

## OTIMIZAÇÃO DOS PADRÕES DE ACESSO A MEMÓRIA EM SIMULAÇÃO DE COMPUTAÇÃO QUÂNTICA

MATEUS MOREIRA SILVEIRA DO NASCIMENTO<sup>1</sup>; ANDERSON BRAGA DE AVILA<sup>1</sup>; RENATA HAX SANDER REISER<sup>1</sup>; MAURICIO LIMA PILLA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – {mmsdnascimento,abdavila,reiser,pilla}@inf,ufpel.edu.br

### 1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, uma das maiores dificuldades na simulação de algoritmos quânticos é o crescimento exponencial das complexidades espaciais e temporais. Isso ocorre porque as simulações utilizam produtos tensores, demandando considerável espaço de leitura e escrita, uma vez que os operadores quânticos são modelados por estruturas matriciais. A simulação quântica é um importante passo para o desenvolvimento da computação quântica (CQ), colaborando com soluções alternativas para visualizar soluções otimizadas para problemas de grande complexidade. Este trabalho busca apresentar soluções para mitigar efeitos do “*memory wall*” (Wulf and McKee, 1995), onde a memória de acesso aleatório apresenta um desempenho menor que o do processador, e por esta razão, acaba por ser o “gargalo” do sistema quando da execução de simulações de algoritmos.

A CQ está fundamentada nos postulados da mecânica quântica, utilizando princípios e propriedades da física aplicados à computação (PESSOA JR, 2003)(PORTUGAL, 2004). A intenção é compreender tais princípios para desenvolver uma nova geração de computadores, capazes de realizar cálculos e algoritmos que não são possíveis com as máquinas que possuímos nos dias de hoje. Entretanto, como esta área é recente, costumamos nos deparar com bastante dificuldade, seja para seu entendimento quanto para colaborar com seu desenvolvimento. Um dos problemas presentes na CQ é a ausência do hardware quântico, e isso inclui uma memória em que fosse possível simular eventos da CQ como um qubit estando em mais de um estado simultaneamente (superposição de estados quânticos).

Este projeto visa buscar novos modelos e representações em relação a utilização da memória aplicada na CQ. Já existem pesquisas utilizando novas formas e modelos, como memórias associativas e memórias distribuídas, tais pesquisas também seriam levadas em consideração neste trabalho. Entretanto, um modelo que possibilitasse um maior potencial para execução de cálculos voltados para CQ (como multiplicação de matrizes onde os qubits estivessem em múltiplos estados) tornaria o estudo da mesma e a simulação de algoritmos quânticos mais simples e acessível.

### 2. METODOLOGIA

Para a realização desse trabalho, foram revistas abordagens de memórias com foco principal na simulação de algoritmos quânticos multiqubits, considerando as necessidades específicas em CQ em comparação aos modelos padrões utilizados na computação clássica. As peculiaridades da CQ podem definir o modelo a ser adotado, logo não podem ser desconsideradas para o seguimento do estudo. Foram estudados modelos de memória utilizados por simuladores de CQ, a abstração padrão no estudo da CQ na ausência do

hardware quântico. As implementações utilizadas em simuladores podem ser utilizadas para a formulação do modelo de memória. Além disso, a análise de simuladores é importante para formulação do espaço de estados quânticos, ou de estruturas que melhorem o desempenho da simulação.

Este trabalho está sendo desenvolvido seguindo uma metodologia incremental, consistindo de etapas de estudo das memórias para CQ, desenvolvimento de uma análise das correlações entre trabalhos relacionados e proposta de um modelo, incluindo desenvolvimento e validação do componente de software. Nesse sentido, a detecção de inconformidades em uma dada etapa, poderá disparar um retorno à etapa imediatamente anterior para refinamentos e correções. O suporte computacional será fornecido pelo LUPS/UFPEL.

## 2.1. Distributed Geometric Machine (D-GM)

O ambiente D-GM (AVILA, 2016) apresenta-se como um simulador cujos principais componentes são o ambiente de desenvolvimento VPE-qGM e o de execução VirD-GM (FONSECA et al., 2007) das aplicações quânticas. O D-GM conta com interface gráfica e diversas otimizações que buscam melhorar o seu desempenho, considerando a execução de duas classes de transformadas quânticas especiais: as transformações unitárias, e as controladas, as quais estão caracterizadas por operadores matriciais densos e esparsos respectivamente. Por último, o D-GM possui a capacidade de utilizar tanto a GPU para realização de cálculos, quanto a CPU para computação distribuída, estando em consolidação de uma arquitetura híbrida para desenvolvimento de aplicações quânticas.

