



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Departamento Acadêmico de Ciência da Computação – DACOM



Projeto

Escola de Computação Paralela (ECP-2024)

Prof. Dr. Rogério Aparecido Gonçalves

Projeto de Extensão

Área de Conhecimento (CNPq):
1.03.00.00-7 – Ciência da Computação

Campus Campo Mourão

Campo Mourão
Junho/2024

Escola de Computação Paralela (ECP-2024)

Prof. Rogério Aparecido Gonçalves

4 de junho de 2024

Resumo

Resumo. *Sistemas Computacionais cada vez mais tornam-se heterogêneos. A Computação Paralela é uma área importante para o desenvolvimento científico e tecnológico do país. A falta de profissionais que tenham conhecimentos sobre Computação Paralela é uma barreira tanto para a manutenção da área de conhecimento e pesquisas científicas, quanto para o mercado que precisa muitas vezes de profissionais com habilidades específicas nessa área. O objetivo principal deste projeto é preparar e ministrar minicursos, proporcionando uma formação complementar em temas de Computação Paralela, bem como o estudo de tecnologias e de linguagens de programação voltadas à Computação de Alto Desempenho em Sistemas Heterogêneos. Além de preparar os participantes para comporem equipes de competição para maratonas e desafios de computação paralela e colaborar na divulgação científica dos temas relacionados à Computação.*

Abstract. *Computer Systems are increasingly becoming heterogeneous. Parallel Computing is an important area for the country's scientific and technological development. The lack of professionals who know about Parallel Computing is a barrier both to maintaining the area of knowledge and scientific research and to the job market, which often needs professionals with specific skills in this area. The main objective of this project is to prepare and teach short courses, providing additional training in Parallel Computing topics, as well as the study of technologies and programming languages aimed at High-Performance Computing in Heterogeneous Systems. In addition to preparing participants to form competition teams for marathons and computing challenges in parallel and collaborating in the science dissemination on topics related to Computing.*

Palavras-chave: Computação Paralela. Computação Heterogênea. GPGPU. OpenMP. Modernização de Código. Educação.

1 Introdução

Os limites físicos e a barreira da potência em componentes de processadores levaram ao desenvolvimento de máquinas com diversos núcleos de processamento [Szydlowski \(2005\)](#). Além disso, sistemas de computação que buscam desempenho e eficiência energética necessitam de múltiplos recursos de computação em contextos específicos de aplicações [Hennessy and Patterson \(2019\)](#). É intrínseco o uso desses múltiplos recursos de forma paralela para a eficiência de um Sistema de Computação. Contudo, a falta de profissionais que tenham conhecimentos sobre Computação Paralela é uma barreira tanto para a manutenção da área de conhecimento e pesquisas científicas, quanto para o mercado que precisa muitas vezes de profissionais com habilidades específicas nessa área.

O contato com conceitos, técnicas, ferramentas e ambientes de programação e computação paralela proporcionam a alunos e participantes externos da comunidade uma formação complementar aos assuntos abordados em disciplinas básicas dos cursos de Ciência da Computação. Possibilitando que tenham condições de solucionar problemas que dependam de ambientes, linguagens, técnicas e mecanismos de Computação Paralela.

2 Objetivo Geral

O objetivo principal do projeto é preparar e ministrar minicursos sobre temas relacionados a *Computação Paralela*. Com o intuito de capacitar os participantes (membros da comunidade externa, profissionais e alunos dos cursos da UTFPR) para o desenvolvimento de aplicações paralelas e trabalharem com temas atuais de pesquisa na área. Proporcionando uma formação complementar em temas de Computação Paralela, bem como o estudo de tecnologias e de linguagens de programação voltadas à Computação Paralela e de Alto Desempenho em Sistemas Heterogêneos. Além de preparar os participantes para comporem equipes de competição para maratonas e desafios de computação paralela e colaborar na divulgação científica dos temas relacionados à Computação.

3 Objetivos Específicos

Queremos com este projeto, estudar conceitos, técnicas, metodologias, linguagens e tecnologias sobre Computação Paralela e Computação Heterogênea. Pretendemos alcançar esse objetivo com o desenvolvimento de material e apresentação de minicursos sobre tópicos bem consolidados e emergentes na área de Computação Paralela. Além de preparar os participantes para comporem equipes de competição para maratonas e desafios de computação paralela e colaborar na divulgação científica dos temas relacionados à Computação.

