



**CB5OFT**

VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE SOFTWARE

FORTALEZA 2017

# XXI SBLP



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

João F. N. Carvalho  
[joaofnc@dcc.ufmg.br](mailto:joaofnc@dcc.ufmg.br)

Bruno L. Souza  
[bruno.luan.souza@dcc.ufmg.br](mailto:bruno.luan.souza@dcc.ufmg.br)

Marcus R. Araújo  
[maroar@dcc.ufmg.br](mailto:maroar@dcc.ufmg.br)

Mariza A. S. Bigonha  
[mariza@dcc.ufmg.br](mailto:mariza@dcc.ufmg.br)



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

Tópicos



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

→ Tópicos

1. Descrição do Problema
2. Revisão Sistemática da Literatura (RSL)
  - Fase de Planejamento
  - Fase de Execução
  - Fase de Análise
3. Ameaças à Validade
4. Conclusão
5. Trabalhos Futuros

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## 1. Descrição do Problema



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

## 1. Problema

Duas tarefas na geração de código

Alocação de registradores: mapeamento dos pseudoregistradores do código intermediário para os registradores físicos da máquina

Escalonamento de instruções: ordenação das instruções do código para aproveitar paralelismos e minimizar o tempo de execução do programa

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

## 1. Problema

*Problema da interdependência entre as tarefas de alocação de registradores e escalonamento de instruções*



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

## 1. Problema

*Problema da interdependência entre as tarefas de alocação de registradores e escalonamento de instruções*

Se a alocação é realizada primeiramente, variáveis de instruções independentes, que poderiam ser executadas em paralelo, podem ser atribuídas a um mesmo registrador, limitando as possibilidades de escalonamento.

Por outro lado...

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

## 1. Problema

*Problema da interdependência entre as tarefas de alocação de registradores e escalonamento de instruções*

Se o escalonamento é feito antes da alocação de registradores, o tempo de permanência das variáveis nos registradores pode ser desnecessariamente longo e, em função dessa excessiva ocupação dos registradores, o número de acessos à memória pode ser aumentado

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

## 1. Problema

### Abordagens clássicas do problema

- Escalonamento de instruções antes da alocação de registradores (método *prepass*)
- Escalonamento de instruções após a alocação de registradores (método *postpass*)

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## Exemplo

```
f = a * b  
g = (c + d) * (a + e)  
h = f + g
```

Programa fonte

```
1 Load PR1, a  
2 Load PR2, b  
3 Mul PR3, PR1, PR2  
4 Load PR4, c  
5 Load PR5, d  
6 Add PR6, PR4, PR5  
7 Load PR7, e  
8 Add PR8, PR1, PR7  
9 Mul PR9, PR6, PR8  
10 Add PR10, PR3, PR9  
11 Stor PR10, h
```

Programa em linguagem  
intermediária

PR: Pseudoregistrador

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

### *Prepass*

- 1 Load PR1, a
- 2 Load PR2, b
- 3 Mul PR3, PR1, PR2
- 4 Load PR4, c
- 5 Load PR5, d
- 6 Add PR6, PR4, PR5
- 7 Load PR7, e
- 8 Add PR8, PR1, PR7
- 9 Mul PR9, PR6, PR8
- 10 Add PR10, PR3, PR9
- 11 Stor PR10, h

- 4 Load PR4, c
- 5 Load PR5, d
- 7 Load PR7, e
- 1 Load PR1, a
- 2 Load PR2, b
- 6 Add PR6, PR4, PR5
- 8 Add PR8, PR1, PR7
- 3 Mul PR3, PR1, PR2
- 9 Mul PR9, PR6, PR8
- 10 Add PR10, PR3, PR9
- 11 Stor PR10, h

- 4 Load R1, c
- 5 Load R2, d
- 7 Load R3, c
- 1 Load R4, a
- 2 Load R5, b
- 6 Add R1, R1, R2
- 8 Add R3, R4, R3
- 3 Mul R4, R4, R5
- 9 Mul R1, R1, R3
- 10 Add R4, R4, R1
- 11 Stor R4, h

