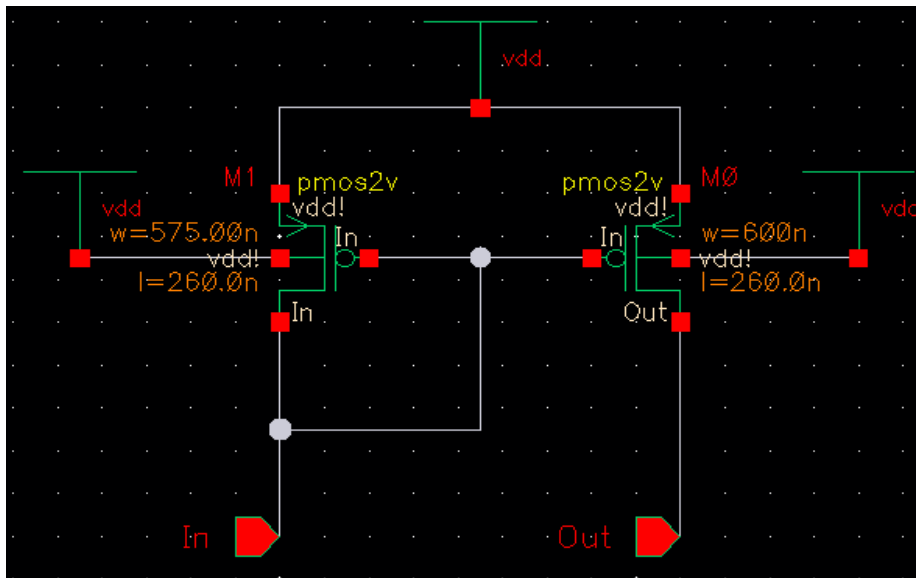


O gráfico abaixo apresenta a corrente de saída em função da tensão de saída para ambos os espelhos:

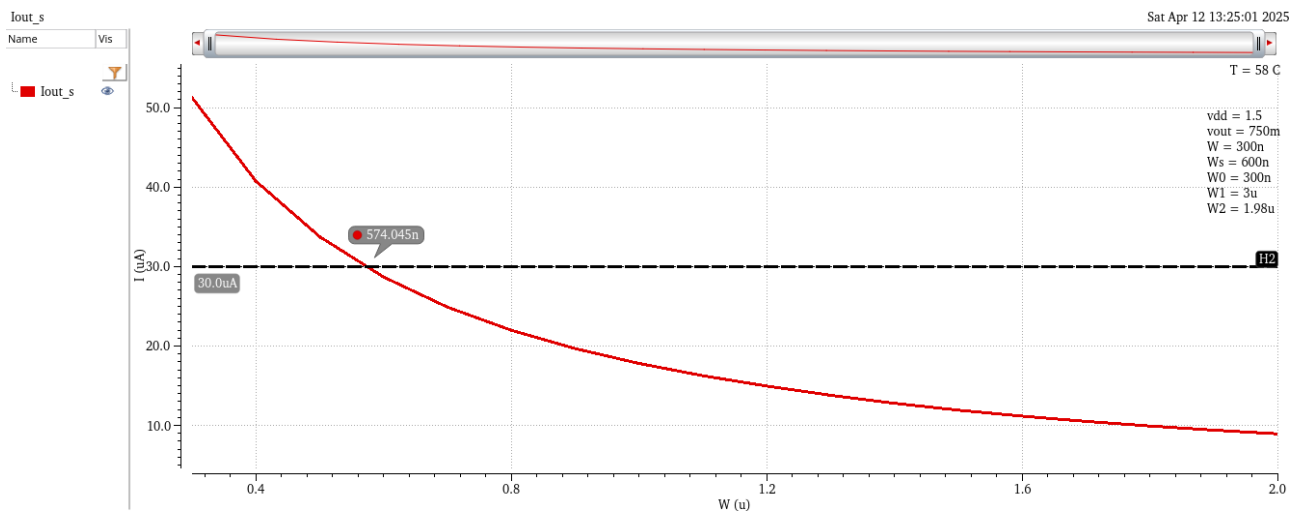


c) Dimensionamento e simulação

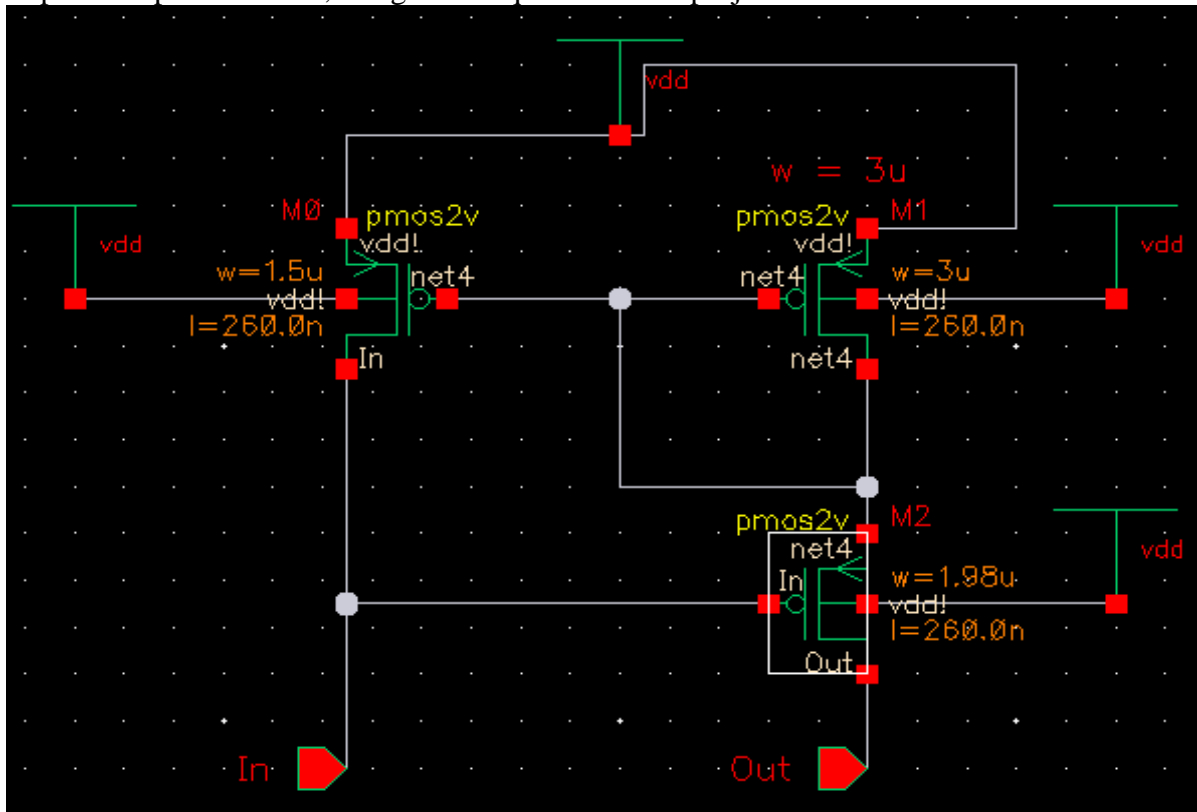
No espelho simples, foram utilizadas no esquemático $W = 575\text{ nm}$ para a largura do transistor da esquerda e $W = 600\text{ nm}$ para o da direita, permitindo a obtenção de uma corrente de saída igual a corrente de entrada, para $V_{out} = V_{dd}/2$.



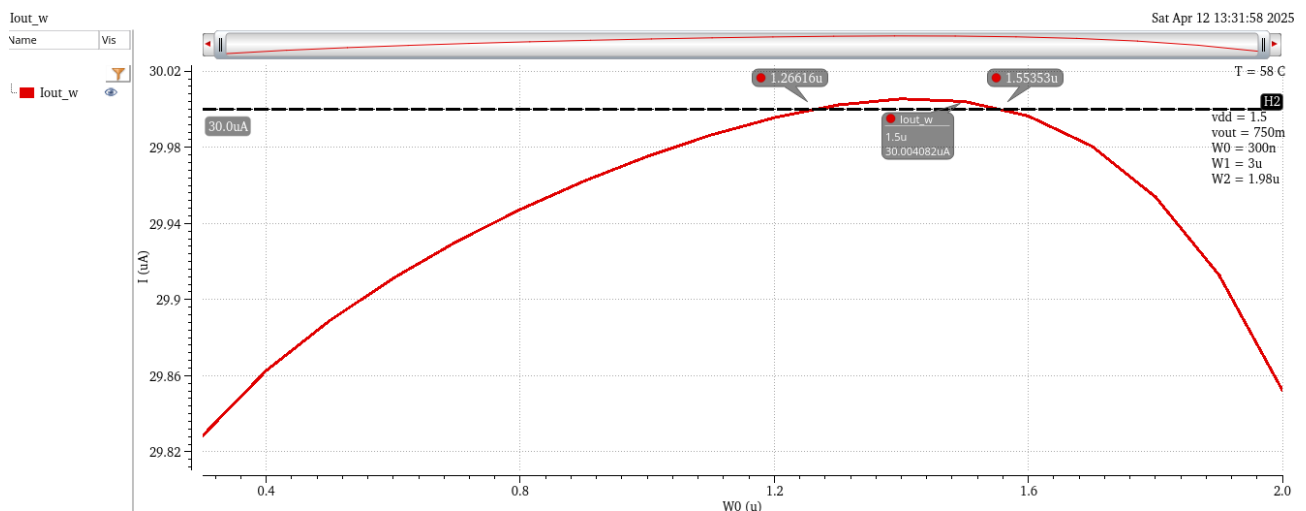
A obtenção das larguras se deu da seguinte maneira: W do MOSFET da direita foi fixado arbitrariamente em 600 nm, e então, a corrente de saída foi plotada em função de W variável do MOSFET da esquerda, dessa forma o valor de largura correspondente para $I_{out} = I_{in}$ dentro da margem de erro foi 574.045 nm (como mostrado no gráfico abaixo), que foi arredondado para 575 nm, visando se adequar às especificações permitidas pela tecnologia.



