

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

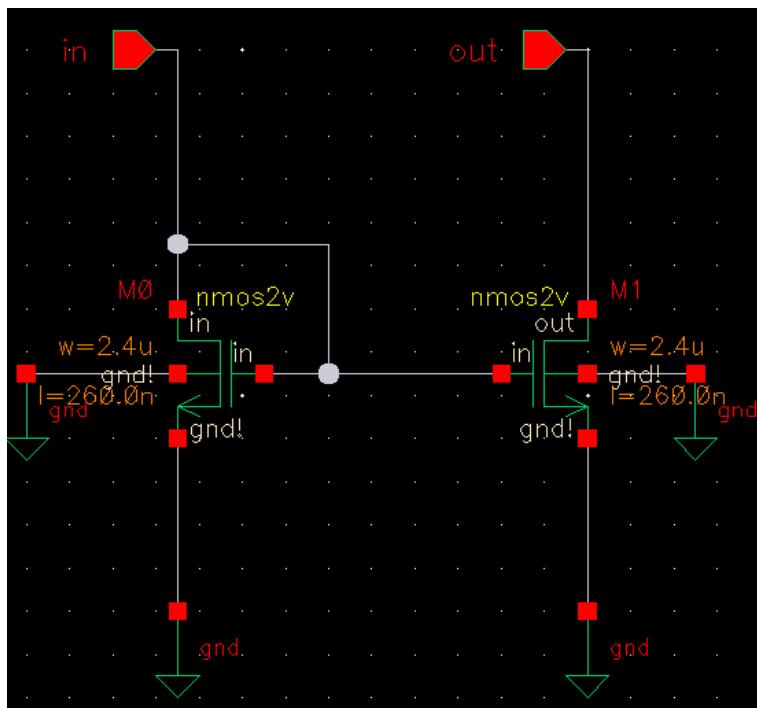
Observações iniciais: Todos os esquemáticos e simulações foram realizados com as seguintes condições:

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

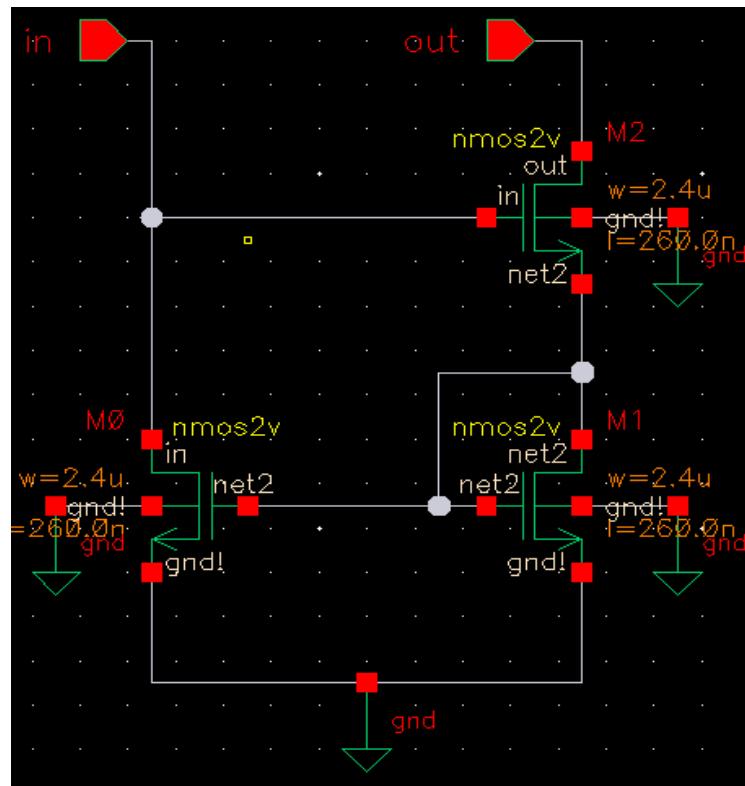
2.1 Espelhos de Corrente NMOS

a) Esquemáticos e símbolos

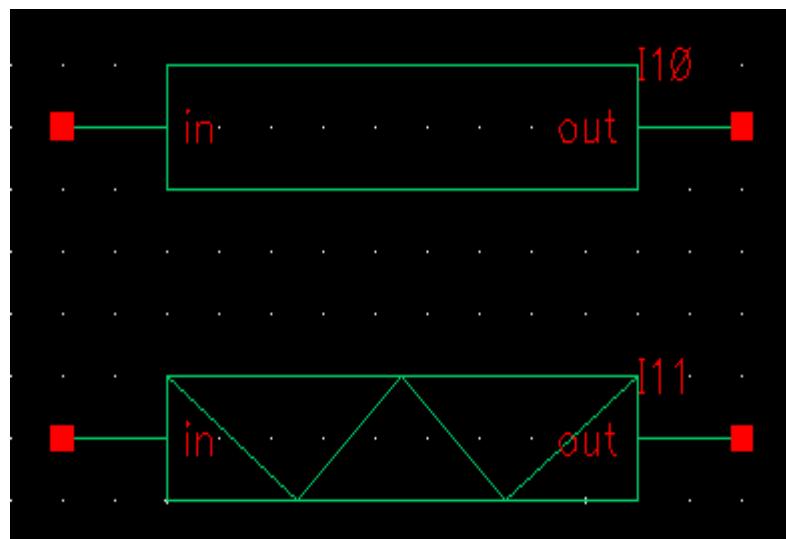
Foram projetados dois espelhos de corrente com transistores NMOS utilizando largura W = 2,4 µm e comprimento L = 260 nm.



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.

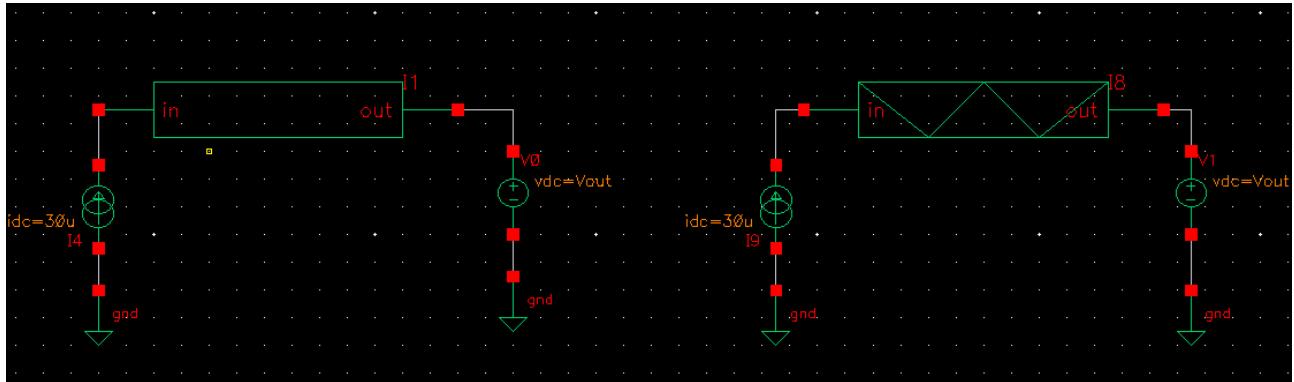


Então, os símbolos utilizados para representá-los foram:

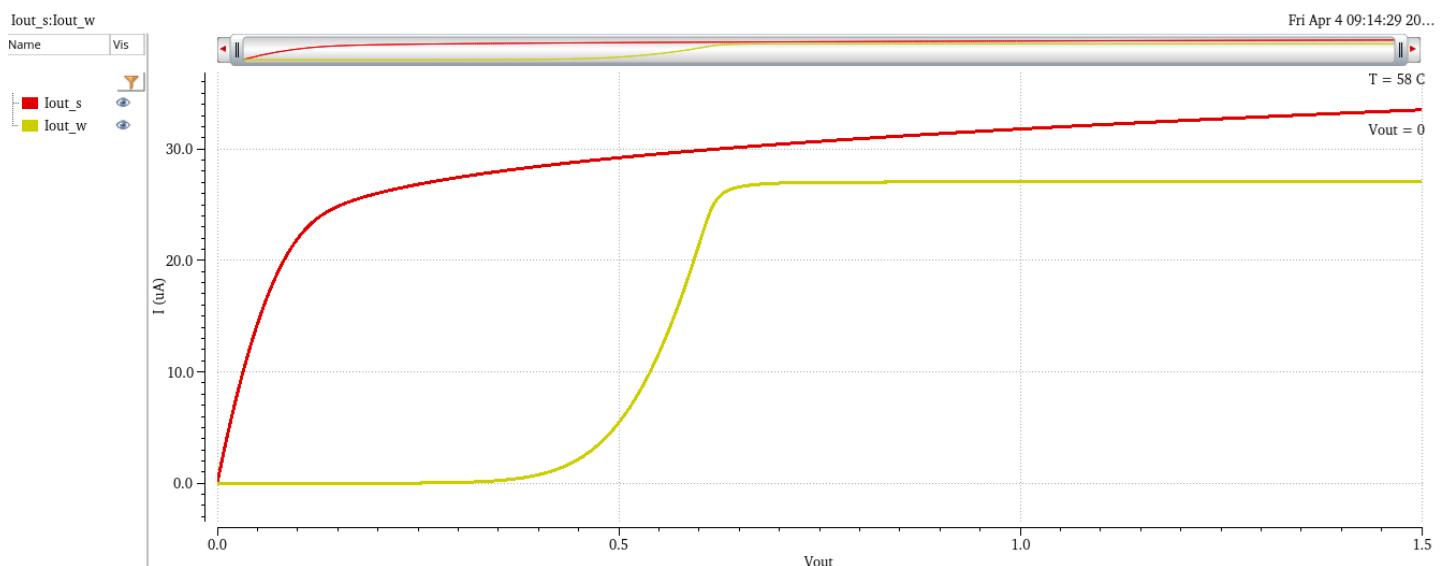
- Um retângulo para o espelho NMOS simples
- Um retângulo com a letra 'W' para o espelho Wilson.

