

Estudo de Algoritmos Quânticos Orientados a Ferramentas de Otimização e Aplicados ao Planejamento Florestal

Coordenador: Rodrigo Bloot

Resumo

O presente relatório diz respeito as atividades desempenhadas no projeto de pesquisa e descreve os procedimentos realizados com respeito ao plano de trabalho vinculado ao convenio. Também são descritas as atividades de extensão representadas por um curso fornecido para a comunidade.

Data: 17 de outubro de 2022 até 16 de outubro de 2023.

Bolsistas envolvidos

Estavam envolvidos dois bolsistas de pesquisa (8h de dedicação semanal) e um aluno de iniciação científica (12h de dedicação semanal).

Rodrigo Bloot com dedicação semanal de 8h

Bolsas recebidas: Doze Bolsas de pesquisador de R\$ 1.200,00 (novembro e dezembro)

Raphael Fortes Infante Gomes semanal com dedicação de 8h

Bolsas recebidas: Doze Bolsas de pesquisador de R\$ 1.200,00 (novembro e dezembro)

Gabriel K. de Almeida com dedicação semanal de 12h

Bolsas recebidas: Doze Bolsas de Iniciação Científica de R\$ 500,00 (novembro e dezembro)

Consultor Envolvido

Engenheiro Anton Simen Albino (Consultor)

Pagamento por prestação de serviços técnicos profissionais em uma parcela de R\$ 8.000,00 (pago em abril) referente a consultoria e auxílio na elaboração do curso e em temas relacionados a plataforma IBMQ.

Metodologia de trabalho adotada

Os participantes envolvidos desenvolveram as investigações de acordo com a carga horária delimitada no plano de trabalho. Todos estavam encarregados de apresentar suas investigações em seminários que ocorrem a cada quinze dias para discussão com membros da equipe. A organização dos seminários ficou a cargo do coordenador do projeto e tiveram a participação de membros da Klabin envolvidos com o projeto financiado.

Metas previstas no plano de trabalho

Nesta seção serão descritas as metas estabelecidas no plano de trabalho bem como os resultados obtidos com respeito a cada uma delas.

Meta 1

Para o primeiro mês de execução (17/outubro até 17/novembro), a meta era fazer uma revisão completa da literatura existente com relação aos algoritmos QAOA e VQE.

Resultados obtidos com respeito a meta 1

Nesta meta a equipe fez a revisão de bibliografia com respeito aos algoritmos Variational Quantum Eigensolver (VQE) e Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA). Também foram explorados os algoritmos Circuit Evolution e Grover. Os algoritmos foram implementados e testados para um conjunto de teste sintético com o objetivo de compreender aspectos intrínsecos de sua estrutura. Dados os avanços na compreensão destas ferramentas consideramos a meta 1 realizada com sucesso com relação ao objetivo de usá-las no problema alvo. As principais bibliografias usadas estão no final do relatório.

Meta 2

Para as datas 18/novembro de 2022 até 17/fevereiro de 2023 a meta consistia em desenvolver a modelagem do problema híbrido (Quântico – Clássico).

Resultados obtidos com respeito a meta 2

Nesta meta foram desenvolvidos estudos com respeito a formulação do problema de plantio de culturas na forma de um problema de otimização inteira. Foram avaliados modelos de programação linear inteira e sua formulação em termos de um QUBO o qual é convertível para problemas da forma do Hamiltoniano. A formulação sintética do problema florestal foi realizada em conjunto com o pessoal da Klabin. Além disso, a formulação em termos de QUBO permitiu a construção de um Hamiltoniano de Ising que descreve a contraparte quântica do problema o qual é modelado para o uso de 16 qubits. Para efeitos de prova de conceito também foi estudado uma versão do problema do set-packing e caixeiro viajante para a validação da metodologia. A modelagem e formulação por QUBO do problema florestal e dos casos set-packing e caixeiro viajante foram apresentados em seminários do grupo de pesquisa.

Meta 3

A meta três é sobre a aplicação dos algoritmos QAOA e VQE nos problemas estudados e implementação nas plataformas avaliadas.

Resultados com respeito a meta 3

A meta três é sobre a aplicação dos algoritmos QAOA e VQE nos problemas estudados e implementação nas plataformas avaliadas. Os métodos foram aplicados no set-packing e no caixeiro viajante (problemas não relacionados com o objeto de pesquisa principal do projeto) com o propósito de entender três

aspectos do uso destas novas tecnologias: A simulação, a aplicação em dispositivos para uso livre e por fim limitações de escala.