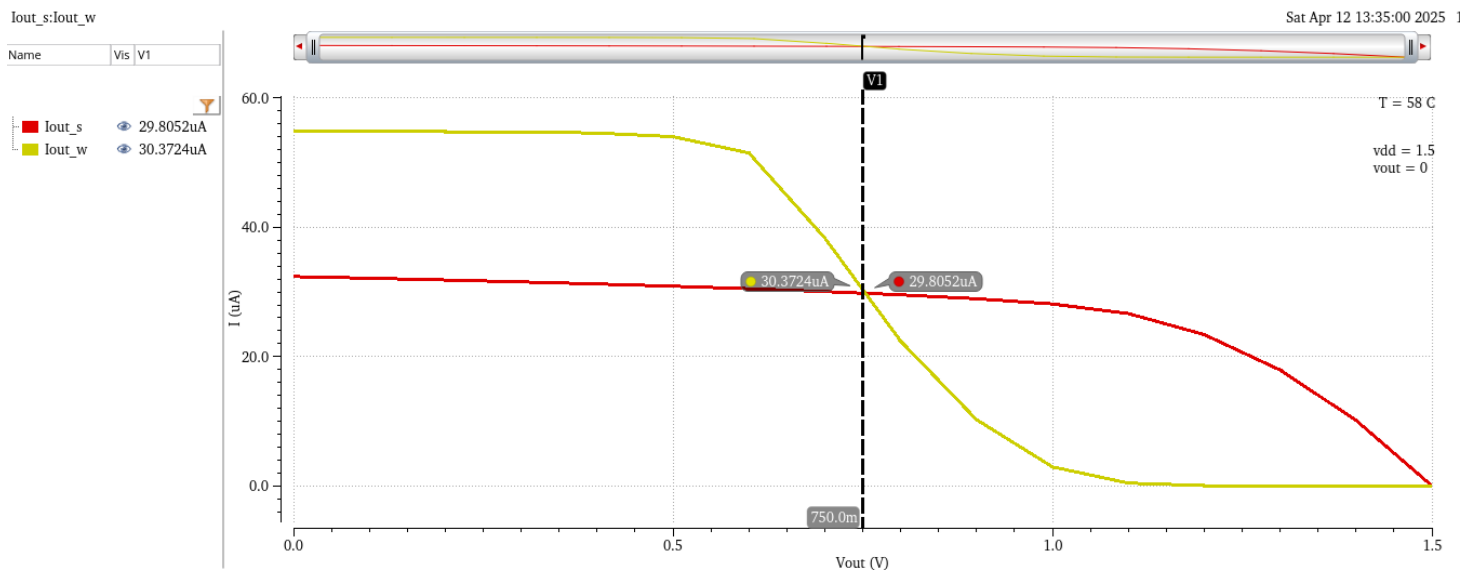
Já para o espelho Wilson, o seguinte esquemático foi projetado:



Para este modelo, os dois transistores da direita foram fixados com larguras de $3\text{ }\mu\text{m}$ e $1,98\text{ }\mu\text{m}$. Então, a largura do terceiro transistor foi ajustada para obter $I_{out} = I_{in}$, e o valor mais adequado foi **$W = 1,5\text{ }\mu\text{m}$** .