b) Teste com fonte de corrente

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



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 Iout aproximadamente constante mesmo com

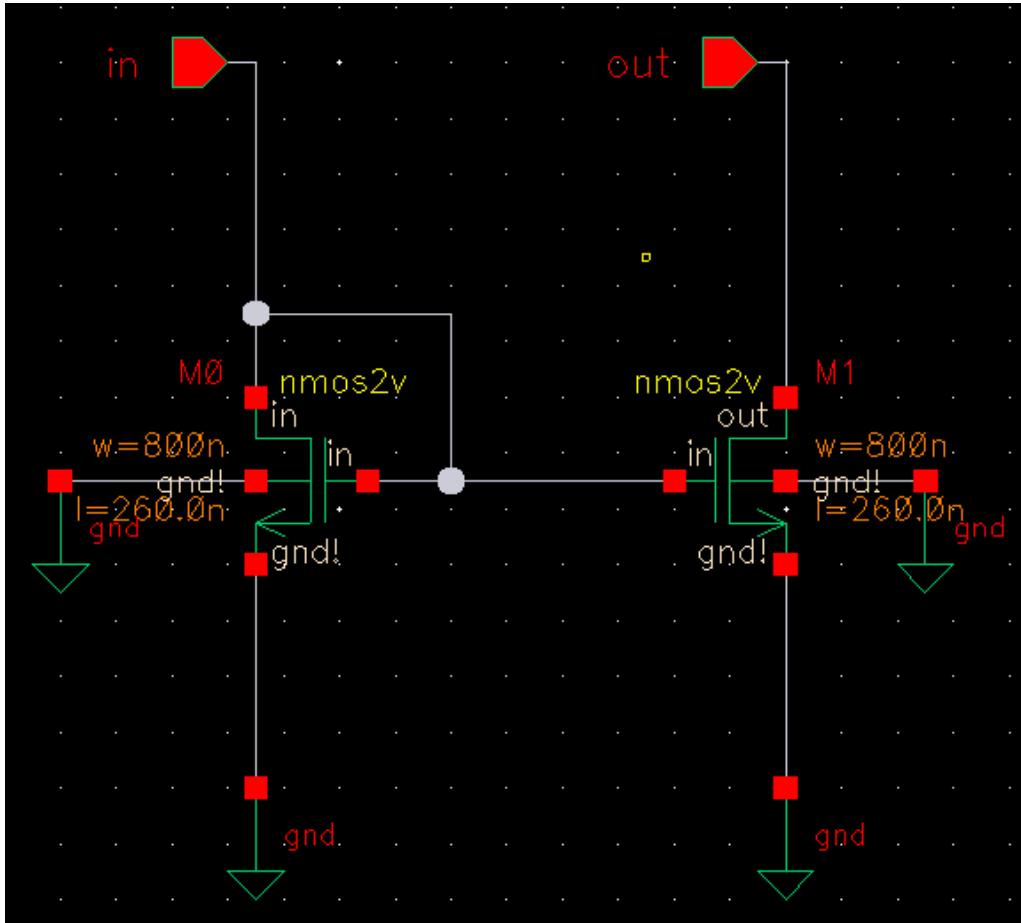
variações maiores em Vout. Isso evidencia sua maior capacidade de operar como fonte de corrente em diferentes condições.

d) Resistência de saída

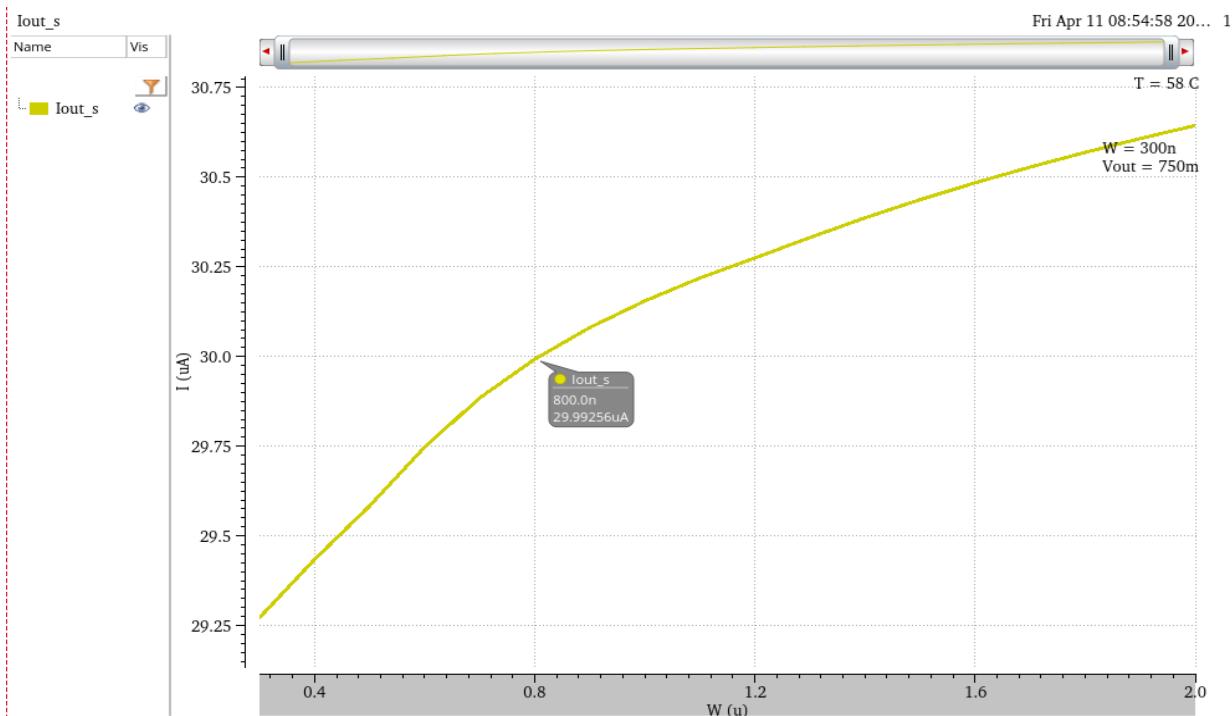
O espelho de corrente de Wilson também apresentou melhor resistência de saída, com a corrente se mantendo praticamente constante ao longo de Vout. Já o espelho simples apresentou uma variação maior da corrente com o aumento da tensão de saída.

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 $V_{out} = V_{dd}$:

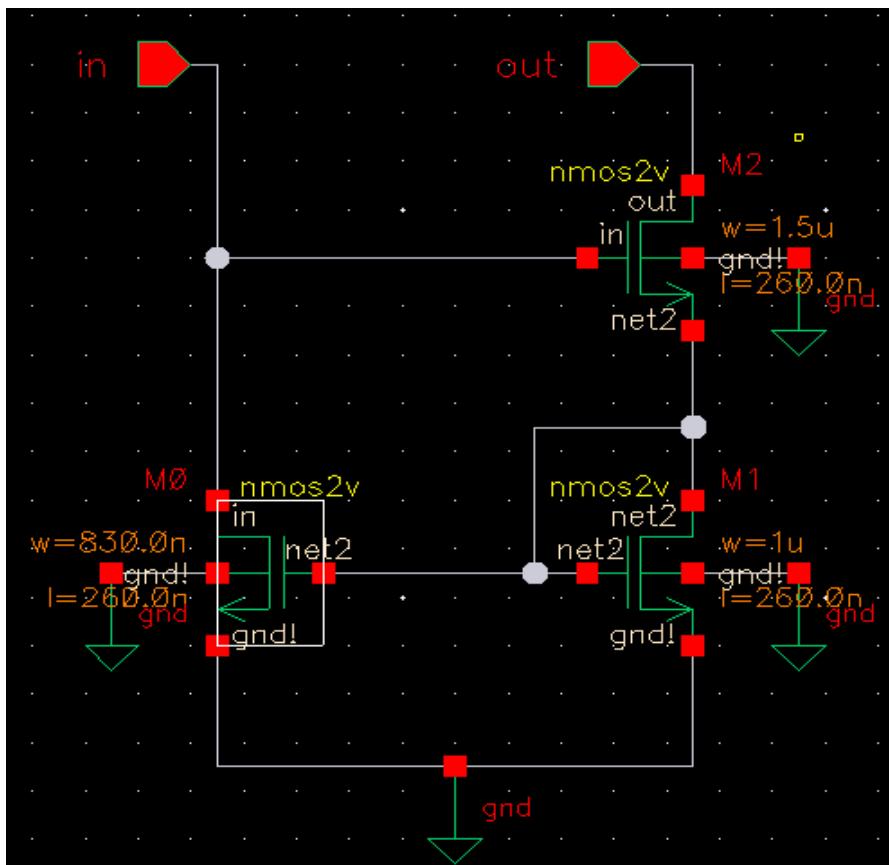


Para garantir $I_{out} = I_{in}$ ($30 \mu\text{A}$) com $V_{out} = V_{dd}$, foram simuladas larguras variáveis para os transistores. A melhor largura encontrada foi **$W = 800 \text{ nm}$** , como é possível visualizar no gráfico abaixo:

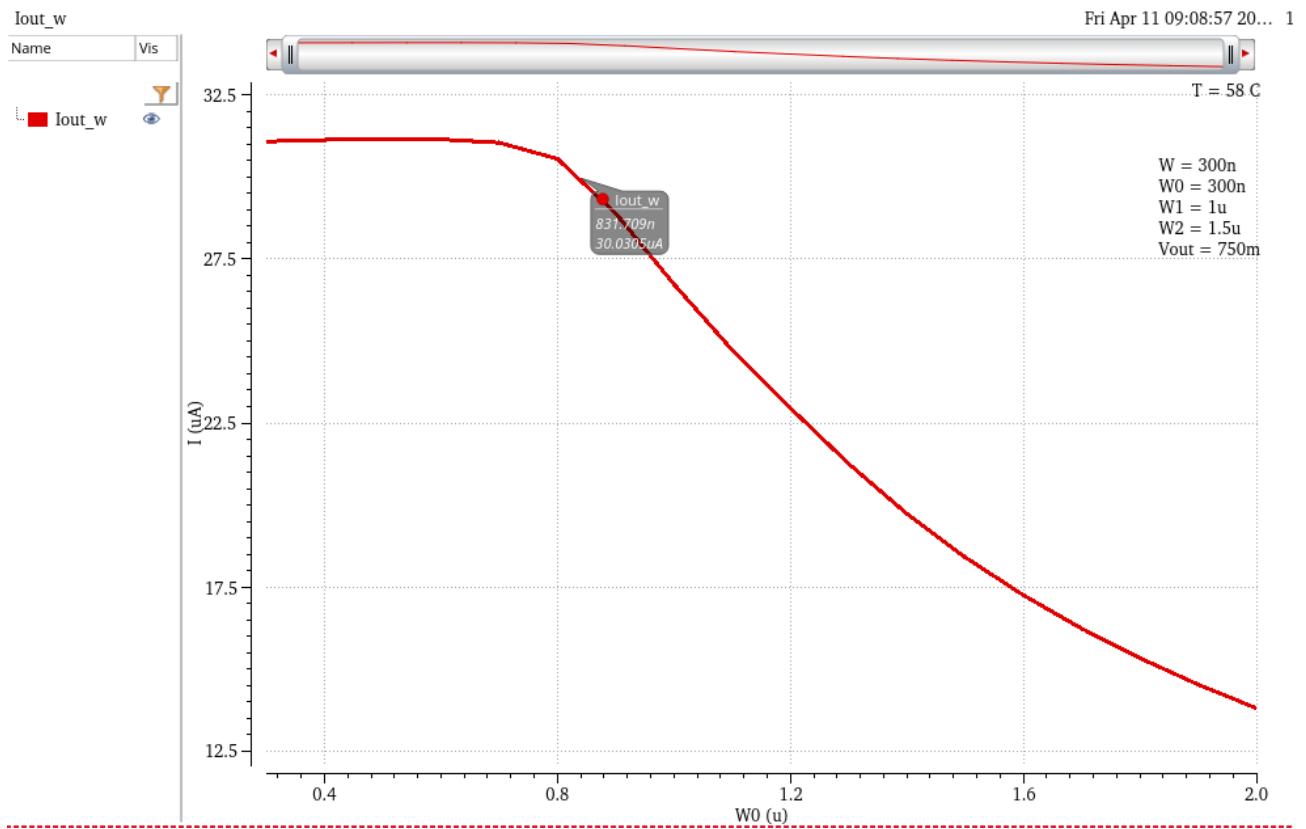


f) Dimensionamento – Espelho Wilson NMOS

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:

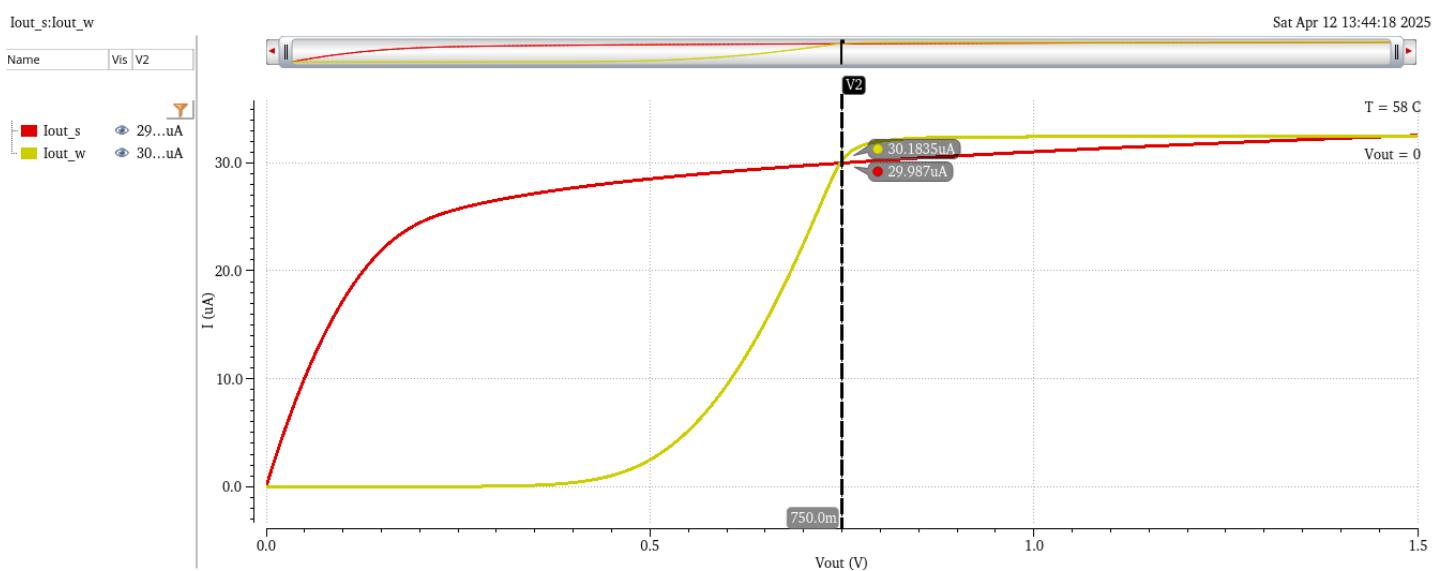


Seguindo metodologia similar, foram definidos valores arbitrários para dois transistores ($1,5 \mu\text{m}$ e $1 \mu\text{m}$), enquanto a largura do terceiro foi determinada graficamente. A largura final escolhida foi $W = 830 \text{ nm}$, conforme arredondamento permitido pela tecnologia.



g) Gráfico comparativo

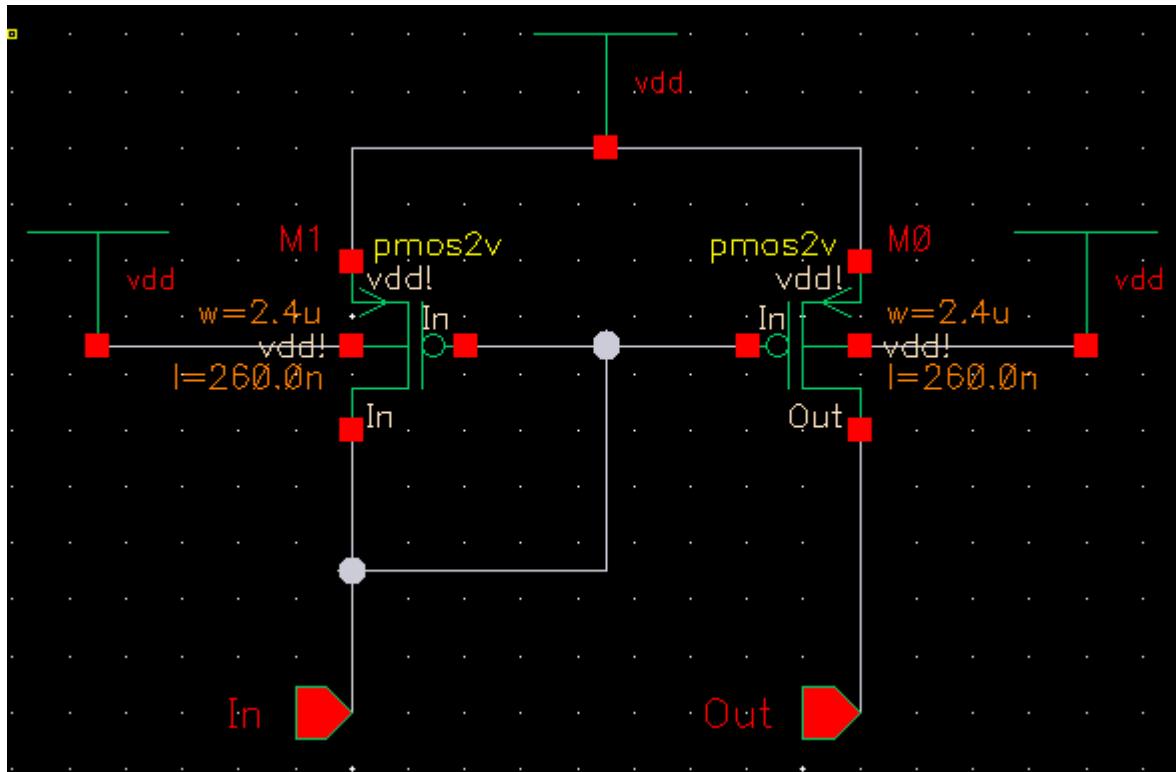
Após o redimensionamento, foi traçado o gráfico comparando as correntes de saída em função de V_{out} . Nota-se que as curvas se cruzam em $V_{\text{out}} = V_{\text{dd}}/2$, com diferenças desprezíveis, validando os dimensionamentos.



