

## ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DE COMPUTAÇÃO QUÂNTICA NA REPRESENTAÇÃO E VISUALIZAÇÃO DE EMOÇÕES

Julio Machado; Pedro Henrique Marchi; Lucas Agostini;  
 Renata Reiser; Maurício Pilla

Universidade Federal de Pelotas – {jmdsneto, reiser, phgmarchi, lbagostin, pilla}@inf.ufpel.edu.br

### 1. INTRODUÇÃO

Genericamente, um computador clássico pode ser descrito como uma máquina que lê um certo conjunto de dados, codificado em zeros e uns. Zeros e uns são estados que podem ser representados fisicamente representando baixo e alto potencial, respectivamente. Na computação quântica, utilizam-se estados quânticos em vez de estados clássicos. Assim, o bit é substituído pelo qubit, indicado na notação de Dirac por  $|\Psi\rangle$  e definindo um estado (registrador) quântico pela combinação linear de vetores bidimensionais  $|0\rangle$  e  $|1\rangle$ , em superposição e satisfazendo a condição de normalização. Assim, tem-se que  $|\Psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ , onde  $|\alpha\rangle$  e  $|\beta\rangle$  são as amplitudes dos estados básicos dados por números complexos tais que  $\sqrt{|\alpha|^2 + |\beta|^2} = 1$ . Para representação de estados quânticos unidimensionais podemos utilizar a esfera de Bloch, representando nos pontos da superfície todos possíveis estados de um qubit [Nielsen e Chuang 2003].

Para simular emoções a partir de algoritmos quânticos, considera-se o emaranhamento de estados quânticos [Nielsen e Chuang 2003]; e, para contemplar a incerteza na modelagem de emoções e comportamentos, faz-se uso de conceitos fuzzy, onde conectivos são descritos a partir de registradores quânticos, como descrito em [Maron et al. 2013]. Em especial, tem-se a modelagem do paralelismo quântico pela aplicação de simuladores paralelos e/ou distribuídos, visando suporte e desenvolvimento de aplicações quânticas multidimensionais, como descrito em [Maron et al. 2013b].

### 2. METODOLOGIA

Na figura 1(a), apresenta-se um círculo de pontos XY sob um plano e  $i/j$  é uma combinação de comportamento ativo/passivo com emoções positivas/negativas. Assim, segue-se a série de emoções caracterizadas pela pesquisa psicológica reportada no trabalho introdutório em [Luka e Perkowski 2007]. No eixo X, tem-se a passividade e/ou atividade do comportamento, enquanto no eixo Y, representam-se as emoções positivas e/ou negativas. Se percorrermos qualquer ponto da circunferência, sempre haverá alguma combinação gerando uma emoção referente a uma atividade associada a circunferência (roda de emoções) e não ao plano natural, limitam-se as interpretações aos casos “totalmente ativos” ou “totalmente inativos”. Nas figuras de 1(b) a 1(d), adiciona-se uma terceira dimensão interpretando a intensidade (forte, média ou fraca) da emoção, e permitindo interpretação de variáveis linguísticas pelo uso de conectivos da lógica fuzzy.