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

### *Postpass*

- 1 Load PR1, a
- 2 Load PR2, b
- 3 Mul PR3, PR1, PR2
- 4 Load PR4,c
- 5 Load PR5, d
- 6 Add PR6, PR4, PR5
- 7 Load PR7, e
- 8 Add PR8, PR1, PR7
- 9 Mul PR9, PR6, PR8
- 10 Add PR10, PR3, PR9
- 11 Stor PR10, h

- 1 Load R1, a
- 2 Load R2, b
- 3 Mul R2, R1, R2
- 4 Load R3, c
- 5 Load R4, d
- 6 Add R3, R3, R4
- 7 Load R4, e
- 8 Add R1, R1, R4
- 9 Mul R1, R1, R3
- 10 Add R1, R1, R2
- 11 Stor R1, h

- 4 Load R3, c
- 5 Load R4, d
- 1 Load R1, a
- 2 Load R2, b
- 6 Add R3, R3, R4
- 3 Mul R2, R1, R2
- 7 Load R4, e
- 8 Add R1, R1, R4
- 9 Mul R1, R1, R3
- 10 Add R1, R1, R2
- 11 Stor R1, h

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## 2. Revisão Sistemática da Literatura (RSL)



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

2. RSL

## Revisão sistemática de literatura

“É uma forma de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas disponíveis que são relevantes a uma particular questão de pesquisa, área, ou fenômeno de interesse.”

Barbara Ann Kitchenham  
Technical Report TR/SE-0401  
2004



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## Conceitos

Estudos primários: investigam diretamente uma questão de pesquisa. São os estudos que contribuem para a revisão sistemática

Estudos secundários: revisam os estudos primários relacionados a um determinado tema de pesquisa, visando integrar, ou sintetizar as evidências relatadas. A RSL é uma forma de estudo secundário

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

2. RSL

## Motivações

- Resumir as evidências existentes sobre um tema

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## Motivações

- Resumir as evidências existentes sobre um tema
- Identificar possíveis lacunas nas pesquisas atuais

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## Motivações

- Resumir as evidências existentes sobre um tema
- Identificar possíveis lacunas nas pesquisas atuais
- Posicionar novas atividades de pesquisa

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## Motivações

- Resumir as evidências existentes sobre um tema
- Identificar possíveis lacunas nas pesquisas atuais
- Posicionar novas atividades de pesquisa
- Examinar a correlação entre as evidências empíricas e as hipóteses teóricas

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## Motivações

- Resumir as evidências existentes sobre um tema
- Identificar possíveis lacunas nas pesquisas atuais
- Posicionar novas atividades de pesquisa
- Examinar a correlação entre as evidências empíricas e as hipóteses teóricas
- Suportar a criação de novas hipóteses teóricas

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## Características

- Utiliza um protocolo de revisão, que nada mais é do que um plano que descreve como a revisão sistemática será conduzida, especificando as questões de pesquisa que serão respondidas e os métodos que serão utilizados

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## Características

- Utiliza um protocolo de revisão, que nada mais é do que um plano que descreve como a revisão sistemática será conduzida, especificando as questões de pesquisa que serão respondidas e os métodos que serão utilizados
- Define e documenta uma estratégia de busca dos estudos primários relevantes



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## Características

- Avalia cada um dos estudos primários de acordo com critérios de inclusão e exclusão previamente definidos

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## Características

- Avalia cada um dos estudos primários de acordo com critérios de inclusão e exclusão previamente definidos
- Especifica as informações que deverão ser extraídas de cada estudo primário, incluindo os critérios qualitativos pelos quais tais estudos serão avaliados

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## Características

- Avalia cada um dos estudos primários de acordo com critérios de inclusão e exclusão previamente definidos
- Especifica as informações que deverão ser extraídas de cada estudo primário, incluindo os critérios qualitativos pelos quais tais estudos serão avaliados
- É um pré-requisito para meta-análises quantitativas

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## Objetivos

1. Avaliar o efeito da interdependência na otimização de código

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## Objetivos

1. Avaliar o efeito da interdependência na otimização de código
2. Apresentar como a literatura tem lidado com as tarefas de alocação e escalonamento e com o problema da interdependência entre elas