4 Justificativa

A formação cada vez mais rara de profissionais que seguem carreira em áreas relacionadas a Sistemas de Computação, como Computação Paralela e Compiladores criam a necessidade de que treinamentos e aproximações tenham que ser feitas para a própria manutenção dessas áreas fundamentais na Ciência da Computação.

5 Métodos e Procedimentos

Serão preparados materiais sobre tópicos já consolidados e amplamente utilizados no contexto de Computação Paralela e tópicos emergentes relacionados também com áreas afins, como por exemplo *Inteligência Artificial* e *Aprendizagem de Máquina*, que tem alta demanda de processamento paralelo para a execução de modelos cada vez mais complexos.

A preparação de materiais para os minicursos inclui a escrita de um texto base, de exemplos de código e das apresentações relacionadas ao conteúdo. Apresentação dos conteúdos será em aulas práticas e teóricas, no formato de minicursos e tutoriais de 4 a 8 horas.

Pretendemos que este seja um projeto contínuo e que no decorrer do ano alguns desses minicursos sejam ministrados pelo proponente ou colaboradores, como professores e alunos do grupo de pesquisa ou alunos ligados ao projeto de extensão.

6 Resultados Esperados

Esperamos com esse projeto dar continuidade na elaboração de materiais para os minicursos em complemento ao material já preparado nas edições de 2017 e 2018 da ECP e do projeto de extensão associado a cada uma delas.

Queremos ministrar esses minicursos aos alunos do curso de Bacharelado em Ciência da Computação e Técnico Integrado em Informática e a todos os membros da comunidade acadêmica e externa que se interessarem pelos assuntos relacionados à Computação Paralela.

Serão propostas *ações de extensão* intituladas como "Quarta-Paralela" vinculadas a este projeto para a realização de cada minicurso. Para eventuais minicursos ministrados em eventos externos a emissão de certificado fica na responsabilidade dos organizadores.

O público-alvo esperado é composto por alunos, funcionários da UTFPR e profissionais da comunidade externa que tenham interesse pelos assuntos abordados. Pretendemos atender 22 participantes em cada uma das turmas para a execução de cada minicurso.

Como produção de recursos educacionais para serem disponibilizados, pretendemos elaborar um conjunto de materiais e tutoriais que serão agrupados em uma edição de um livro texto "*Escola de Computação Paralela: Minicursos e Tutoriais*". Os minicursos pretendidos estão listados na Tabela 1.

Tabela 1: Minicursos

#	Minicurso	Descrição
1	Introdução à Computação Paralela e Programação <i>Multithreading</i> usando <i>Pthreads</i>	Introdução à Computação Paralela Histórico do Hardware e Mecanismos para Computação Paralela Suporte do Sistema Operacional à Programação Paralela Programação Concorrente e <i>Multithreading</i> Introdução a conceitos sobre <i>threads</i> e uso do modelo de programação com <i>threads</i> utilizando a biblioteca <i>Pthreads</i> do GNU/Linux.
2	Introdução à Programação Paralela com OpenMP: Além das Diretivas de Compilação	Introdução ao OpenMP (Dagum and Menon, 1998) e suas <i>Diretivas de Compilação</i> (Chapman et al., 2007). Ferramentas de Compilação GCC (GCC, 2015; GNU Libgomp, 2015), Intel icc (Intel, 2016a,b) e LLVM clang (Lattner and Adve, 2004; LLVM Clang, 2015) e seu suporte ao OpenMP. Diretivas para <i>regiões paralelas</i> e <i>laços</i> . Uso de diretivas de compilação para <i>Tasks</i> . Uso de diretivas de compilação para SIMD. Uso de diretivas de compilação para Aceleradores (target) (OpenMP-ARB, 2021) (LLVM/OpenMP, 2024) (OpenMP API Site, 2024) (LLVM OpenMP, 2015).
3	Uso das Diretivas de Compilação do padrão OpenACC	Introdução às Diretivas de Compilação do OpenACC OpenACC (2024) OpenACC-Standard.org (2022). Gerando código para Aceleradores utilizando Diretivas de Compilação do OpenACC.
4	Introdução à Computação Paralela em Sistemas Heterogêneos: Programação para GPUs com a Plataforma CUDA	Introdução ao CUDA Arquiteturas das GPUs Modelo de Programação e Execução Memória Mapeada no Host e Memória Unificada (UVA) Paralelismo Dinâmico Perfilamento e Depuração Recursos para o uso de Multi-GPUs
5	Infraestrutura de Compilação do LLVM	Introdução ao Projeto LLVM Ferramentas e projetos do LLVM Geração de Código com LLVM Introdução ao Desenvolvimento com LLVM
6	Introdução à Computação Heterogênea com OpenCL	Introdução à Plataforma de Computação Heterogênea OpenCL Modelo de Programação, Modelo de Execução, Modelo de Memória
7	Introdução ao uso de pyTorch Para Computação em GPUs para Implementação de Modelos de Aprendizagem Profunda	Introdução sobre Redes Neurais Artificiais Introdução à ferramenta pyTorch Implementação de Redes Neurais Artificiais usando pyTorch Avaliação de modelos Comparação com implementações em CPU
Continua na próxima página		