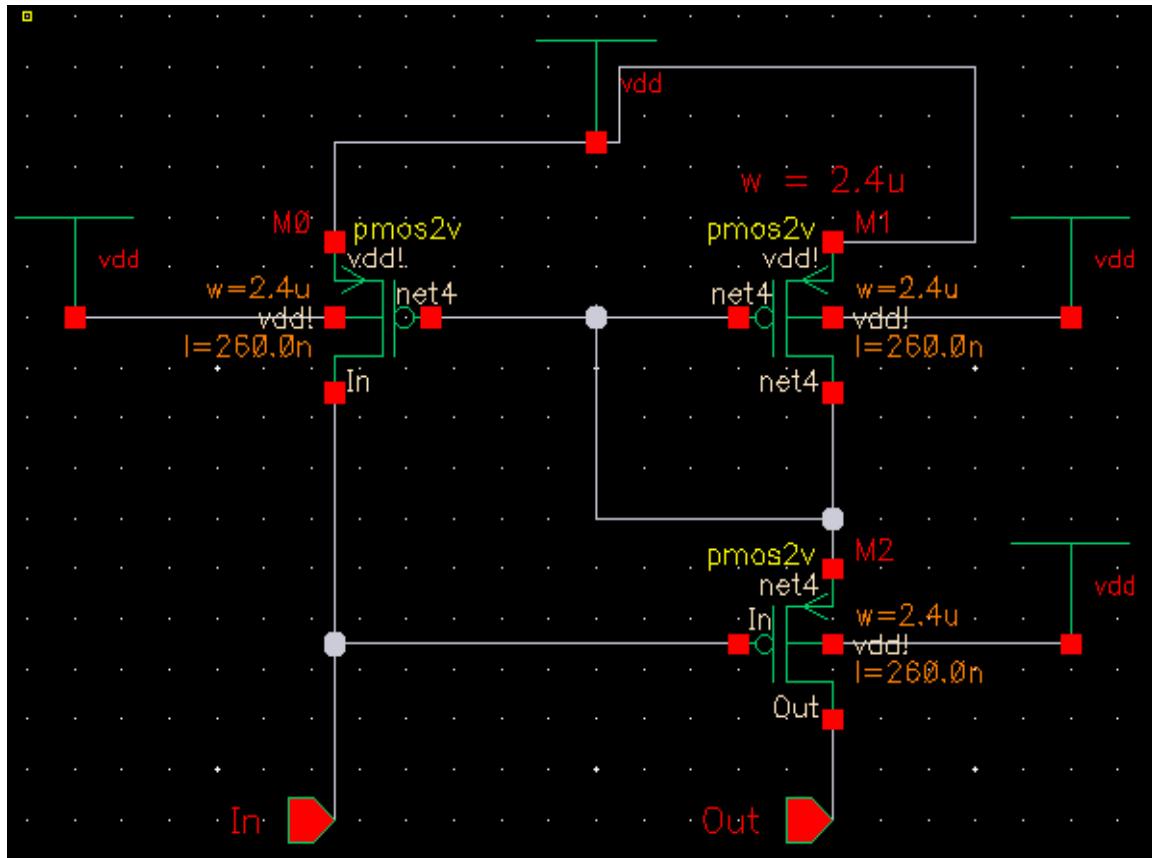
2.2 Espelhos de Corrente PMOS

a) Esquemáticos e símbolos

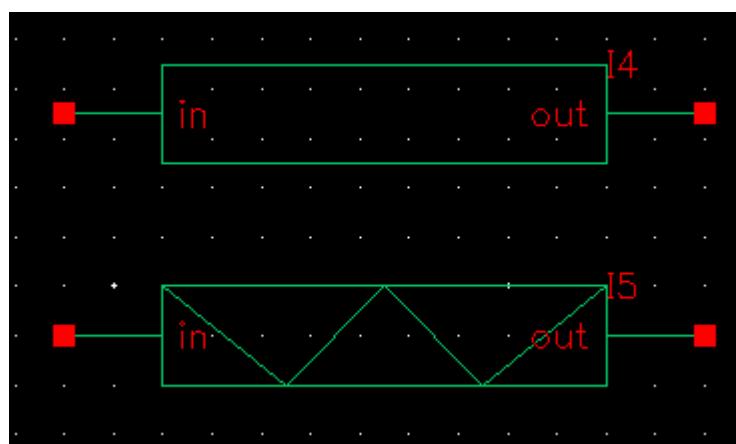
Foram projetados dois espelhos de corrente utilizando transistores PMOS com largura $W = 2,4 \mu\text{m}$, e largura $L=260 \text{ nm}$.



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.

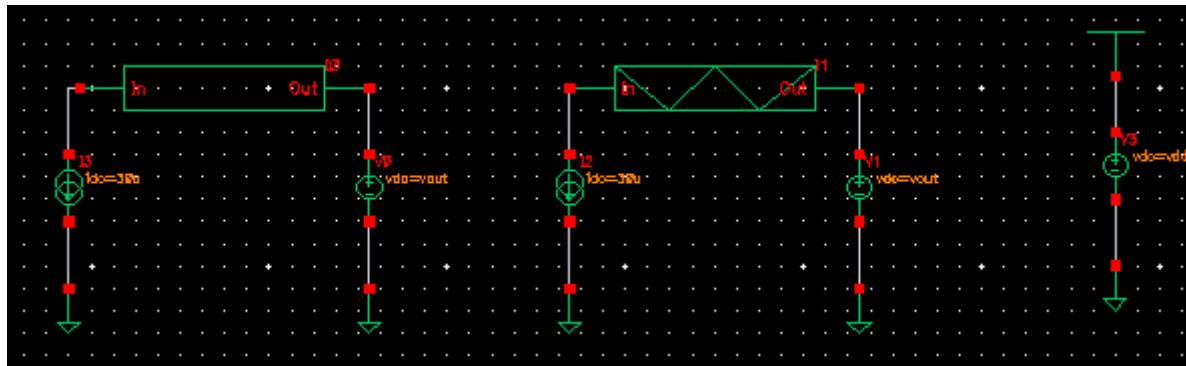


As simbologias utilizadas foram:

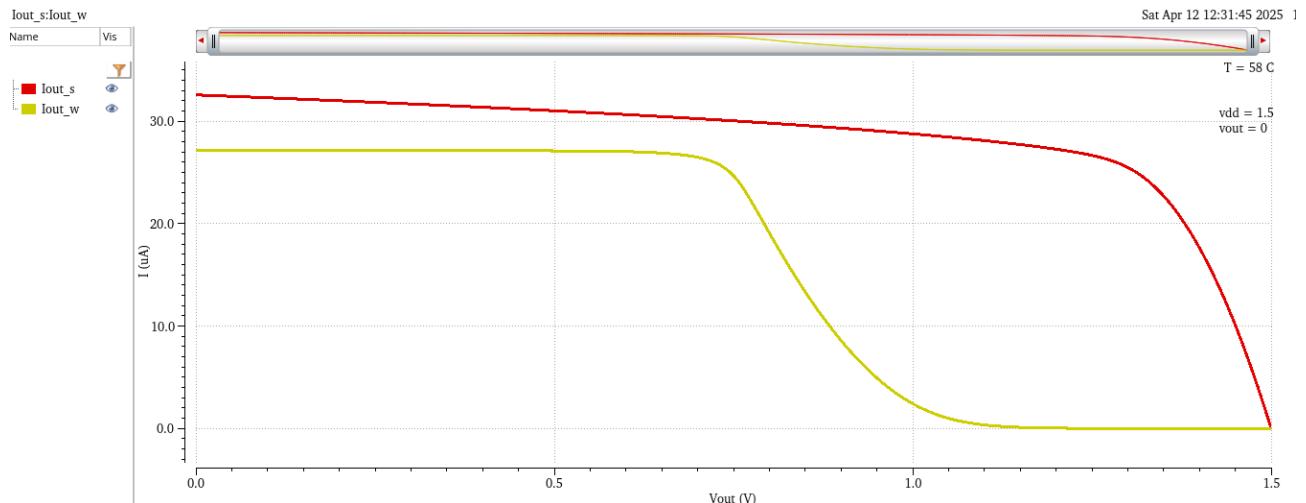
- Espelho PMOS simples: retângulo
- Espelho Wilson: retângulo com a letra “W”