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## Objetivos

1. Avaliar o efeito da interdependência na otimização de código
2. Apresentar como a literatura tem lidado com as tarefas de alocação e escalonamento e com o problema da interdependência entre elas
3. Fornecer um estudo de larga escala capaz de permitir uma melhor compreensão do problema da interdependência

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## Fases

Planejamento: todos os elementos para a realização da RSL são definidos (definição do protocolo de revisão)

Execução: busca dos estudos primários utilizando o protocolo definido

Análise: extração dos dados dos estudos selecionados e resposta das questões de pesquisa

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

➤ Planejamento

## ➤ Fase de Planejamento

### Definição do protocolo de revisão

→ Questões de Pesquisa

→ *String* de busca

→ Bases de dados

→ Critérios de inclusão e exclusão



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

➤ Planejamento

→ Questões de Pesquisa

QP1. Quais são as principais abordagens utilizadas na literatura para lidar com a interdependência entre as tarefas de alocação de registradores e escalonamento de instruções?

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

➤ Planejamento

## → Questões de Pesquisa

QP1. Quais são as principais abordagens utilizadas na literatura para lidar com a interdependência entre as tarefas de alocação de registradores e escalonamento de instruções?

QP2. Abordagens que tratam as tarefas de alocação de registradores e escalonamento de instruções de forma conjunta melhoram a otimização do código?

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

➤ Planejamento

→ Questões de Pesquisa

QP3. Para quais tipos de arquitetura as tarefas de alocação de registradores e escalonamento de instruções têm sido realizadas conjuntamente?

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

➤ Planejamento

→ *String* de busca

- Identificação de palavras-chave relacionadas ao tema de pesquisa
- Identificação de sinônimos para cada uma das palavras-chave escolhidas
- Utilização dos conectores AND e OR para unir palavras-chave e sinônimos

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

➤ Planejamento

## *String* de busca

((“interdependence” OR “interconnection” OR “interrelationship”  
OR “linkage” OR “association” OR “connection” OR “correlation”  
OR “relationship” OR “combining”))

AND

(“instruction scheduling” OR “scheduling”)

AND

(“register allocation” OR “variable spilling” OR “register packing”  
OR “register pressure” OR “register tiling”))

OR (“register allocation and instruction scheduling”)

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

➤ Planejamento

→ Bases de dados

- ACM Digital Library
- IEEE Xplore
- Science Direct
- Scopus
- Springer
- Web of Science

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## → Critérios de inclusão e exclusão

Inclusão	Exclusão
Artigos publicados em ciência da computação	Artigos duplicados
Artigos em inglês	Tutoriais, pôsteres, painéis, palestras, mesas redondas, oficinas, teses e dissertações
Estudos em formato eletrônico	Estudos que não podem ser localizados
Estudos publicados em conferências ou revistas	
Estudos relacionados ao tema da revisão	

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

➤ **Execução**

## ➤ Fase de Execução

Busca dos estudos primários utilizando o protocolo de revisão definido na fase de planejamento



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## ➤ Fase de Execução

Busca dos estudos primários utilizando o protocolo de revisão definido na fase de planejamento

Composta por:

- Processo de busca
- Processo de seleção (realizado em 4 etapas)

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

→ Processo de busca

Utilização da *string* de busca em cada uma das bases de dados escolhidas para a recuperação dos estudos primários



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

➤ Execução

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## Resultado do processo de busca

Base de dados	Total de Estudos primários obtidos
ACM Digital Library	134
IEEE Xplore	0
Science Direct	313
Scopus	27
Springer	34
Web of Science	34
Total de estudos primários obtidos	542

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

→ Processo de seleção

Utilização dos critérios de inclusão e exclusão para determinar quais dos estudos primários obtidos no processo de busca serão considerados na fase de análise



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

➤ Execução

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

➤ **Execução**

## Etapas do processo de seleção

Etapa 1: identificação de estudos duplicados. Etapa automatizada

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



➤ **Execução**

## Etapas do processo de seleção

Etapa 1: identificação de estudos duplicados. Etapa automatizada

Etapa 2: análise dos títulos

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## Etapas do processo de seleção