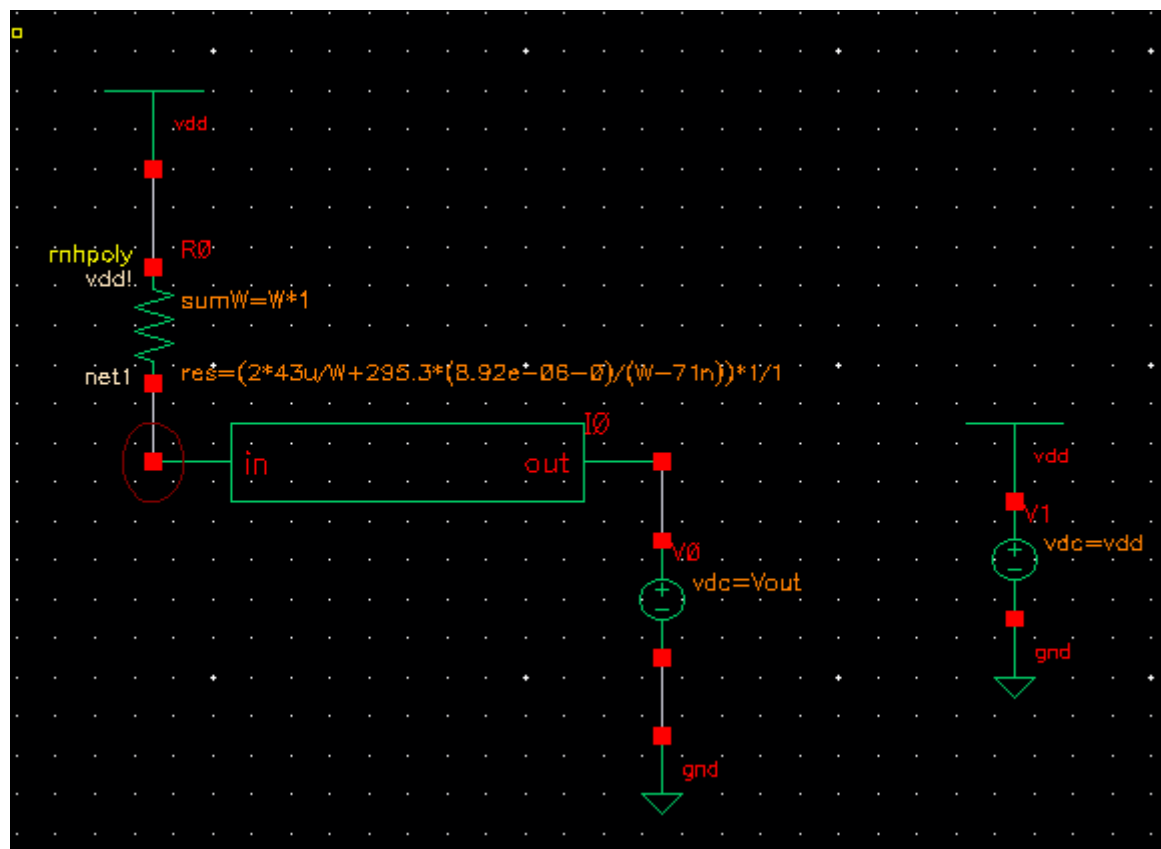


Foi gerado um gráfico final das correntes de saída em função de Vout para os espelhos redimensionados. As curvas se cruzam em $V_{dd}/2$, indicando boa correspondência entre I_{out} e I_{in} :

