

# VII Workshop de Computação Quântica - UFSC

## Hackathon Aprendizado de Máquina Quântico

*tiago.farias@ufscar.br*

### 1

A regra do parameter-shift pode ser usada para obter os gradientes de circuitos quânticos parametrizados. Considerando uma porta parametrizada  $U(\theta) = e^{-i\theta P/2}$ , onde  $P$  é uma matriz de Pauli, a derivada do valor esperado associado a um operador  $O$  qualquer é dada por:

$$\frac{\partial \langle O \rangle(\theta)}{\partial \theta} = \frac{1}{2}(\langle O \rangle(\theta + \pi/2) - \langle O \rangle(\theta - \pi/2)), \quad (1)$$

onde  $\langle O \rangle(\theta)$  representa o valor esperado em  $\theta$ .

Em algumas situações, como problemas de equações diferenciais ou análise da curvatura da função custo, é importante saber derivadas de ordem maior. Obtenha a derivada de segunda ordem  $\frac{\partial^2 \langle O \rangle(\theta)}{\partial \theta^2}$ .

Dica: use a identidade  $[P, O] = -i(U^\dagger(\pi/2)OU(\pi/2) - U^\dagger(-\pi/2)OU(-\pi/2))$ .

### 2

Preparação de estados é muito importante em computação quântica, pois queremos aplicar algoritmos em estados específicos para obter resultados desejáveis. Existem diferentes métodos para preparar estados usando circuitos quânticos.

Ao usar computadores quânticos, somente temos acesso às probabilidades correspondentes as medidas realizadas. Para calcular o valor esperado associado de um operador, podemos obter a sua relação com a distribuição de probabilidades. Por exemplo, para um estado qualquer  $|\psi\rangle = [a \ b]^T$  o observável  $\langle Z \rangle$  é obtido como:

$$\begin{aligned} \langle Z \rangle &= \langle \psi | Z | \psi \rangle \\ \langle Z \rangle &= [a^* \ b^*] \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \\ \langle Z \rangle &= |a|^2 - |b|^2 \\ \langle Z \rangle &= p(|0\rangle) - p(|1\rangle) \end{aligned} \quad (2)$$

Onde  $p(|0\rangle)$  é a probabilidade de obter o estado  $|0\rangle$  e  $p(|1\rangle)$  o estado  $|1\rangle$  ao fazer medidas.

Usando o algoritmo quântico variacional e a regra do parameter-shift, construa um circuito parametrizado para aprender o estado de Bell:

$$|\phi\rangle = \frac{|01\rangle + |10\rangle}{\sqrt{2}}. \quad (3)$$

Dicas:

- Para obter as probabilidades no PennyLane, no caso de 2 qubits, use a função `qml.probs(wires=[0,1])`;
- Para caracterizar completamente um estado quântico, é necessário obter o valor esperado de todas as combinações das matrizes de Pauli ( $I, X, Y, Z$ );