Tabela 1 – Continua na página Anterior

#	Minicurso	Descrição
8	Introdução ao uso de TensorFlow para Computação em GPUs para Implementação de Modelos de Aprendizagem Profunda	Introdução sobre Redes Neurais Artificiais Introdução à ferramenta TensorFlow Implementação de Redes Neurais Artificiais usando TensorFlow Avaliação de modelos Comparação com implementações em CPU
9	Introdução à Modernização de Código	Vetorização. Suporte à Vetorização no Hardware e nos Compiladores. Uso de bibliotecas otimizadas pelos fabricantes.
10	Introdução à Computação Heterogênea com a Linguagem Julia	Explorar e utilizar recursos de Linguagens Modernas. Suporte à Computação Paralela e Distribuída em Julia (Bezanson et al. 2017) (JULIAPROJECT 2021)
11	Suporte a Aceleradores em Linguagens de Programação Modernas	Explorar e utilizar o suporte a Aceleradores em Linguagens de Programação Modernas.

7 Recursos Financeiros, Humanos e Físicos e Equipamentos Disponíveis

A Equipe Executora do projeto conta com o proponente como Coordenador e com o *Prof. Dr. João Fabrício Filho* como vice-coordenador, membros do Grupo de Pesquisa *Computação de Alto Desempenho e Sistemas Distribuídos* (dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/6083543477111893) e do *Grupo de Estudos sobre Desempenho, Máquinas Virtuais, Arquitetura de Computadores e Compiladores (GEDVAC)* da UTFPR-CM. Contaremos com a participação de alunos interessados nos temas dos minicursos ou de participantes de disciplinas extensionistas que possam ser vinculadas às atividades do projeto.

As atividades do projeto serão desenvolvidas no *Laboratório de Arquitetura de Computadores e Computação Paralela da UTFPR-CM* e outros laboratórios de ensino que tenham capacidade para receber o público.

O Grupo de Pesquisa tem disponíveis os equipamentos da Tabela 2.

Tabela 2: Máquinas

Máquina	Descrição
TitanX	Servidor com processador Intel(R) Core(TM) i7-8700 CPU @ 3.20GHz (6 cores, 12 threads), com 32GB de RAM e com duas GPUs: uma GPU Titan X Pascal recebida via doação através do GPU Grant Program 2017 da NVIDIA para outra edição desse projeto e outra Tesla K40C.
Armagedon	Servidor com processador Intel(R) Core(TM) i7-4790 CPU @ 3.60GHz (4 cores, 8 threads) e com 32GB de RAM e duas GPUs: 1 NVIDIA GeForce RTX 3060 com 12GB de Memória e 1 NVIDIA GeForce RTX 2060 com 6GB de Memória. A RTX 2060 adquirida com recursos recebidos do Edital Nº 03/2020 do Programa de Apoio a Pesquisa e Pós-Graduação - DIRPPG-CM (PAPPG-CM 2020) .

8 Cronograma

O período estipulado para a vigência desse projeto é de **08/2024** a **07/2025**, totalizando **12 meses**. A Figura 1 apresenta um cronograma com as atividades apresentadas na Seção 8.1.

8.1 Lista das Atividades

As atividades propostas estão distribuídas entre *preparação* do material e *execução* do minicurso relacionado na Tabela 1.

(T-1) *Preparação do Material do Minicurso 1*: Descrita em 1.

(T-2) *Execução do Minicurso 1*: Descrita em 1.

(T-3) *Preparação do Material do Minicurso 2*: Descrita em 2.

(T-4) *Execução do Minicurso 2*: Descrita em 2.