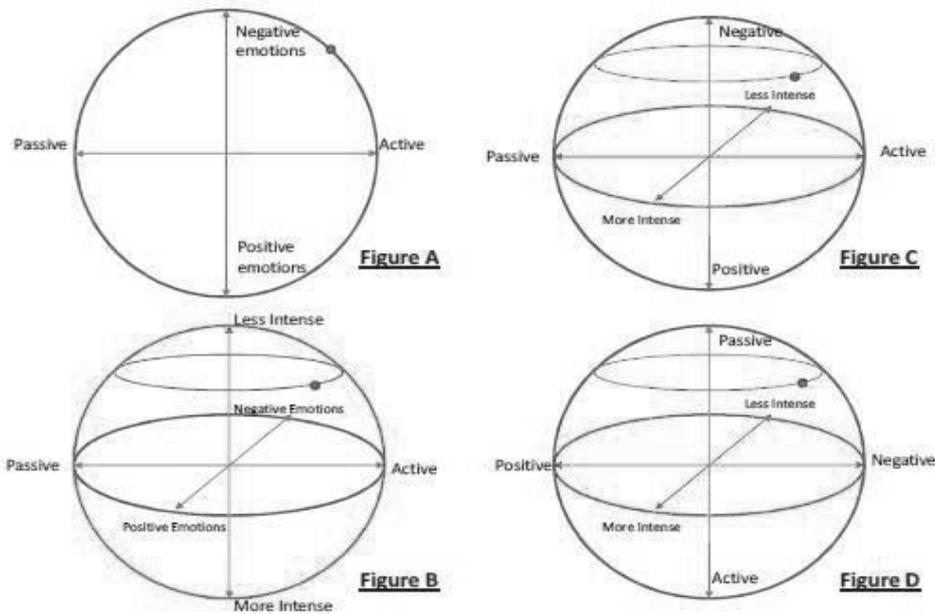


Figura 1. Roda de emoções: plano complexo e a esfera de Bloch. [Raghuvanshi e Perkowski 2010]

De acordo com o descrito em [Raghuvanshi e Perkowski 2010], no eixo Z tem-se a intensidade, e as emoções em volta de cada círculo são obtidas pelo ângulo de fase dos estados quânticos. Assim, estende-se a interpretação de apenas uma emoção e sua intensidade às interpretações simultâneas de múltiplas emoções.

Em analogia ao comportamento humano, após uma operação de medida, apenas uma emoção será observada. O raciocínio interno e/ou dinâmico de um estado emocional pode ser descrito por um registrador quântico, construído a partir de operadores básicos da Lógica Fuzzy como negações, t-normas e t-conormas. Pode-se considerar ainda extensões para outros operadores fuzzy, explicitamente representado por tais operadores básicos, como a porta fuzzy EXOR e as implicações fuzzy.

O comportamento de um circuito pode também ser analisado usando os métodos propostos em [Raghuvanshi e Perkowski 2010]. Observa-se que essas correlações de emoções especificadas pelos estados e operadores quânticos, com base em superposições e entrelaçamentos são matematicamente diferentes das correlações clássicas [Carvalho et al. 2007]. Usando métodos conhecidos para analisar circuitos quânticos podemos determinar o efeito das comunicações sobre as emoções de agentes (representando partes do cérebro de um robô ou de uma pessoa).

Para modelarmos uma emoção, representamos o tipo como uma fase e a intensidade como um ponto de  $|0\rangle$  a  $|1\rangle$ . Desse modo, a roda de emoções é representada como um círculo central na esfera de Bloch [Raghuvanshi e Perkowski 2010]. Para usarmos essa representação, precisamos ser capazes de medir a fase de estado da, esfera de Bloch podemos fazer isto através da tomografia quântica. Um exemplo de tomografia quântica é usar da porta

$V = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1+j & -1+j \\ -1+j & 1+j \end{pmatrix}$  para a aproximação da fase de medição. Aplicando a porta

$V$  duas vezes após a medição, nós podemos distinguir entre quatro pontos na esfera de Bloch. Nós definimos os conjuntos Fuzzy quânticos usando os

meridianos da esfera de Bloch, com o pólo norte  $|0\rangle$  representando 0 (Falso) e o pólo sul  $|1\rangle$  representando 1 (Verdadeiro). Valores ao longo dos meridianos são pegos para representar os intervalos de  $[0,1]$  da lógica Fuzzy, onde o estado quântico puro (um ponto da superfície da esfera)  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle+|1\rangle)$  representa  $\frac{1}{2}$  de sua medição.

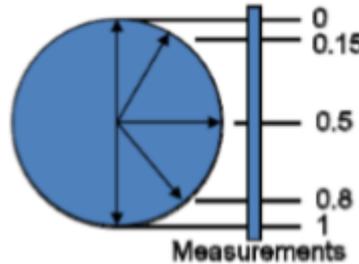


Figura 2. Mapeamento do estado de um Qubit dos meridianos para o intervalo  $[0,1]$  dos valores da lógica Fuzzy. [Raghuvanshi e Perkowski 2010]

Em todos os sistemas, existem três portas principais: inversão (negação), conjunção e disjunção.