b) Teste com fonte de corrente

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

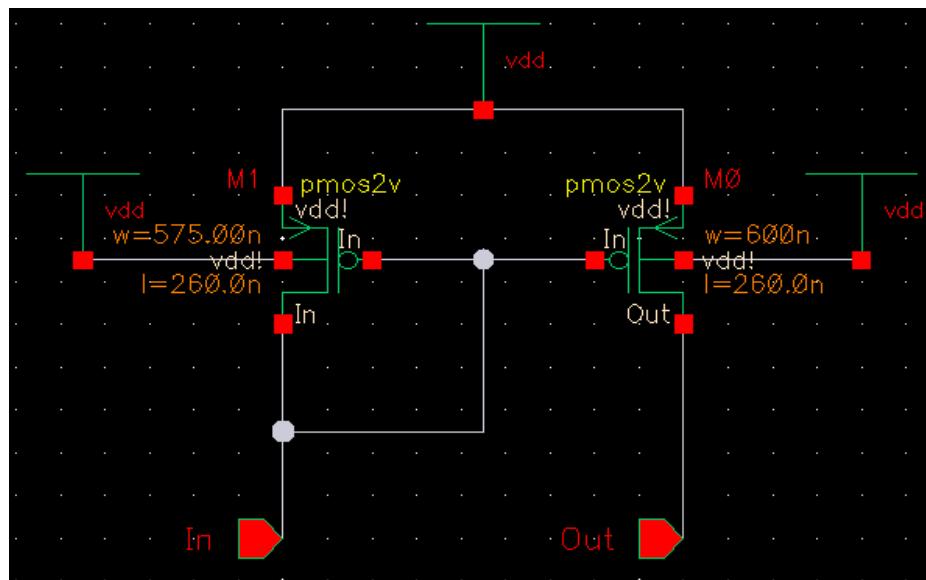


O gráfico abaixo apresenta a corrente de saída em função da tensão de saída para ambos os espelhos:

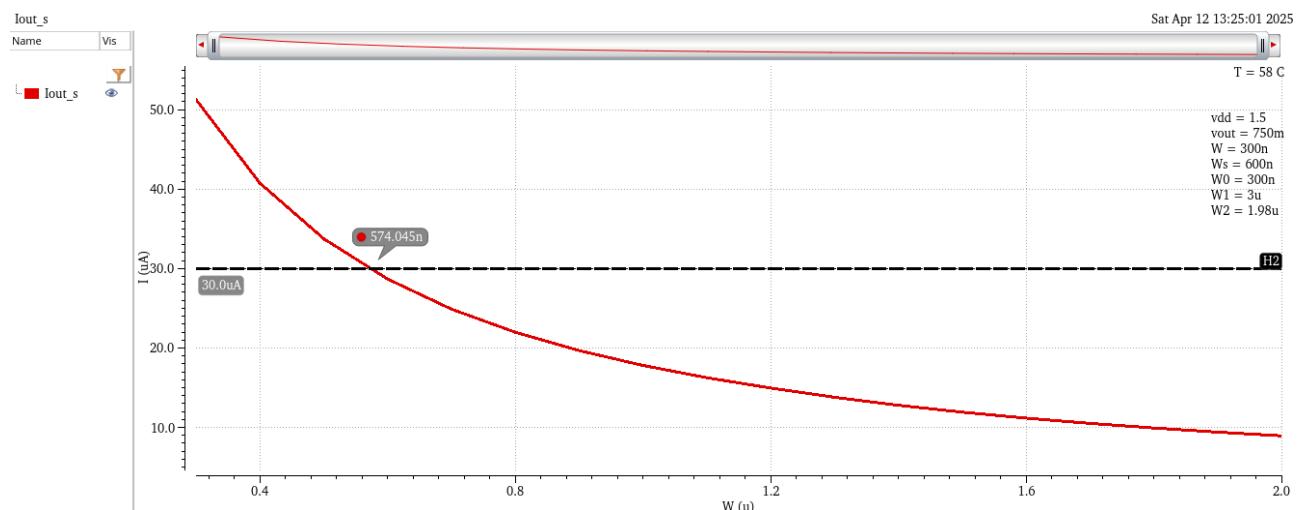


c) Dimensionamento e simulação

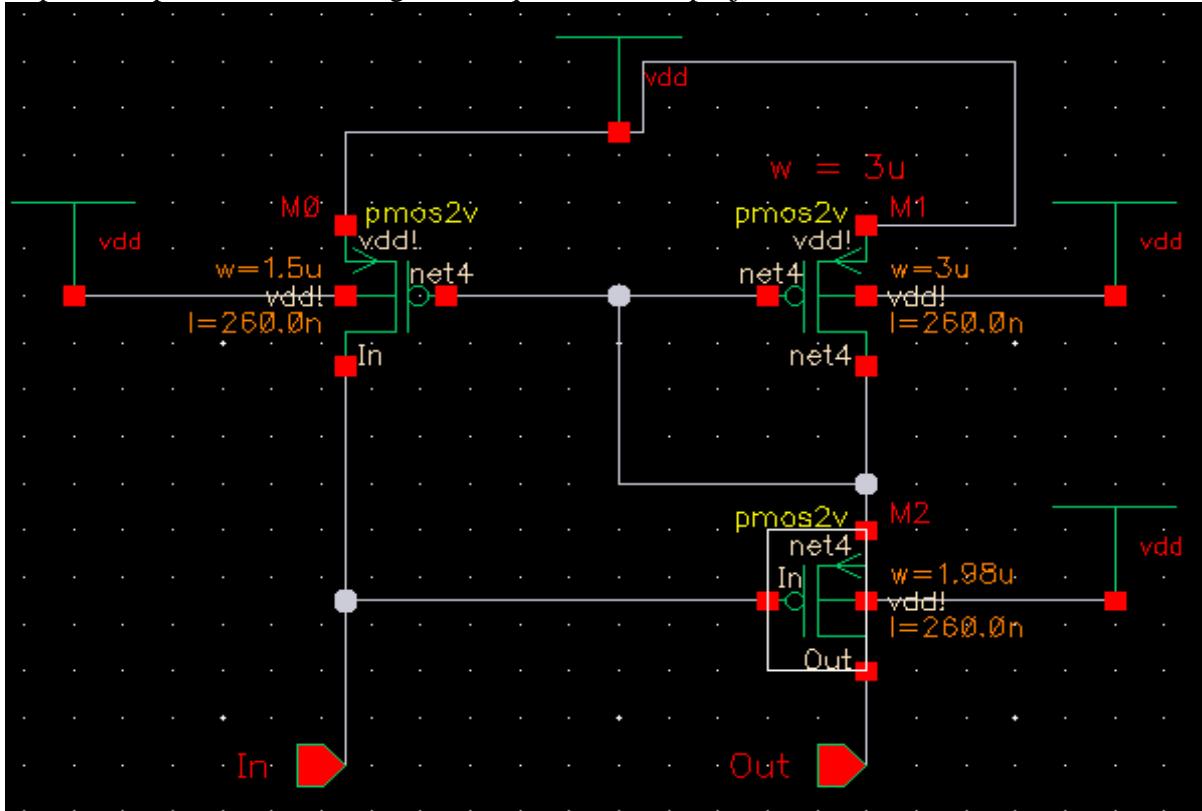
No espelho simples, foram utilizadas no esquemático $W = 575 \text{ nm}$ para a largura do transistor da esquerda e $W = 600 \text{ nm}$ para o da direita, permitindo a obtenção de uma corrente de saída igual a corrente de entrada, para $\text{Vout} = \text{Vdd}/2$.



