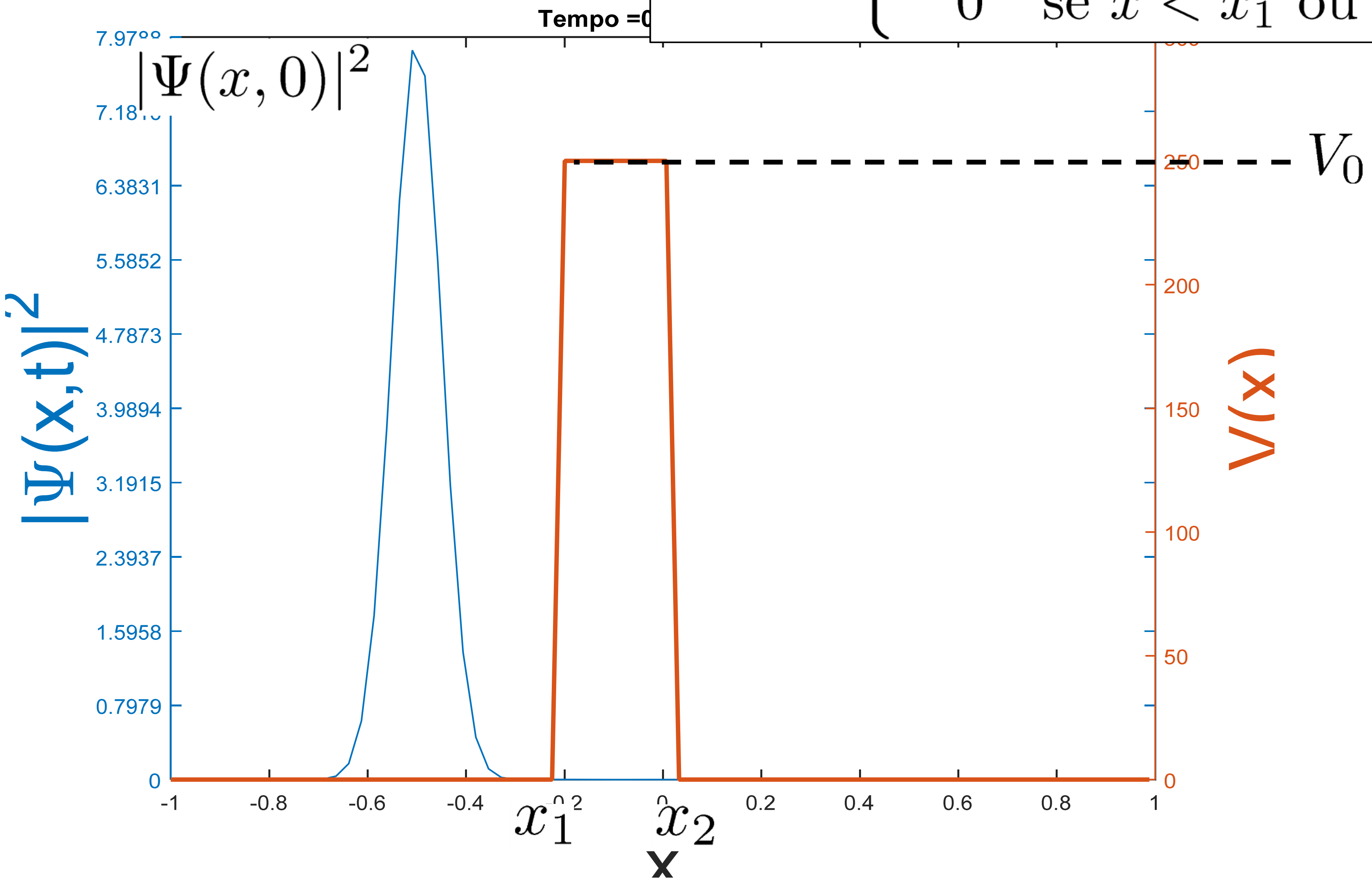
# Tunelamento em Mecânica Quântica

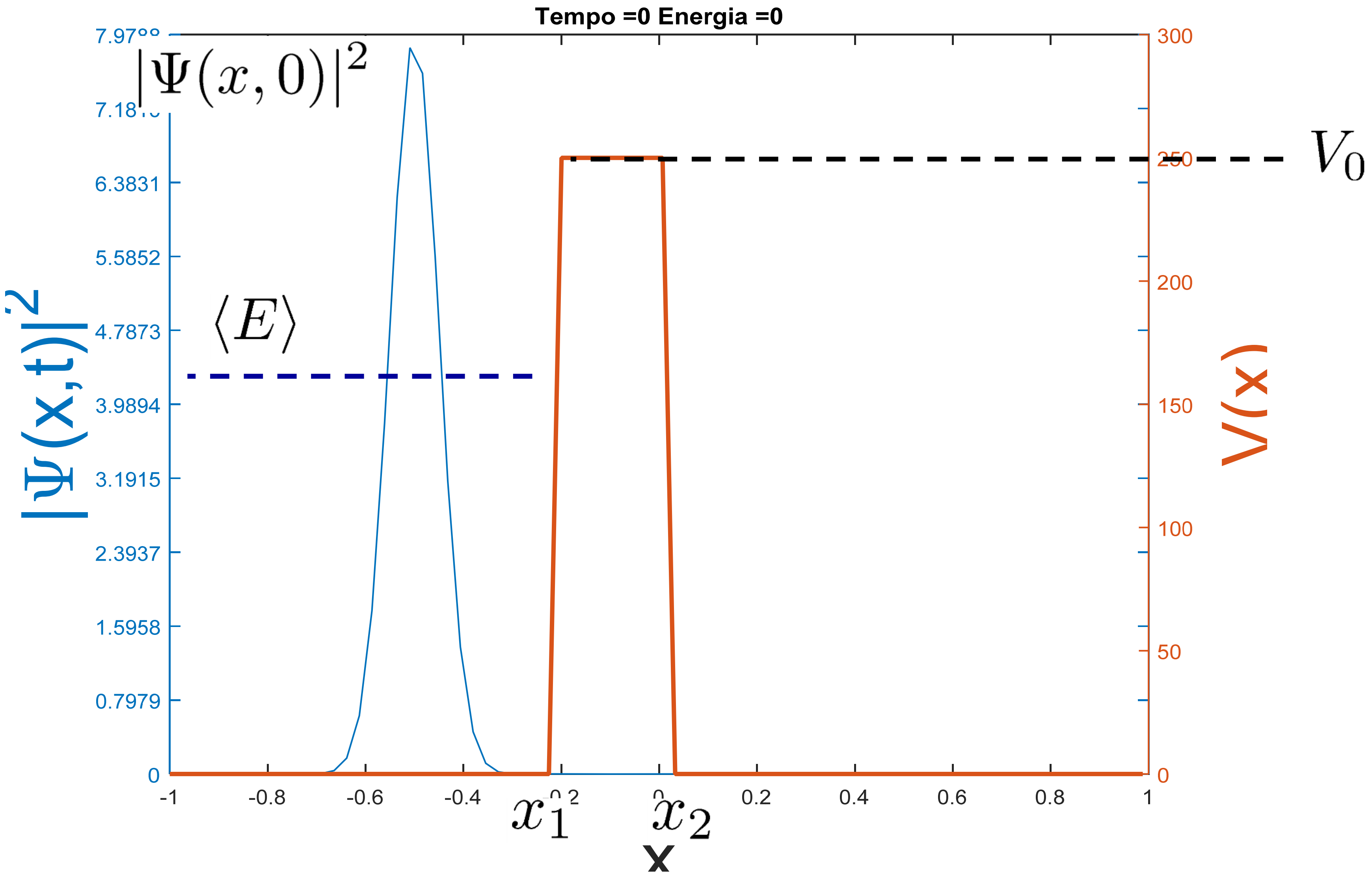
- Potencial tipo "barreira quadrada".

$$V(x) = \begin{cases} V_0 & \text{se } x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0 & \text{se } x < x_1 \text{ ou } x > x_2 \end{cases}$$