A figura 1 mostra como o ambiente de simulação D-GM é organizado. Cada um dos quatro níveis possui seu próprio propósito em direção a unificação da modelagem e simulação de processos:

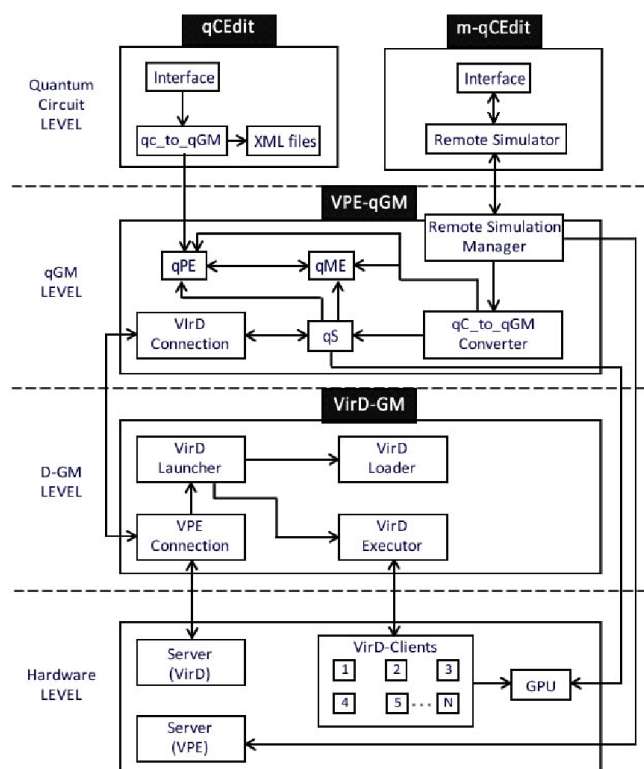


Figura 1: O *Framework* D-GM dividido em níveis correspondentes às suas funções e tarefas

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho tem como objetivo geral a otimização do ambiente D-GM, através do estudo da concepção, representação e modelagem do comportamento da memória de um sistema quântico, visando encontrar propriedades que permitam otimizações relacionadas ao espaço de memória necessário para seu armazenamento em um computador clássico. Estas otimizações permitiriam a simulação tanto sequencial quanto paralelamente, das aplicações no D-GM e incrementam o número de qubits nas aplicações multi-qubits.

Assim, este trabalho colabora com a proposta de uma arquitetura de memória, visando uma melhoria quanto a representação da memória, sendo que a mesma pode ser utilizada em outros softwares buscando utilizar propriedades como localidade espacial e temporal.

Como um exemplo disso, ilustramos na figura 2 um resumo gráfico dos resultados obtidos através de simulações do D-GM. Para tanto, utilizamos um modulo desenvolvido ao longo deste trabalho em conjunção a uma ferramenta da Intel de nome Pin Tools (LUK et al., 2005). O Pin Tools gera dados de acesso à memória, seja para leituras ou escritas, enquanto que nossa ferramenta percorre os dados gerados selecionando os que nos são importantes, com este último resultado criamos gráficos que refletem a simulação original.

Na imagem 2 o eixo das abscissas corresponde a ordem que os eventos estão ocorrendo, enquanto que no eixo das ordenadas temos os índices dos vetores utilizados pelo D-GM. Finalmente, ao longo da execução leituras e escritas estão sendo feitas em relação a cada posição de cada vetor.