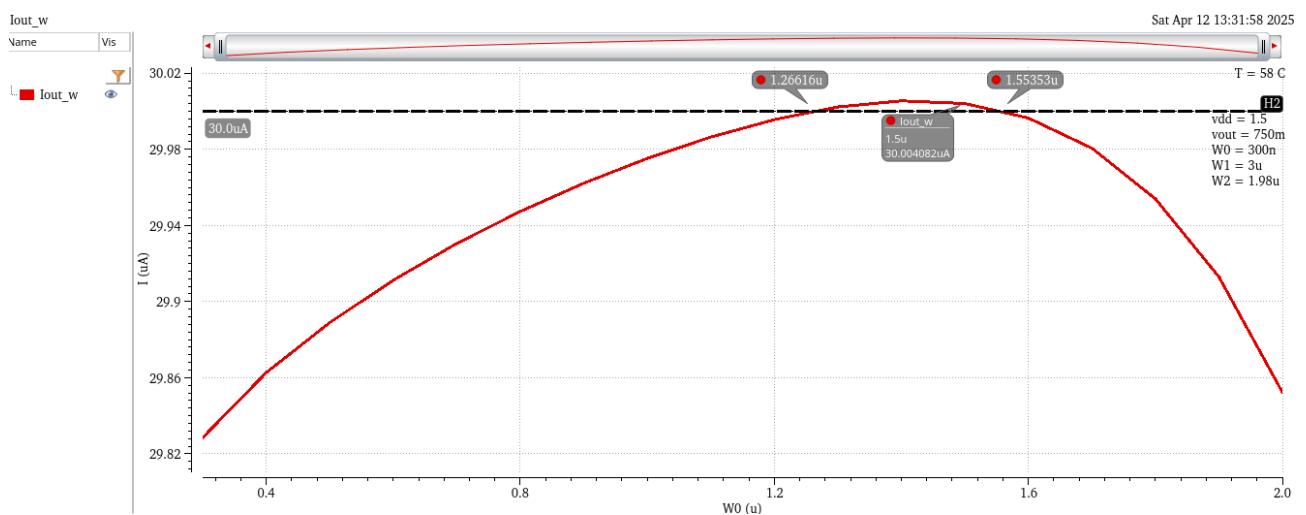
A obtenção das larguras se deu da seguinte maneira: W do MOSFET da direita foi fixado arbitrariamente em 600 nm, e então, a corrente de saída foi plotada em função de W variável do MOSFET da esquerda, dessa forma o valor de largura correspondente para $I_{out} = I_{in}$ dentro da margem de erro foi 574.045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



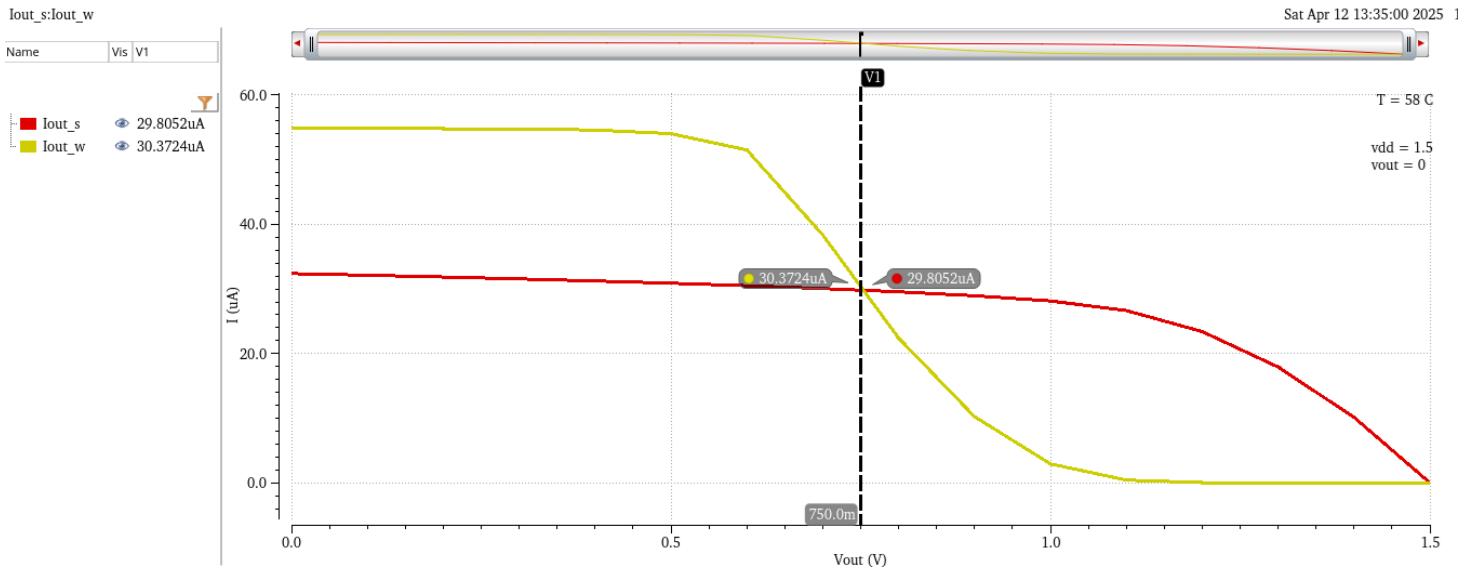
Já para o espelho Wilson, o seguinte esquemático foi projetado:



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 **$W = 1,5\text{ }\mu\text{m}$** .

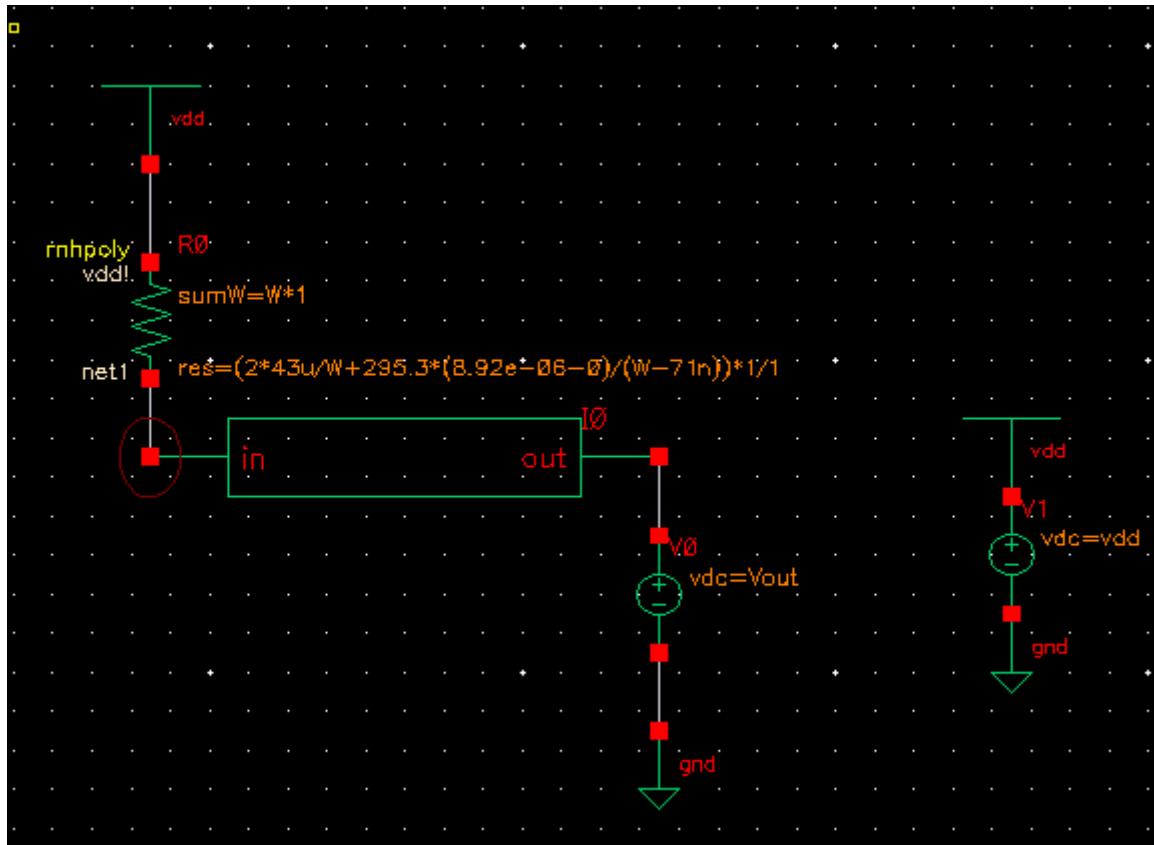


Foi gerado um gráfico final das correntes de saída em função de Vout para os espelhos redimensionados. As curvas se cruzam em $Vdd/2$, indicando boa correspondência entre I_{out} e I_{in} :