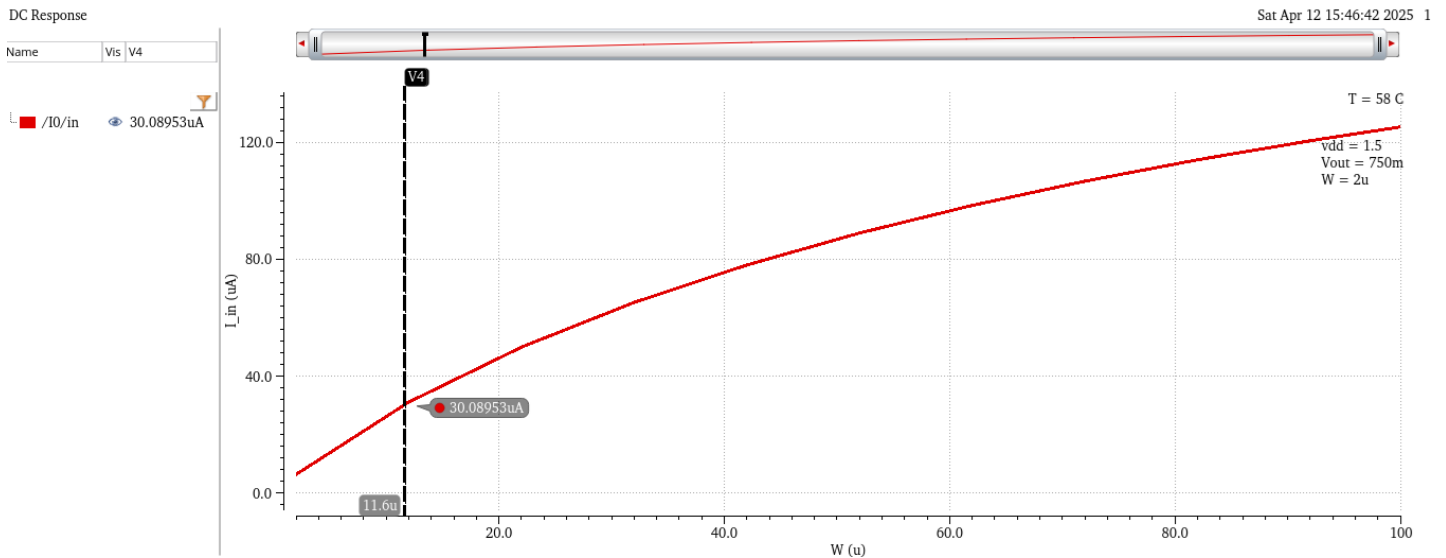


2.3) Corrente de referência

Foi criado um esquemático com resistor rnhpoly entre Vdd e a entrada do espelho simples NMOS com dimensões definidas no item 2.1 (e).



Utilizando $L = 1$ mm fixo, variou-se W do resistor até atingir $I_{in} = 30 \mu A$ com $V_{out} = V_{dd}$:



Dessa forma, o valor ideal encontrado foi **W = 11,6 μm** , correspondente a **R = 25,6211 k Ω** .
Então, esse resultado foi aplicado nas propriedades do resistor:

Edit Object Properties@galileu

Cell Name: rnhpoly value

View Name: symbol off

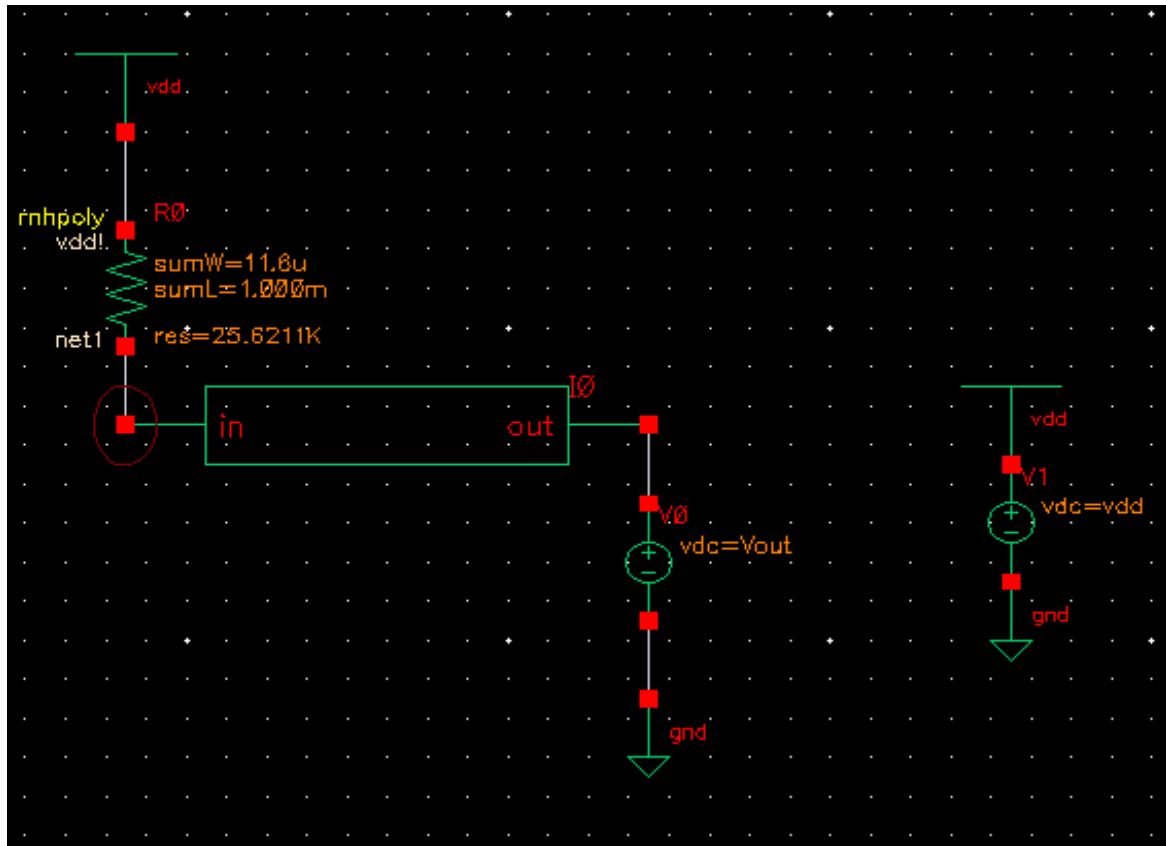
Instance Name: R0 off

Add Delete Modify

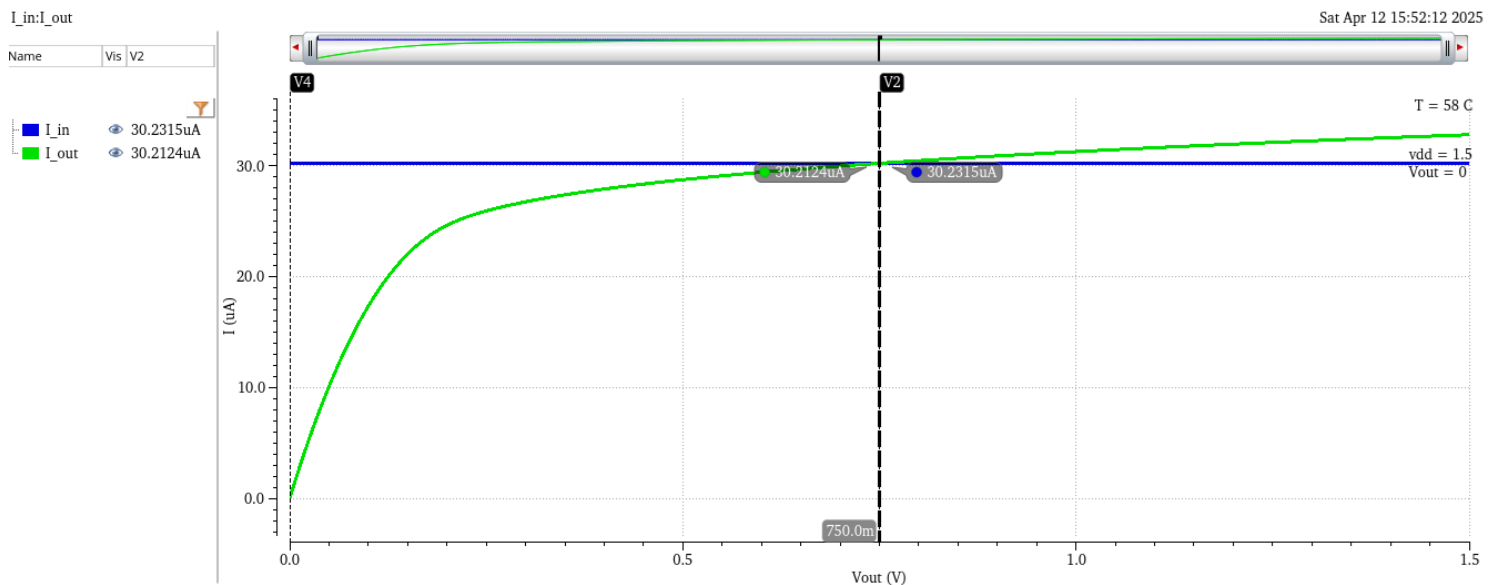
CDF Parameter	Value	Display
Model name	rnpo1rpo	off
description	resistor without silicide	off
Total resistance(ohms)	25.6211K Ohms	off
Total width(M)	11.6u M	off
Segment width(M)	11.6u M	off
Total length(M)	1.000m M	off
Segment length(M)	1.000m M	off
Multiplier	1	off
Rs(ohms/square)	295.3	off
Resistor connection	<input checked="" type="radio"/> Series <input type="radio"/> Parallel	off
Number of segments	1	off
Segment spacing(M)	250.0n M	off
Cont columns	1	off
With Mismatch Effect	<input checked="" type="checkbox"/>	off
Hard_constrain	<input checked="" type="checkbox"/>	off
Res_update_method	I_&_w	off