Compreender a estrutura dos simuladores é fundamental para determinar se as formas variacionais aplicadas poderão ser usadas de forma eficiente em futuros dispositivos avaliáveis para uso. A avaliação dos simuladores estudados no contexto dos problemas do set-packing e do caixeiro viajante serão formatados e sumarizados em um relatório técnico na forma de artigo científico que será apresentado a equipe da Klabin e solicitada a submissão e publicação em periódico científico de circulação internacional. Dada a escassez de qubits, vamos aplicar esta análise a uma versão simplificada do caixeiro-viajante em computadores reais da IBM quantum. Tais resultados também estarão listados no relatório técnico citado e que vai ser apresentado junto com o relatório final previsto no plano de trabalho atual.

Quanto ao problema sintético formulado foram aplicados os métodos VQE e QAOA no contexto de simuladores quânticos. Como o problema tem um número mínimo de 16 qubits, não existe na IBMQ um computador real gratuito para uso. Neste caso, avaliamos a eficiência dos simuladores e comparamos performance e gargalos para a escalabilidade da técnica.

Também foi estudada nesta etapa a plataforma fotônica da Xanadu na qual foram avaliadas formas de converter os algoritmos para uso nesta plataforma. Da mesma forma que a IBM, a Xanadu possui simuladores e alguns hardwares disponíveis. No entanto, dada a natureza distinta do hardware, é necessário adaptar os algoritmos para usar tais dispositivos. Neste quesito algumas dificuldades ainda persistem e serão descritas no relatório técnico a ser entregue a Klabin.

Meta 4

Compilação dos resultados e rotinas criadas. Elaboração de um relatório técnico a ser apresentado aos pesquisadores da Klabin S/A. Transferência ao Departamento de Pesquisa e Inovação da Klabin de todas as rotinas implementadas. Elaboração de um manual de uso da plataforma da *Xanadu*.

Resultados com respeito a meta 4

Neste momento estamos trabalhando na elaboração de dois artigos científicos para serem submetidos em revistas de circulação internacional. Também ocorrerá um workshop dia 28/09/2023 de forma online onde os resultados relacionados com o problema de planejamento florestal serão discutidos com os membros da Klabin. Os relatórios técnicos serão entregues até o prazo final previsto no plano de trabalho. Os resultados que contém pesquisa com respeito ao problema florestal serão submetidos após serem discutidos com o pessoal da Klabin.

Preparação do Curso para a comunidade

Um outro tópico previsto no plano de trabalho era um curso de extensão de 20h com o objetivo de prover treinamento introdutório de computação quântica para

a comunidade. Nos meses de novembro e dezembro foi discutido pela equipe executora a estrutura do curso, com a ajuda do consultor Anton Simen Albino, e a data de sua execução. Este curso está em conformidade com a indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão.

Aplicação do curso de extensão para a comunidade

O curso aconteceu de 15 a 28 de março de 2023 e foi online. As vagas eram 20 com 10 reservadas para alunos de graduação da UNILA e 10 reservadas ao público externo. Devido ao número elevado de inscrições foram liberadas 25 vagas. Tratou-se de um curso de 20 horas. Participantes Internos: A maioria dos participantes internos eram alunos de Engenharia Física da UNILA e um do curso de Engenharia de Energias. Participantes Externos: Os participantes externos eram alunos de graduação/pós-graduação da UNICAMP, UFSCAR, USP, UFOB, UFSC e UERJ entre outras.

Este curso tinha por objetivo divulgar algumas das ferramentas que estão sendo usadas no projeto de pesquisa em parceria com a Klabin. Um dos objetivos complementares do projeto era a propagação e divulgação de conhecimento para membros da comunidade externa por meio de um curso de extensão. Além disso, queremos colaborar para a implantação de uma rede densa de conhecimento nesta área e que seja espalhada pelo Brasil. Com relação ao curso uma parte da carga horária era referente a atividades relacionadas com os temas apresentados nas aulas.

Também coletamos alguns feedbacks dos participantes com o objetivo de aprimorar ações futuras nesta direção. Abaixo coloco alguns comentários dos cursistas em relação à pergunta: "Descreva em poucas palavras quais eram suas expectativas para o curso e se, em alguma medida, ele foi útil para sua área de formação e interesses profissionais". As respostas selecionadas foram as dos alunos Nicolas Iunovich Konig (UNILA), Bruno Finazzi (UNICAMP) e Idrissa Deme (UERJ) e seguem na ordem respectiva.

1)"A minha expectativa era a de ter uma noção relacionada ao tema proposto. Ele foi bastante útil a fim de curiosidade e em relação a área de formação, visto que não tinha conhecimento nenhum do tema antes do início do curso".