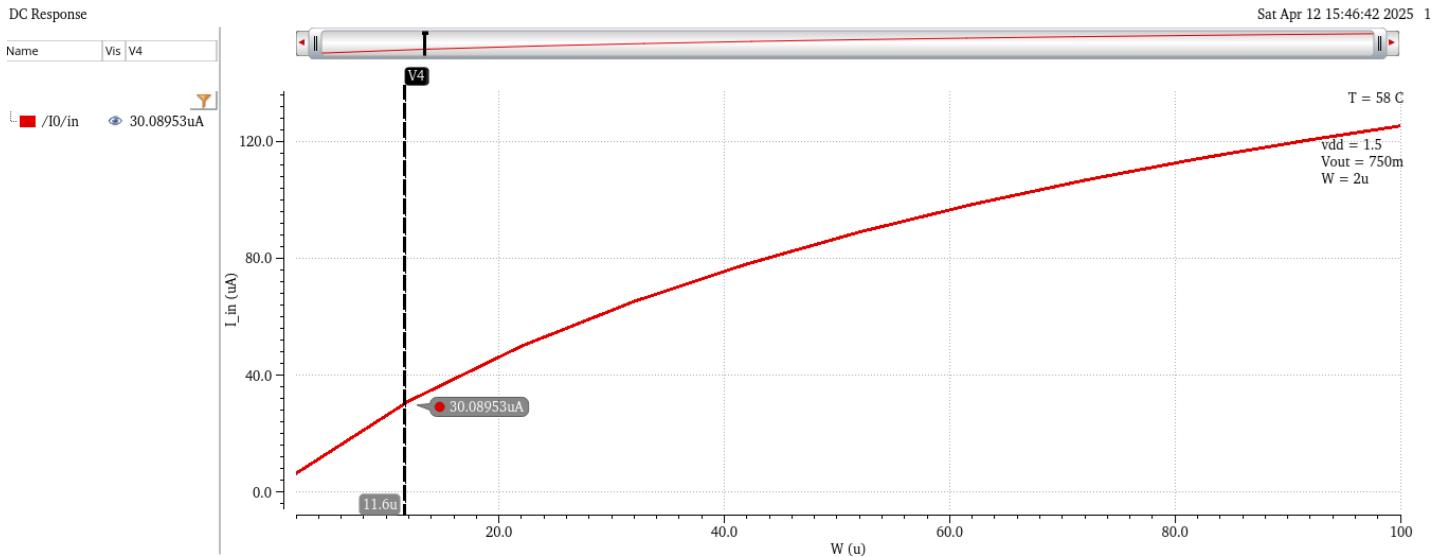


2.3) Corrente de referência

Foi criado um esquemático com resistor $rnhpoly$ entre V_{dd} e a entrada do espelho simples NMOS com dimensões definidas no item 2.1 (e).



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



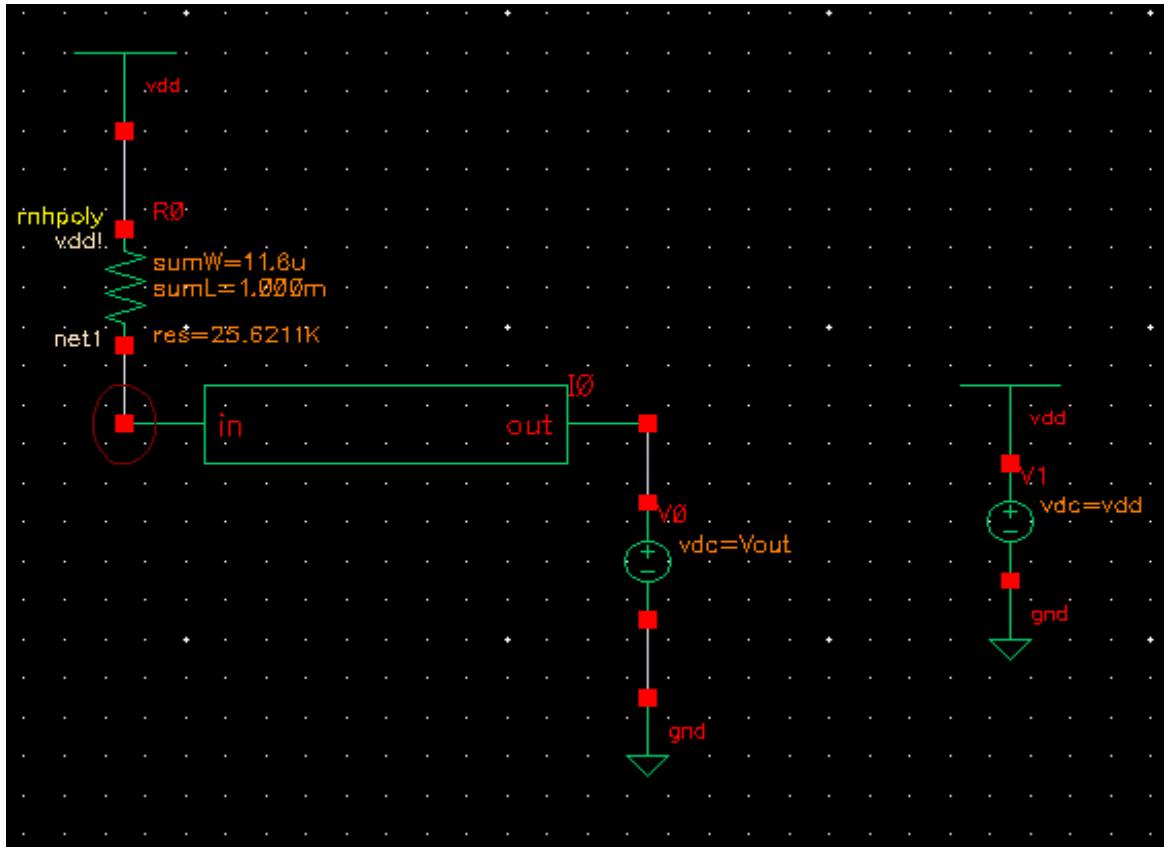
Dessa forma, o valor ideal encontrado foi **W = 11,6 μm** , correspondente a **R = 25,6211 k Ω** .
Então, esse resultado foi aplicado nas propriedades do resistor:

Edit Object Properties@galieu

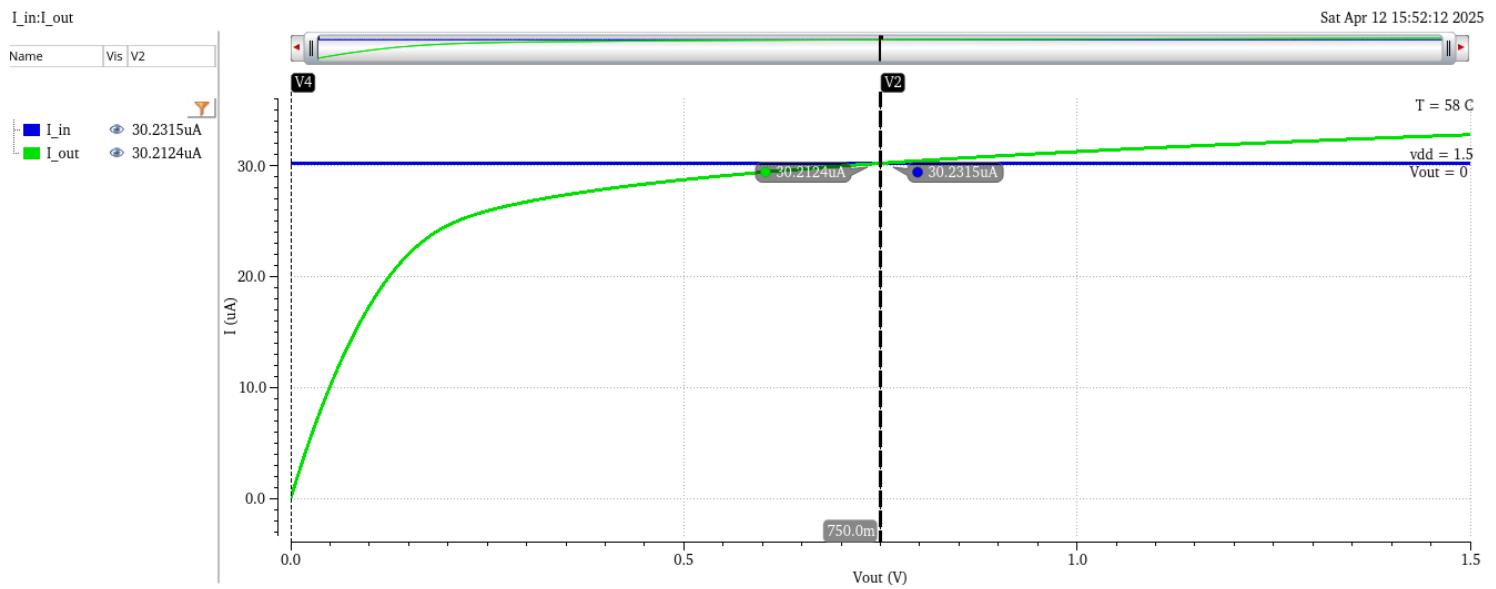
Cell Name	rnhpoly	value
View Name	symbol	off
Instance Name	R0	off
Add	Delete	Modify
CDF Parameter	Value	Display
Model name	rnp01rpo	off
description	resistor without silicide	off
Total resistance(ohms)	25.6211K Ohms	off
Total width(M)	11.6u M	off
Segment width(M)	11.6u M	off
Total length(M)	1.000m M	off
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
Segement 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