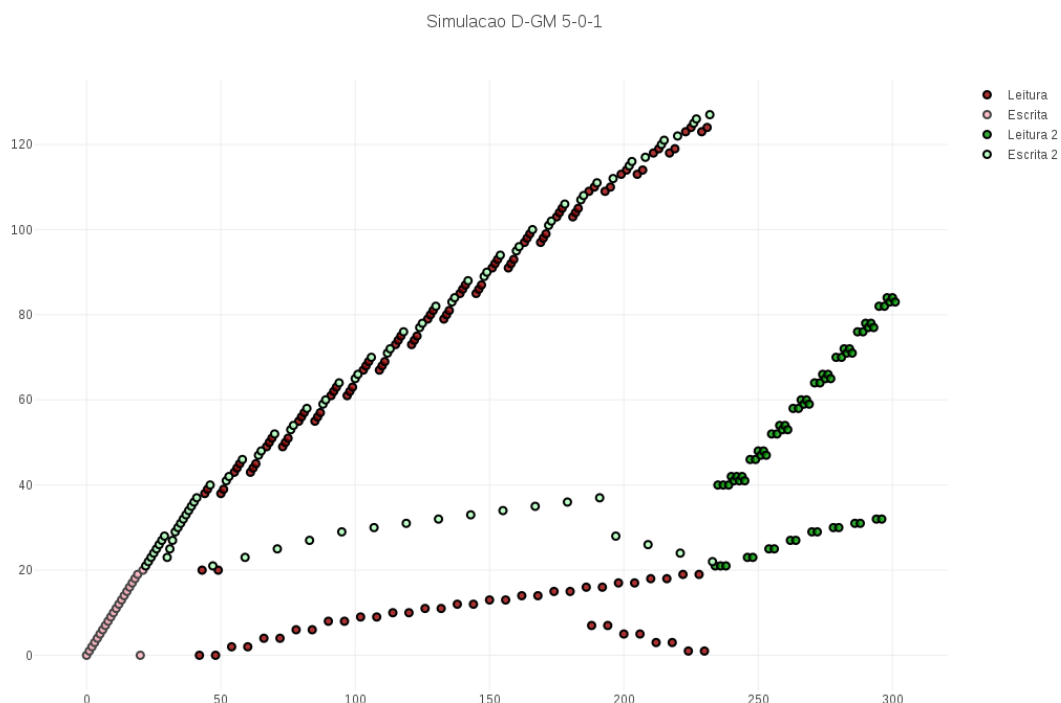


Figura 2: Acessos à memória feitos pelos vetores de estado quântico do D-GM ao serem analisados pela nossa ferramenta.

## 4. CONCLUSÕES

Por fim, este trabalho foca na melhor utilização da memória por parte de simuladores de computação quântica. Este problema é relacionado a uma parte sensível do computador (memória), e se torna mais evidente com o crescimento dos circuitos quânticos e operações realizadas pelos simuladores (principalmente devido aos produtos tensores). Além disso, para fazer melhor uso dos recursos computacionais disponíveis, assim como para criarmos melhores simuladores, devemos tentar tirar o máximo proveito das arquiteturas que utilizamos.

Adicionalmente este trabalho traz uma abordagem sobre um antigo problema: como melhorar o desempenho da memória ao efetuar multiplicação de matrizes. Tal problema é recorrente na ciência da computação, onde mesmo com a melhora da memória e adições como cache ainda observamos baixos desempenhos (dependendo do tamanho das matrizes). Nossa ideia é observar os resultados do nosso módulo e assim melhorar o simulador D-GM, entretanto o nosso resultado não seria limitado a computação quântica, podendo ser estendido a outras áreas da computação, e até mesmo outros campos de estudo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVILA, A. B.; REISER, R. H.; PILLA, M. L. Quantum computing simulation through reduction and decomposition optimizations with a case study of Shor's algorithm. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 2016.

FONSECA, V.; REISER, R.; YAMIN, A.; PILLA, M. Vird-gm: Towards a grid computing environment. In: *CCGRID, 2007. Proceedings, 2007. v.2007*, p.1–6.

LUK, C. K.; COHN, R.; MUTH, R.; PATIL, H.; KLAUSER, A.; LOWNEY, G.; WALLACE, S.; REDDI, V. L.; HAZELWOOD, K.. Pin: building customized program analysis tools with dynamic instrumentation. In: *ACM SIGPLAN NOTICES*, 2005. v.40, n.6, páginas 190–200.

PESSOA JR, O. *Conceitos de Física Quântica 1*. São Paulo - SP, Brasil: Editora Livraria da Física, 2003. v.1.

PORTUGAL, R.; LAVOR, C. C.; CARVALHO, L. M.; MACULAN, N. *Uma introdução à computação quântica*. São Carlos - SP, Brasil: Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional (SBMAC), 2004.

WULF, W. A.; MCKEE, S. A. Hitting the memory wall: implications of the obvious. *ACM SIGARCH computer architecture news*, v.23, n.1, p.20–24, 1995.