Etapa 1: identificação de estudos duplicados. Etapa automatizada

Etapa 2: análise dos títulos

Etapa 3: análise dos resumos

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

➤ **Execução**

## Etapas do processo de seleção

Etapa 1: identificação de estudos duplicados. Etapa automatizada

Etapa 2: análise dos títulos

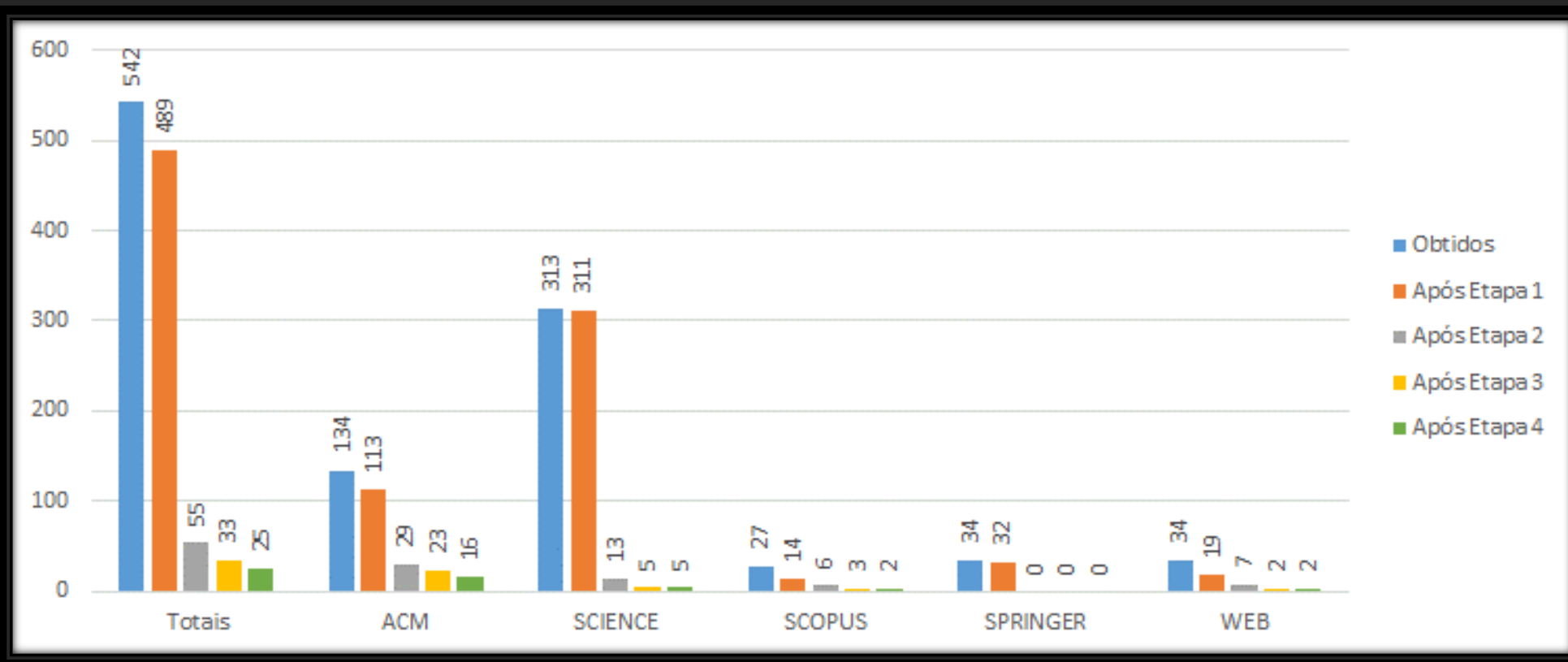
Etapa 3: análise dos resumos

Etapa 4: aplicação dos demais critérios de inclusão e exclusão



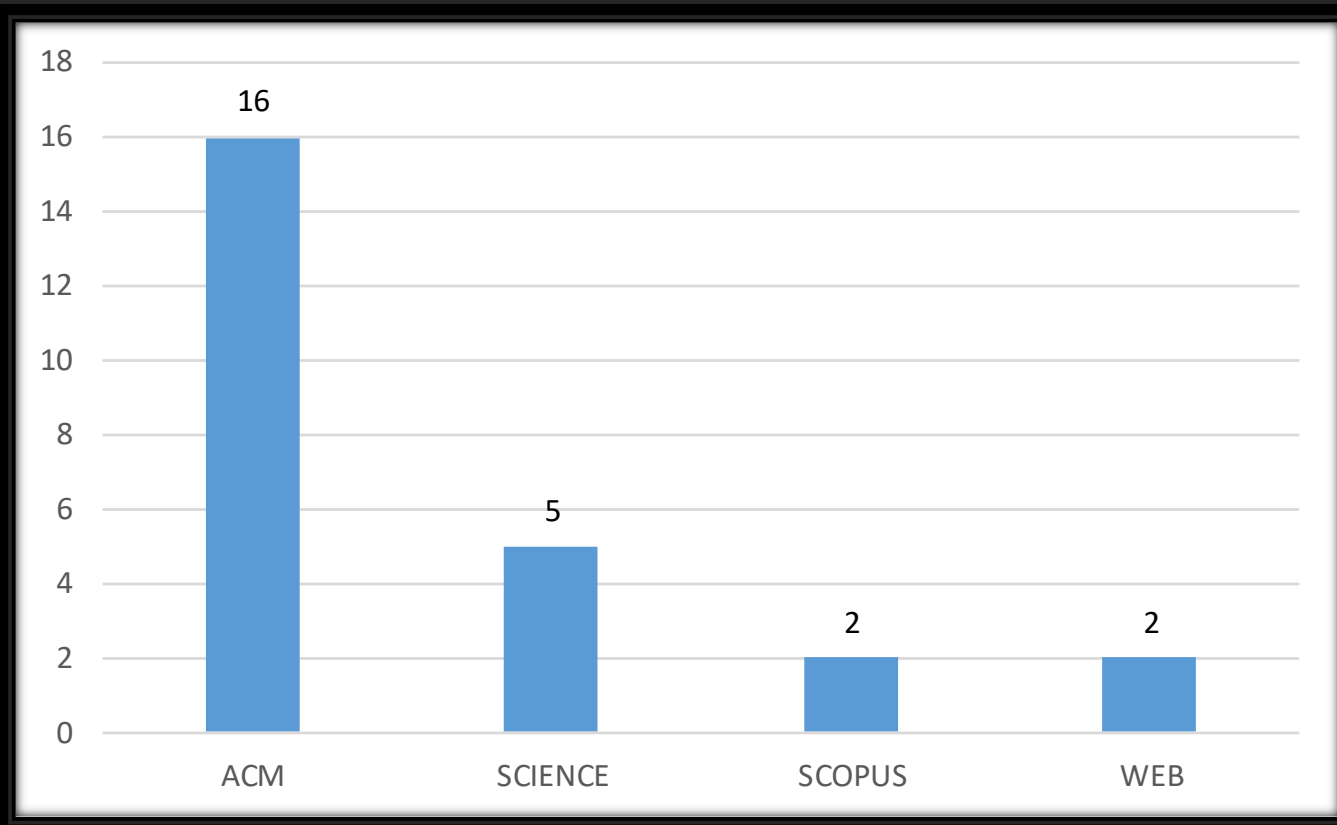
# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## Resultado do processo de seleção



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## Resultado final da fase de execução



Dos 542 estudos primários obtidos, 25 foram selecionados para a fase de análise

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## ➤ Fase de Análise

→ Extração dos dados

→ Respostas para as questões de pesquisa

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## → Extração dos dados

- Leitura e resumo de cada um dos 25 artigos selecionados, com o objetivo de responder às questões de pesquisa propostas no protocolo de revisão
- Os dados extraídos estarão disponíveis em <https://goo.gl/DzeAXn>

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

→ Respostas para questões de pesquisa

QP1. Quais são as principais abordagens utilizadas na literatura para lidar com a interdependência entre as tarefas de alocação de registradores e escalonamento de instruções?