(T-5) *Preparação do Material do Minicurso 3*: Descrita em 3.

(T-6) *Execução do Minicurso 3*: Descrita em 3.

(T-7) *Preparação do Material do Minicurso 4*: Descrita em 4.

(T-8) *Execução do Minicurso 4*: Descrita em 4.

(T-9) *Preparação do Material do Minicurso 5*: Descrita em 5.

- (T-20) *Execução do Minicurso 10*: Descrita em 10.
- (T-21) *Preparação do Material do Minicurso 11*: Descrita em 11.
- (T-22) *Execução do Minicurso 11*: Descrita em 11.

9 Considerações Finais

Por estarmos em uma instituição de ensino pública temos um papel importante na formação de recursos humanos em áreas básicas da Ciência da Computação.

Esperamos proporcionar uma formação complementar em temas de Computação Paralela, bem como o estudo de tecnologias e de linguagens de programação voltadas à Computação Paralela e de Alto Desempenho em Sistemas Heterogêneos. Além de preparar os participantes para comporem equipes de competição para maratonas e desafios de computação paralela e colaborar na divulgação científica dos temas relacionados à Computação.

Alguns tópicos para os quais pretendemos preparar minicursos dependem da disponibilidade de equipamentos para a execução de testes e experimentos, a indisponibilidade de recursos pode inviabilizar a realização das atividades.

Referências

- B. Chapman, G. Jost, and R. van der Pas. *Using OpenMP: Portable Shared Memory Parallel Programming (Scientific and Engineering Computation)*. The MIT Press, 2007. ISBN 0262533022, 9780262533027.
- L. Dagum and R. Menon. OpenMP: An Industry-Standard API for Shared-Memory Programming. *IEEE Computational Science and Engineering*, 5(1):46–55, jan 1998. ISSN 1070-9924. doi:10.1109/99.660313. URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=615255.615542>.
- GCC. GCC, the GNU Compiler Collection, 2015. URL <https://gcc.gnu.org/>.
- GNU Libgomp. GNU libgomp, GNU Offloading and Multi Processing Runtime Library documentation (Online manual), Aug 2015. URL <https://gcc.gnu.org/onlinedocs/libgomp/>.
- J. L. Hennessy and D. A. Patterson. A new golden age for computer architecture. *Commun. ACM*, 62(2):48–60, jan 2019. ISSN 0001-0782. doi:10.1145/3282307. URL <https://doi.org/10.1145/3282307>.
- Intel. Openmp* support, Jan 2016a. URL <https://software.intel.com/pt-br/node/522678>.
- Intel. Intel® OpenMP* Runtime Library Interface. Technical report, Intel, March 2016b. URL https://www.openmpRTL.org/sites/default/files/resources/libomp_20160322_manual.pdf. OpenMP* 4.5.

- C. Lattner and V. Adve. LLVM: A Compilation Framework for Lifelong Program Analysis & Transformation. In *Proceedings of the International Symposium on Code Generation and Optimization*, number c in CGO '04, pages 75–86, Palo Alto, California, mar 2004. IEEE Computer Society. ISBN 0-7695-2102-9. doi:10.1109/CGO.2004.1281665. URL <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1281665>.
- LLVM Clang. clang: a C language family frontend for LLVM, Aug. 2015. URL <http://clang.llvm.org/>.
- LLVM OpenMP. OpenMP®: Support for the OpenMP language, Aug. 2015. URL <http://openmp.llvm.org/>.
- LLVM/OpenMP. LLVM/OpenMP 19.0.0git documentation, mai 2024. URL <https://openmp.llvm.org/>.
- OpenACC. OpenACC: More Science, Less Programming, Maio 2024. URL <http://www.openacc.org/>.
- OpenACC-Standard.org. The OpenACC(r) Application Programming Interface Version 3.3, November 2022. URL <https://www.openacc.org/sites/default/files/inline-images/Specification/OpenACC-3.3-final.pdf>.
- OpenMP API Site. The OpenMP(r) API specification for parallel programming, mai 2024. URL <http://openmp.org>.
- OpenMP-ARB. OpenMP Application Programming Interface Version 5.2. Technical report, OpenMP Architecture Review Board (ARB), 2021. URL <https://www.openmp.org/wp-content/uploads/OpenMP-API-Specification-5-2.pdf>.
- C. Szydlowski. Multithreaded technology & multicore processors. *Dr. Dobb's Journal*, 30(5), 2005.