**Not(A).** A inversão é definida como uma rotação ao redor do eixo X; *Fuzzy Quantum Not*  $(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) = \beta|0\rangle + \alpha|1\rangle$

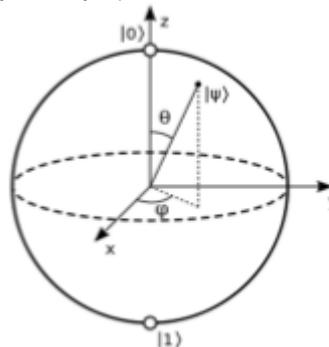


Figura 3. Esfera de Bloch. [Raghuvanshi e Perkowski 2010]

onde o quadrado do valor associado ao bracket  $|1\rangle$  é a probabilidade de se obter '1' na medição. Quando repetida muitas vezes, a média é equivalente ao intervalo Fuzzy  $[0,1]$ . Isso é feito em computação de conjuntos.

**And(A).** A operação de conjunção é definida do mesmo modo que o AND quântico. A porta Toffoli está inicializada com um Qubit  $|0\rangle$ . A definição do operador de conjunção quântico Fuzzy é: *Fuzzy Quantum And*  $(\alpha_1|0\rangle + \alpha_2|1\rangle, \beta_1|0\rangle + \beta_2|1\rangle) =$  'Saída'  $(\alpha_1|0\rangle + \alpha_2|1\rangle + \beta_1|0\rangle, \beta_2|1\rangle, |0\rangle) = \alpha_1|0\rangle + \alpha_2|1\rangle * (\beta_1|0\rangle + \beta_2|1\rangle) \oplus |0\rangle$ . Aplicamos esta 'Saída' a porta Toffoli e obtemos:

$$\begin{matrix}
 & \textit{Toffoli} \\
 \begin{pmatrix}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0
 \end{pmatrix}
 \cdot
 \begin{pmatrix}
 \alpha_1\beta_1 \\
 0 \\
 \alpha_1\beta_2 \\
 0 \\
 \alpha_2\beta_1 \\
 0 \\
 \alpha_2\beta_2 \\
 0
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 \alpha_1\beta_1 \\
 0 \\
 \alpha_1\beta_2 \\
 0 \\
 \alpha_2\beta_1 \\
 0 \\
 0 \\
 \alpha_2\beta_2
 \end{pmatrix}
 \begin{matrix}
 000 \\
 001 \\
 010 \\
 011 \\
 100 \\
 101 \\
 110 \\
 111
 \end{matrix}
 \end{matrix}$$

Logo, a saída é:  $\alpha_1\beta_1|000\rangle + \alpha_1\beta_2|010\rangle + \alpha_2\beta_1|100\rangle + \alpha_2\beta_2|111\rangle = (\alpha_1\beta_1|00\rangle + \alpha_1\beta_1|10\rangle) + (\alpha_1\beta_1|11\rangle) \otimes |0\rangle + (\alpha_1\beta_1|11\rangle) \otimes |1\rangle$ .

**Or(A,B).** A OR é definida de modo similar a disjunção quântica, logo, temos: *Fuzzy Quantum Or*( $\alpha_2|0\rangle + \alpha_1|1\rangle, \beta_2|0\rangle + \beta_1|1\rangle$ ) = Saída( $\alpha_2|0\rangle + \alpha_1|1\rangle, \beta_2|0\rangle + \beta_1|1\rangle, |1\rangle$ ) =  $\alpha_2|0\rangle + \alpha_1|1\rangle * (\beta_2|0\rangle + \beta_1|1\rangle) \oplus |0\rangle$ . Podemos observar melhor a OR do mesmo modo que a AND.