*Abordagem cooperativa e a abordagem integrada*

Abordagem cooperativa: 56% dos estudos primários

Abordagem integrada: 40%

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

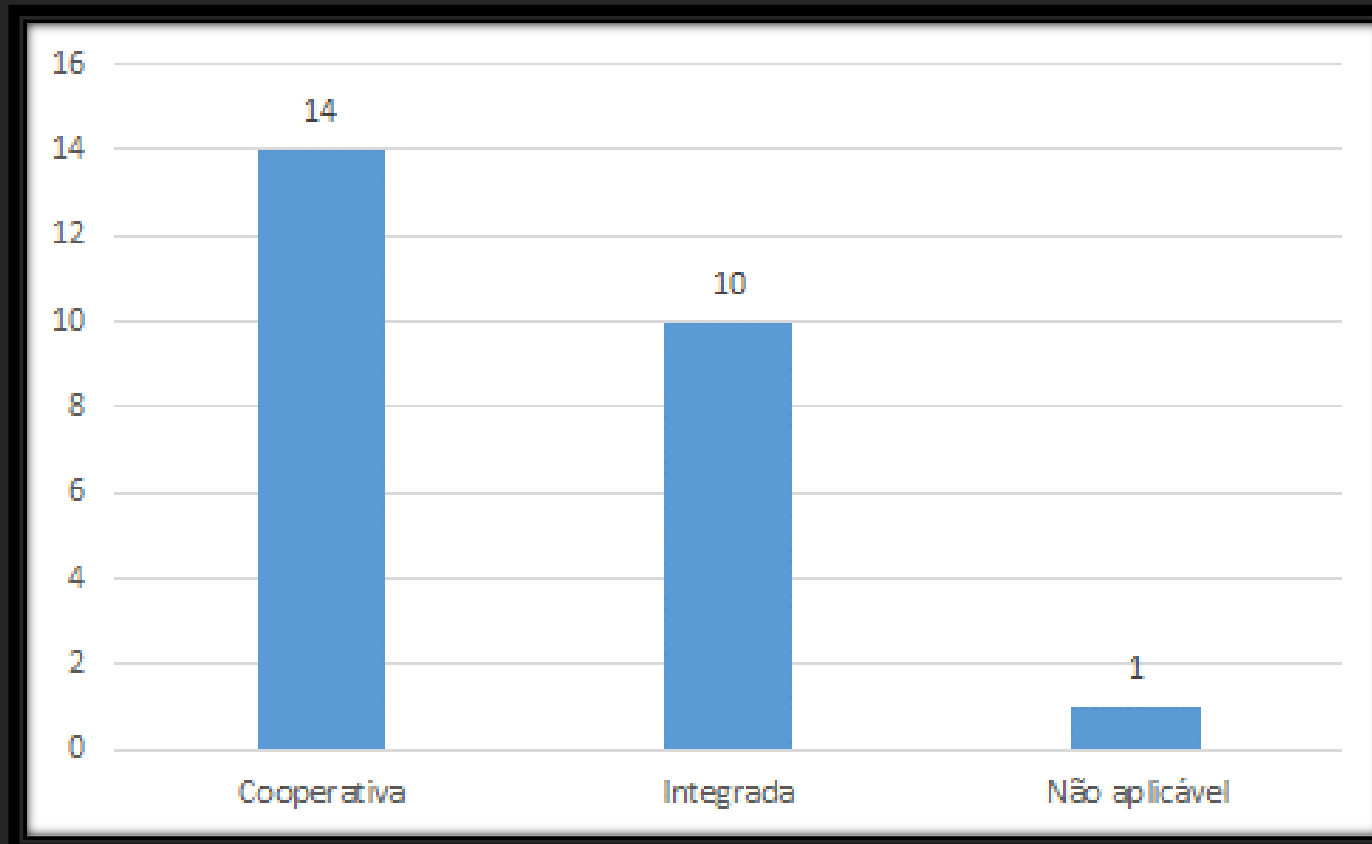
Abordagem cooperativa: as tarefas de alocação e escalonamento são realizadas separadamente, mas há uma certa troca de informação entre elas, no sentido de modo que uma pode levar em consideração as necessidades da outra.