OK Cancel Apply Defaults Previous Next Help

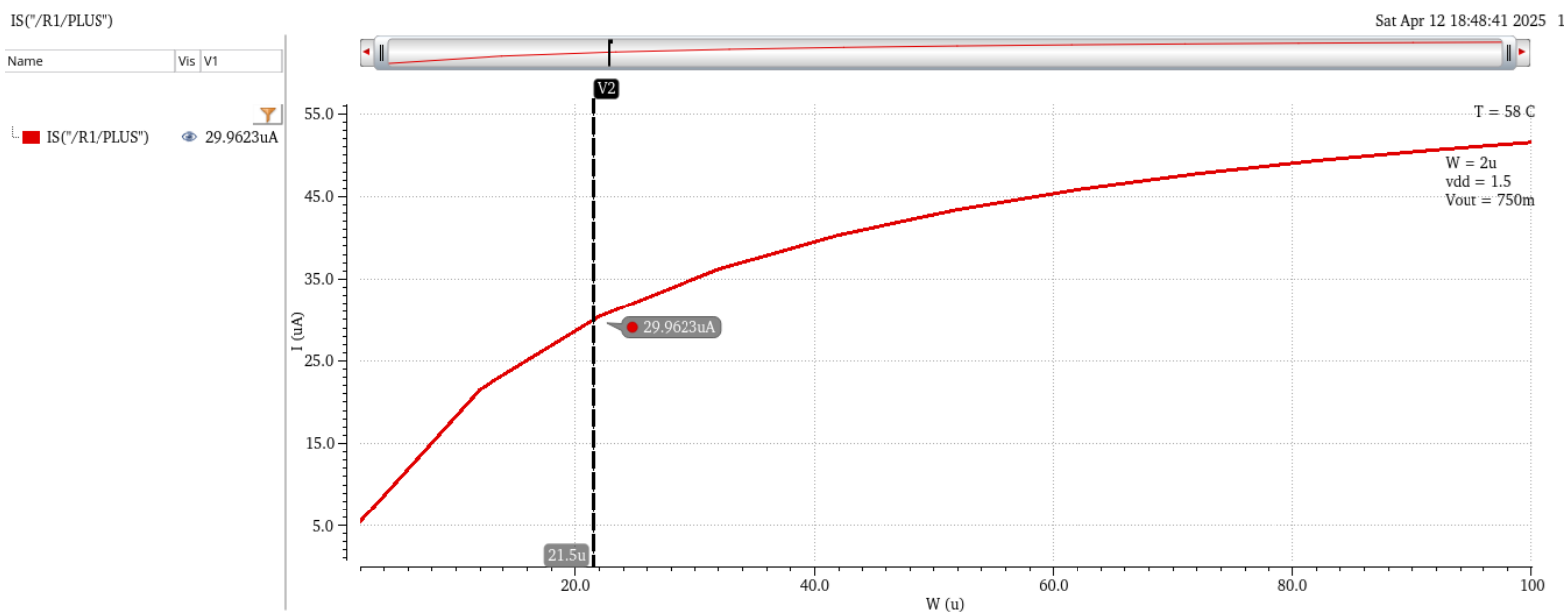
Assim, o esquemático pós-dimensionamento, ficou dessa maneira:



A simulação final mostrou que as curvas de corrente de entrada e saída se igualam em $V_{dd}/2$:



Analogamente, foi criado um esquemático com resistor entre terra e a entrada do espelho PMOS simples, com dimensões obtidas no item 2.2 (c). Em seguida, fixando $L = 1$ mm, a corrente de entrada foi graficada em função da largura:



Assim, encontrou-se o valor ideal de $W = 21,5 \mu\text{m}$, resultando em $R = 13,7844 \text{ k}\Omega$. Então, essas dimensões foram aplicadas nas propriedades do resistor:

Edit Object Properties@galileu

Library Name: tsmc18

Cell Name: rnhpoly

View Name: symbol1

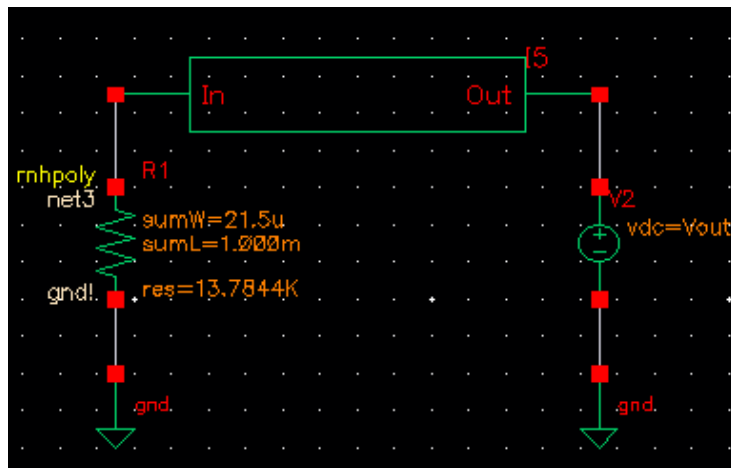
Instance Name: R1

Add Delete Modify

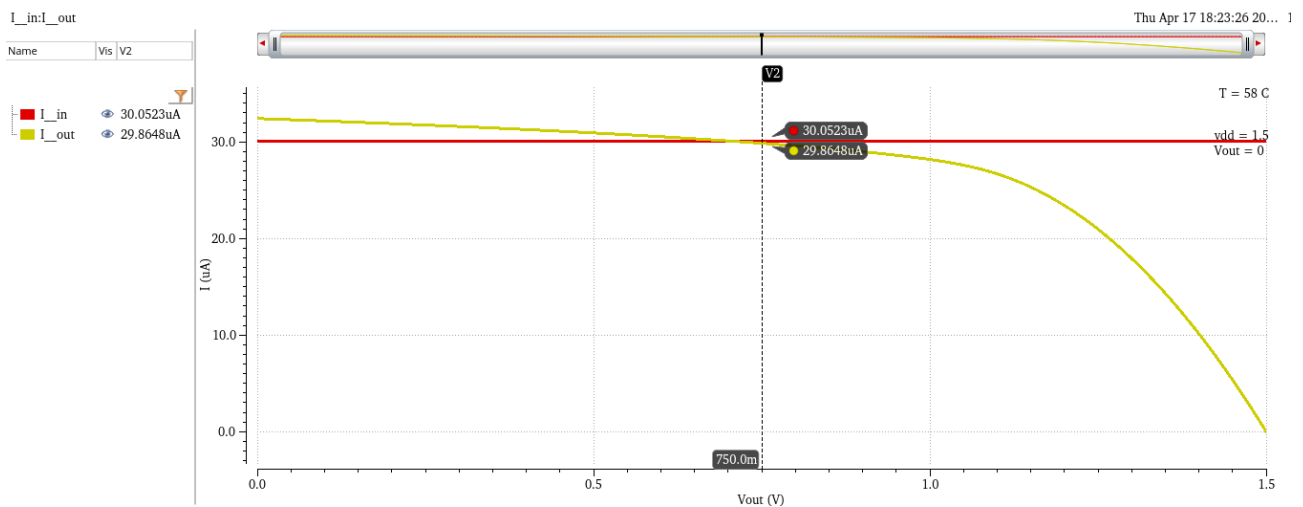
CDF Parameter	Value	Display
Model name	rnpo1rpo	off
description	resistor without silicide	off
Total resistance(ohms)	13.7844K Ohms	off
Total width(M)	21.5u M	off
Segment width(M)	21.5u M	off
Total length(M)	1.000m M	off
Segment length(M)	1.000m M	off
Multiplier	1	off
Rs(ohms/square)	295.3	off
Resistor connection	<input checked="" type="radio"/> Series <input type="radio"/> Parallel	off
Number of segments	1	off
Segment spacing(M)	250.0n M	off
Cont columns	1	off
With Mismatch Effect	<input checked="" type="checkbox"/>	off
Hard_constraint	<input checked="" type="checkbox"/>	off

OK Cancel Apply Defaults Previous Next Help

Portanto, assim ficou o esquemático devidamente ajustado:



Por fim, as curvas simuladas demonstraram coincidência entre correntes de entrada e saída em $V_{dd}/2$:



•Conclusão:

O projeto permitiu comparar o desempenho de diferentes topologias de espelhos de corrente NMOS e PMOS, com destaque para a maior precisão e estabilidade dos espelhos de Wilson. O processo de dimensionamento e substituição da fonte de corrente por uma referência com resistor rnhpoly também se mostrou eficaz dentro da margem de 0,5%. Todas as simulações foram realizadas respeitando os parâmetros tecnológicos estabelecidos.