$$\begin{matrix}
 & \text{Toffoli} \\
 \begin{pmatrix}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}
 0 \\
 \alpha_2\beta_2 \\
 0 \\
 \alpha_2\beta_1 \\
 0 \\
 \alpha_1\beta_2 \\
 0 \\
 \alpha_1\beta_1
 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix}
 0 \\
 \alpha_2\beta_2 \\
 0 \\
 \alpha_2\beta_1 \\
 0 \\
 \alpha_1\beta_2 \\
 \alpha_1\beta_1 \\
 0
 \end{pmatrix} \begin{matrix}
 000 \\
 001 \\
 010 \\
 011 \\
 100 \\
 101 \\
 110 \\
 111
 \end{matrix}
 \end{matrix}$$

Temos a saída:  $\alpha_2\beta_2|001\rangle + \alpha_2\beta_1|011\rangle + \alpha_1\beta_2|101\rangle + \alpha_1\beta_1|110\rangle = (\alpha_2\beta_1|00\rangle + \alpha_2\beta_1|10\rangle) + (\alpha_1\beta_2|10\rangle) \otimes |1\rangle + (\alpha_1\beta_1|11\rangle) \otimes |0\rangle$ . Isso implica que a probabilidade de se obter a medição de '0' é  $|\alpha_1\beta_1|^2$ . Porque  $|\alpha_1\beta_1|^2 + |\alpha_1\beta_2|^2 + |\alpha_2\beta_1|^2 + |\alpha_2\beta_2|^2 = 1$ , assim a probabilidade de medir  $|1\rangle$  é  $|\alpha_1\beta_2|^2 + |\alpha_2\beta_1|^2 + |\alpha_2\beta_2|^2$  como deve ser para satisfazer os axiomas da lógica Fuzzy. O estado quântico interno não satisfaz as regras da lógica Fuzzy. O estado interno possui muito mais informação do que é medida, porém, esta informação é de difícil acesso e geralmente está emaranhada. Esses fatos, no entanto, dão uma nova possibilidade de interpretação de comportamento dos circuitos, como raciocínio, percepções, emoções e movimentos.

### 3. CONCLUSÕES

Nesse estudo, foi possível entender como funciona a relação entre a esfera de emoções e a computação quântica, isso é importante pois além de obtermos o comportamento dos agentes a partir de um único cálculo [Raghuvanshi e Perkowski 2010] através de estudos como este, em um futuro não muito distante seremos capazes de fazer com que computadores consigam analisar emoções humanas. O próximo passo em nossa pesquisa será a simulação destas emoções e do comportamento dos circuitos em FPGAs, utilizando as portas quânticas descritas em VHDL que já possuímos [Marchi et al 2014].

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RAGHUVANSHI, A.; PERKOWSKI, M. Fuzzy quantum circuits to model emotional behaviors of humanoid robots. IN: **EVOLUTIONARY COMPUTATION (CEC)**, Barcelona, 2010. **Anais...** Barcelona: IEEE, 2010. p.1-8.

CARVALHO, L.M; LAVOR, C; MOTTA, V.S. Caracterização matemática e visualização da esfera de Bloch para computação quântica, IN: **SOCIEDADE BRASILEIRA DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL**, 3., São Paulo, 2007, **Anais...** São Paulo: sbmac, 2007. v.8, p.351- 360.

NIELSEN, M.; CHUANG, I. **Quantum computation and quantum information**. Porto Alegre: Bookman, 2003.

MARON, A., VISINTIN, L., REISER, R. KERINOVICH, V. Aggregation operations from quantum computing, In: FUZZY IEEE 2013, v.1, p. 1-8, 2013.

MARON, A.; REISER, R.; PILLA, M. High-performance quantum computing simulation for the quantum geometric machine model. In: **Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), 2013 13th IEEE/ACM International Symposium**, p. 474–481, 2013.

MARCHI, P.H.; REISER, R.; PILLA, M. Descrição em VHDL de Algoritmos Quânticos, In ERAD 2014, v.1. 1-4, 2014.