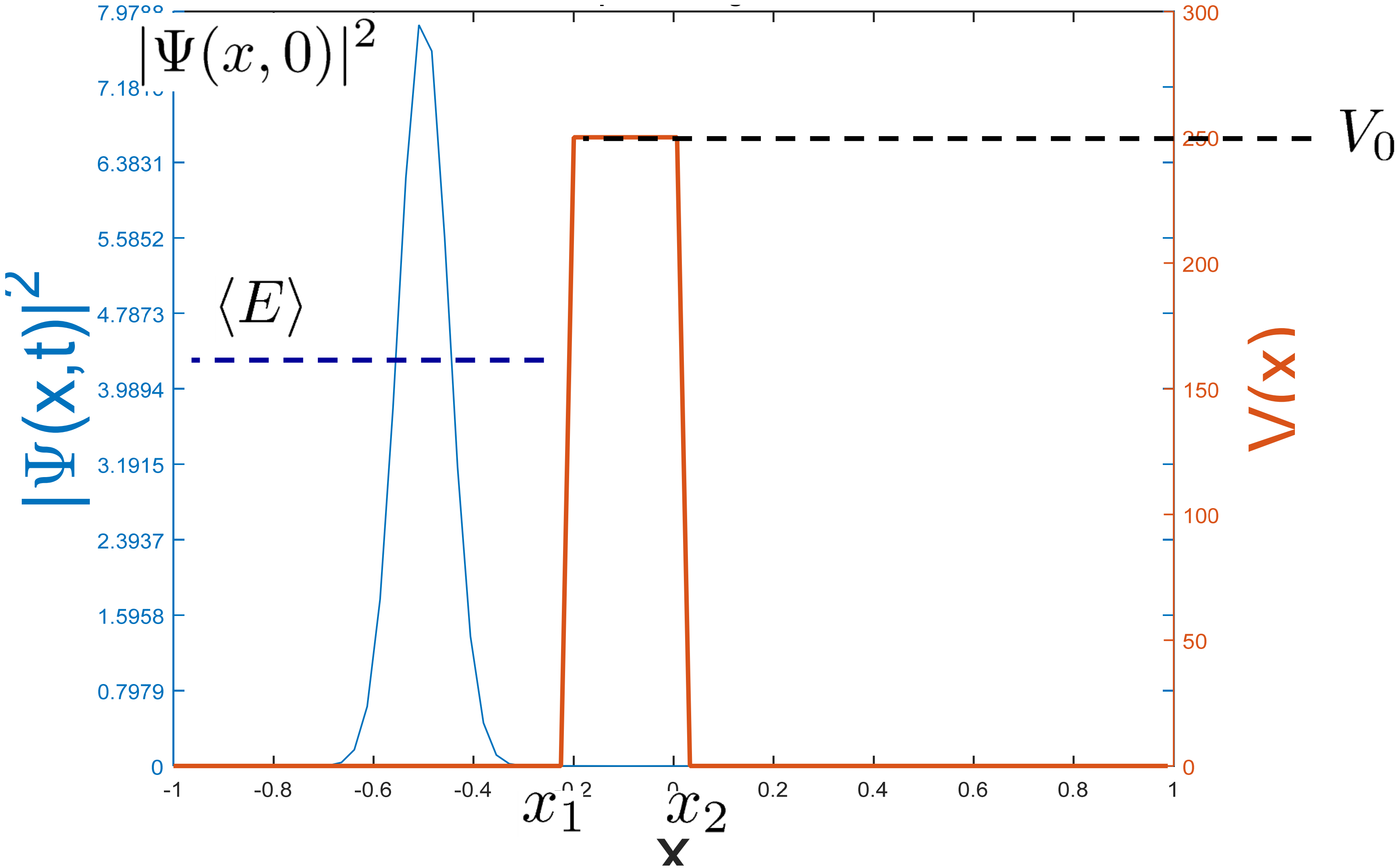
# Tunelamento em Mecânica Quântica

- O estado $\Psi(x,t)$ tem associado uma energia média $\langle E \rangle$



# Tunelamento em Mecânica Quântica

- Pergunta: se $\langle E \rangle < V_0$, o que acontece com $\Psi(x,t)$ à medida que seu centro se aproxima da barreira?



# Coeficiente de transmissão

- Classicamente, se $E<V_0$, a partícula *sempre é refletida* pela barreira.

- Em Mecânica Quântica, mesmo para $\langle E \rangle < V_0$, existe uma *probabilidade não nula* de se medir a partícula em uma posição $x>x_2$ em um tempo suficientemente grande.

- Como vimos, a probabilidade de medir a partícula em uma posição $x>x_2$ e num tempo t é dada por:

$$\boxed{T(t) = \frac{\int_{x_2}^{\infty} |\Psi(x,t)|^2 dx}{\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(x,t)|^2 dx}}$$

- Para tempos grandes, T dará informação sobre a ***probabilidade de transmissão*** do pacote através da barreira.

# Coeficiente de reflexão

- Obviamente, também podemos definir a probabilidade de medir a partícula em uma posição x<x1  e num tempo t:

$$\boxed{R(t) = \frac{\int_{-\infty}^{x_1} |\Psi(x,t)|^2 dx}{\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(x,t)|^2 dx}}$$

- Para tempos curtos (t=0, por exemplo), R=1 uma vez que o pacote está inicialmente localizado antes da barreira.

- Para tempos grandes, R dará informação sobre a *reflexão* do pacote através da barreira.

- Pergunta: como R(t) e T(t) se comportam em função da energia inicial?