2)"Minhas expectativas do curso eram aprender mais profundamente como um computador quântico realiza suas operações e como utilizá-los, além de compreender como um computador quântico pode ser muito mais rápido que um computador digital em algumas operações, neste sentido o curso clareou muitas dúvidas, mas ainda sobram muitas especialmente pela limitação da duração do curso".

3) "O curso foi um momento de grande aprendizado para mim. Foi a primeira vez que testei circuitos e vi de fato o funcionamento dos algoritmos de otimizações usando computação quântica. Me permitiu ver aplicações práticas da computação quântica que para mim era uma coisa mais para o futuro. Tive alguns problemas no início para a instalação do qiskit mas resolvido isso consegui entender boa parte do conteúdo. Gostaria que o curso fosse mais

extenso, quem sabe num estilo curso de verão para permitir uma imersão total. Obrigado e parabéns aos professores pela qualidade do curso”.

Outros feedbacks foram coletados e acreditamos que o curso foi bem-sucedido no intuito de divulgar ferramentas, ensinar procedimentos práticos e teóricos de um tema muito atual e de importância.

Os resultados do curso foram apresentados no evento híbrido Quantum Week na palestra online intitulada "Computação Quântica na Indústria: caso prático e desafios na formação de recursos humanos" realizada em conjunto com Arnaldo Satoru Gunzi coordenador do plano de trabalho pela Klabin. Nesta palestra descrevemos como foi o curso dentro do contexto projeto de pesquisa "Estudo de algoritmos quânticos orientados a ferramentas de otimização e aplicados ao planejamento florestal" e suas repercussões na busca e formação de recursos humanos.

Por fim, os certificados foram fornecidos pela PROEX da UNILA de maneira que os participantes puderam contabilizar as horas de estudo e dedicação.

Conclusão

Os membros do projeto trabalharam com o objetivo de cumprir as metas do plano de trabalho. A formulação do problema sintético florestal ocorreu com sucesso mostrando ser possível atacar tal problema por meio dos Algoritmos quânticos. Existe um gargalo de qubits e acesso a máquinas reais as quais estão hoje todas concentradas na América do Norte (EUA e Canada). O projeto vai possuir uma segunda parte e as tratativas de renovação estão ocorrendo.

Bibliografia Básica Utilizada

Cerezo, M., Arrasmith, A., Babbush, R., Benjamin, S. C., Endo, S., Fujii, K., et al. (2021). Variational quantum algorithm. *Nature Communications* 3, 625–644

Deutsch, D. (1985). Quantum theory, the church-turing principle and the universal quantum computer. *501 Proceedings of the Royal Society of London* 400,, 97–117

Deutsch, D. and Jozsa, R. (1992). Rapid solution of problems by quantum computation. *Proceedings of 503 the Royal Society of London* 439, 553–558

Franken, L., Georgiev, B., Mucke, S., Heese, M. W. R., Bauckhage, C. and Piatkowski, N. 2022. Quantum Circuit Evolution on NISQ Devices. <https://arxiv.org/pdf/2012.13453.pdf> 1 (Aug. 2022).

Farhi, E., Goldstone, J. and Gutmann, S. 2014. A Quantum Approximate Optimization Algorithm. <https://arxiv.org/abs/1411.4028> 1 (2014)

Garey, M. R. and Johnson, D. S. 1979. *Computers and Intractability. A Guide to the Theory of NP-Completeness*. W.H. Freeman, New York.

Glover, F., Kochenberger, G., Du, Y. Quantum Bridge Analytics I: A Tutorial on Formulating and Using QUBO Models. Arxiv

Krazyzanowsky, G., Bloot, R., Albino, A. S. Soluções de algumas instâncias do Problema do Caixeiro Viajante por meio do método variacional de Rayleigh-Ritz aplicados na plataforma IBMQ. Anais do IV COBICET (2023). Online.

Lucas, A. 2014. Ising Formulations of many NP Problems. *Frontiers in Physics* 2, 5 (2014), 1–15.

Sipser, M. 2007. *Introduction to the theory of computation*. Cengage Learning, Boston

Preskill, J. (2018). Quantum Computing in the NISQ era and beyond. *Quantum* 2, 1–20



Emitido em 12/09/2023

RELATÓRIO DE ATIVIDADES DO CONVÊNIO Nº 1/2023 - DAILACVN (10.01.06.03.04.01)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 12/09/2023 11:25)

RODRIGO BLOOT

PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR

ILACVN (10.01.06.03.04)

Matrícula: ###364#9

Visualize o documento original em <https://sig.unila.edu.br/documentos/> informando seu número: **1**, ano: **2023**, tipo:
RELATÓRIO DE ATIVIDADES DO CONVÊNIO, data de emissão: **12/09/2023** e o código de verificação:
f3cb2783e8