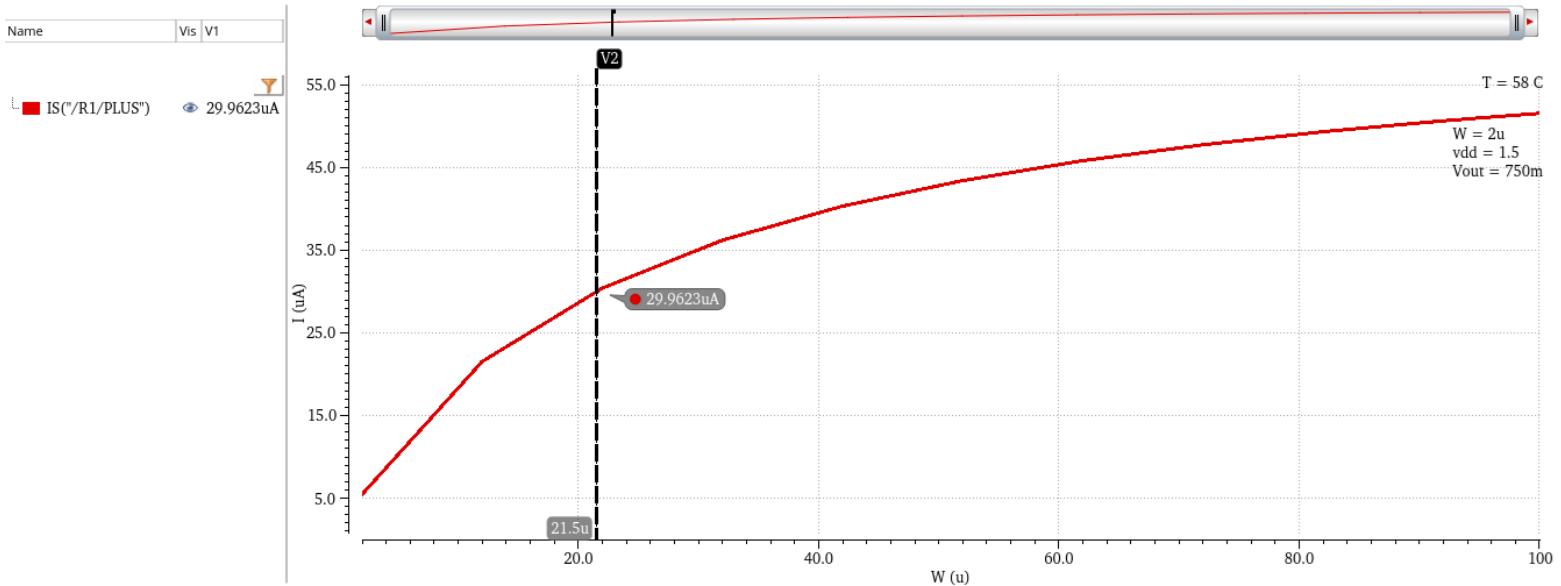
Assim, o esquemático pós-dimensionamento, ficou dessa maneira:



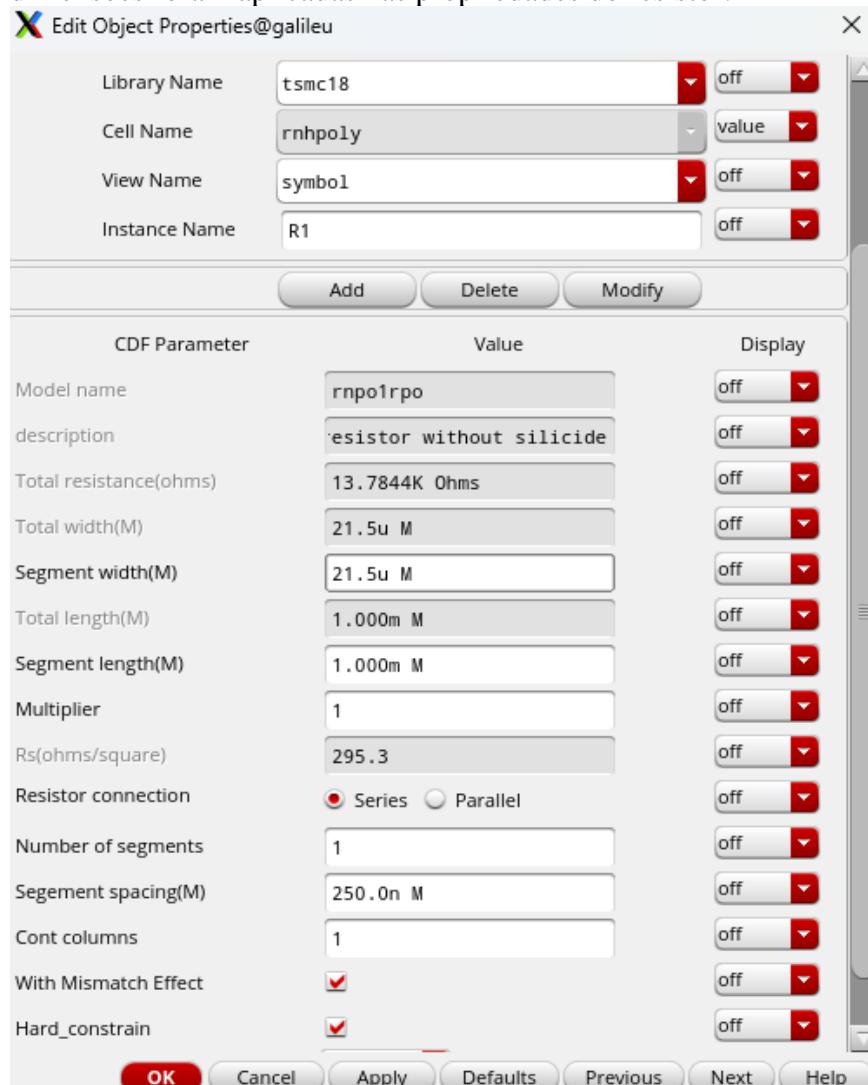
A simulação final mostrou que as curvas de corrente de entrada e saída se igualam em $V_{dd}/2$:



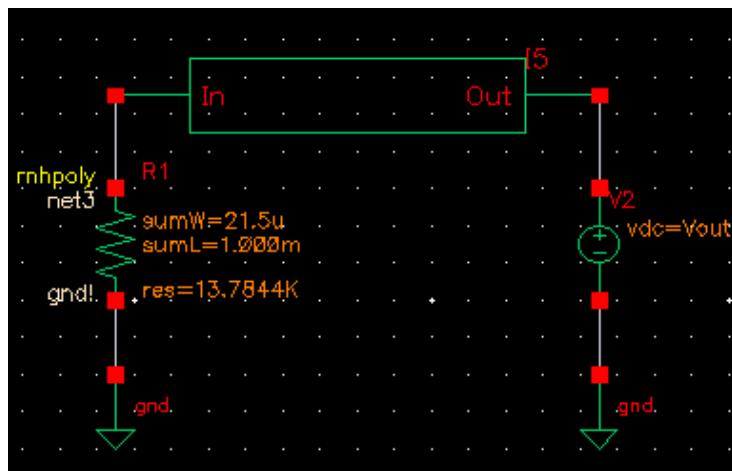
Analogamente, foi criado um esquemático com resistor entre terra e a entrada do espelho PMOS simples, com dimensões obtidas no item 2.2 (c). Em seguida, fixando $L = 1 \text{ mm}$, a corrente de entrada foi graficada em função da largura:



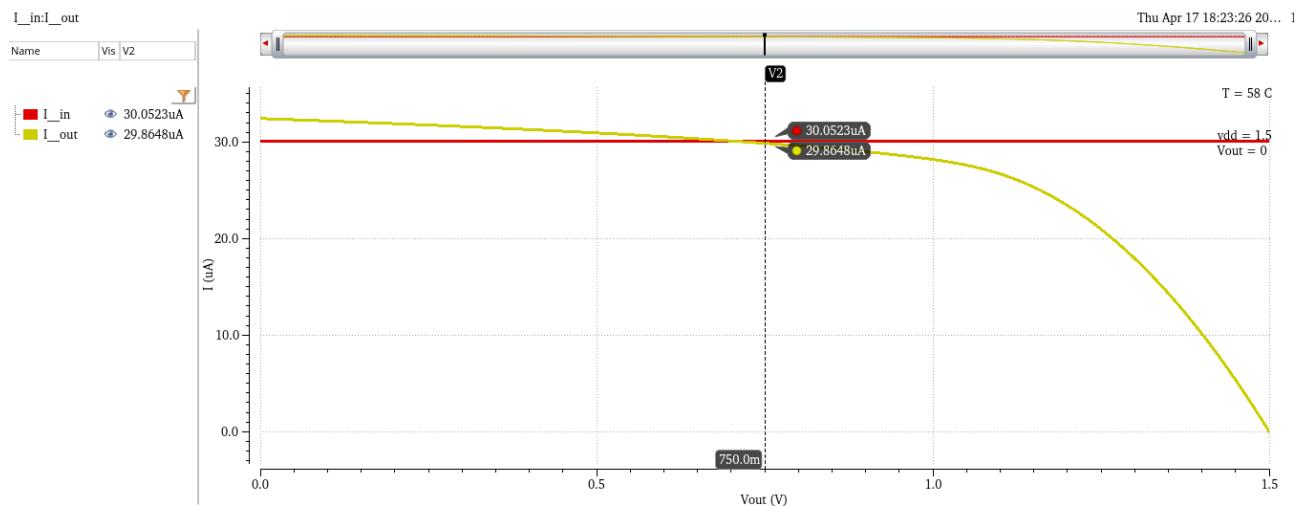
Assim, encontrou-se o valor ideal de $W = 21,5 \mu\text{m}$, resultando em $R = 13,7844 \text{ k}\Omega$. Então, essas dimensões foram aplicadas nas propriedades do resistor:



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.