# Aula 23 – Tarefa (fazer upload).

Calcule $\Psi$(x,t)=R(x,t)+ i I(x,t) via **RK2** e $V(x) = \begin{cases} V_0 & \text{se } x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0 & \text{se } x < x_1 \text{ ou } x > x_2 \end{cases}$

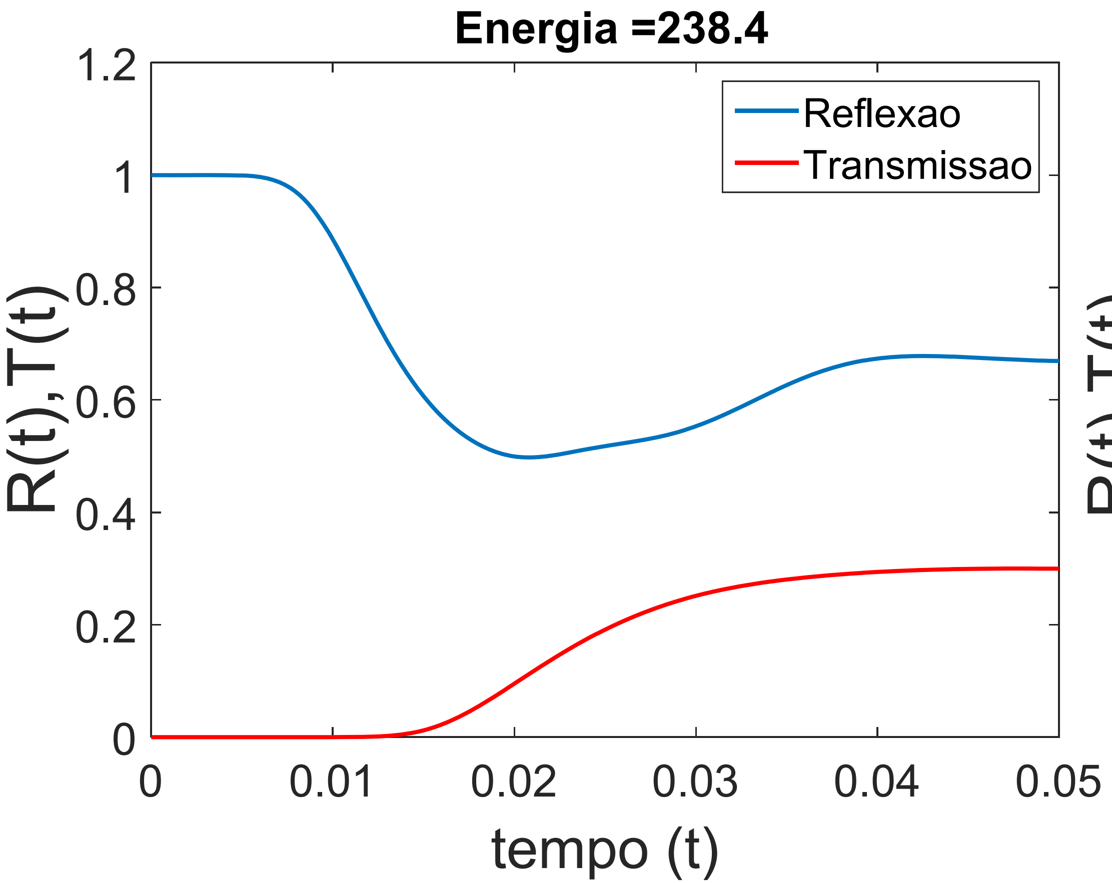
- *Condição inicial (normalizada):* $\Psi(x, t=0) = \sqrt{\dfrac{e^{-(x-x_c)^2/(2\sigma^2)}}{\sigma\sqrt{2\pi}}}\, e^{ik_0 x}$
- *Condições iniciais: $x_c$=-0.5 , $\sigma$=0,05 e $k_0$=20 (depois use $k_0$=30).*
- *Potencial: $V_0$=250 e $x_1$=-0.2 e $x_2$=0.*
- *Calcule $\Psi$(x,t) entre $-1 \leq x \leq 1$ de t=0 a t=0,05 com passo $\Delta$t=0,0001 e r=$\Delta t/2\Delta x^2$ =0.075 (determine o $\Delta$x a ser usado).*
- *Para cada passo no tempo, calcule as integrais (numéricas):*

$$E(t) = \int_{-1}^{1} \Psi^*(x,t)[\hat{H}\Psi(x,t)]dx \qquad R(t) = \int_{-1}^{x_1} |\Psi(x,t)|^2 dx \qquad T(t) = \int_{x_2}^{1} |\Psi(x,t)|^2 dx$$

- *Faça um gráfico de R(t) e T(t).*
- *O que você espera? E se você aumenta $k_0$ para 30?*

# Spoiler:

$k_0=20 \quad \langle E \rangle < V_0$




$k_0=30 \quad \langle E \rangle > V_0$