Ex: *framework* apresentado por Pinter

Abordagem integrada: as soluções para as duas tarefas são definidas simultaneamente. Ex: ferramenta Unison apresentada por Lozano

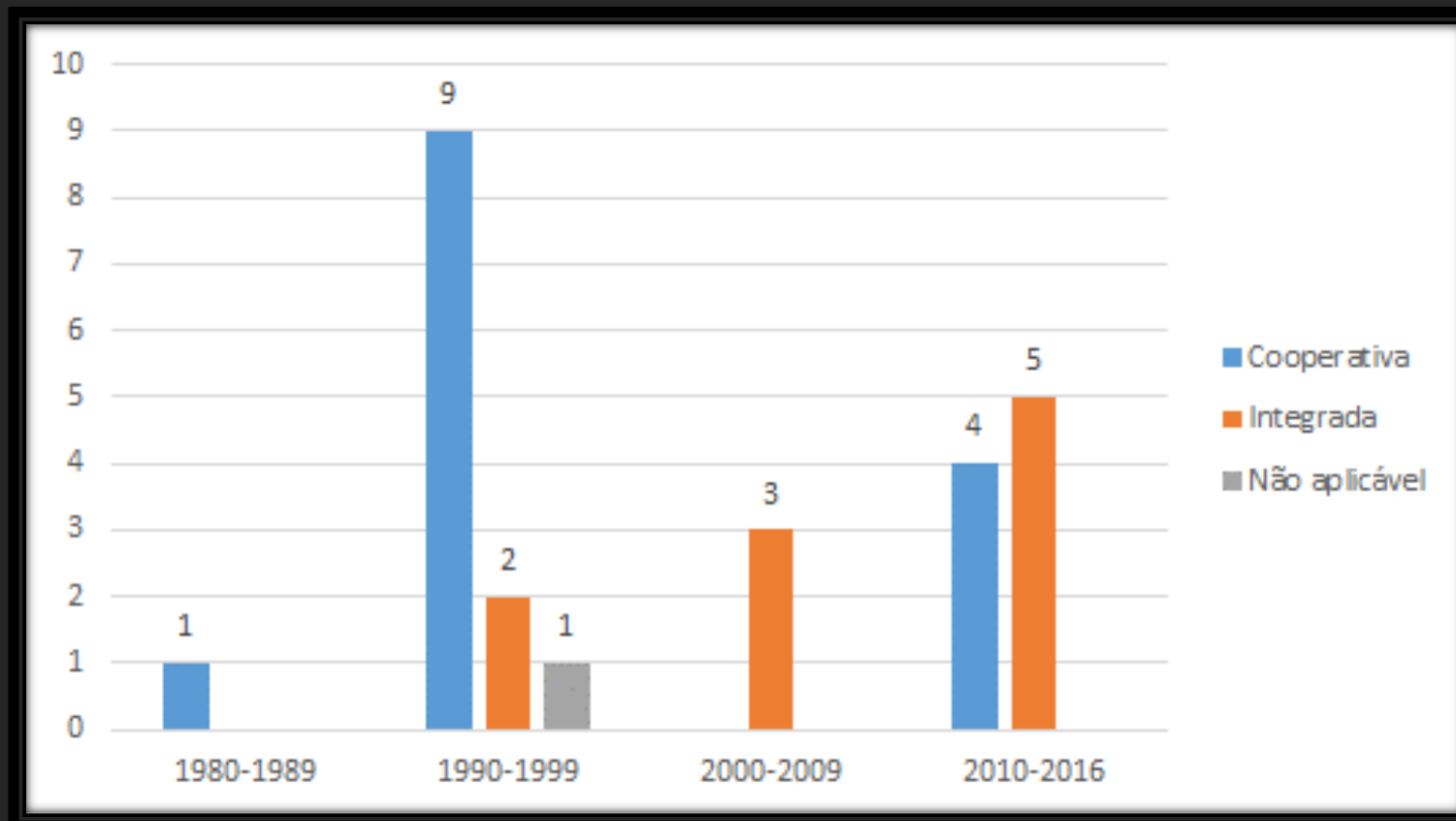
# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## QP1. Principais abordagens utilizadas na literatura



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## QP1. Principais abordagens utilizadas na literatura





# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

→ Respostas para questões de pesquisa

QP2. Abordagens que tratam as tarefas de alocação de registradores e escalonamento de instruções de forma conjunta melhoram a otimização do código?

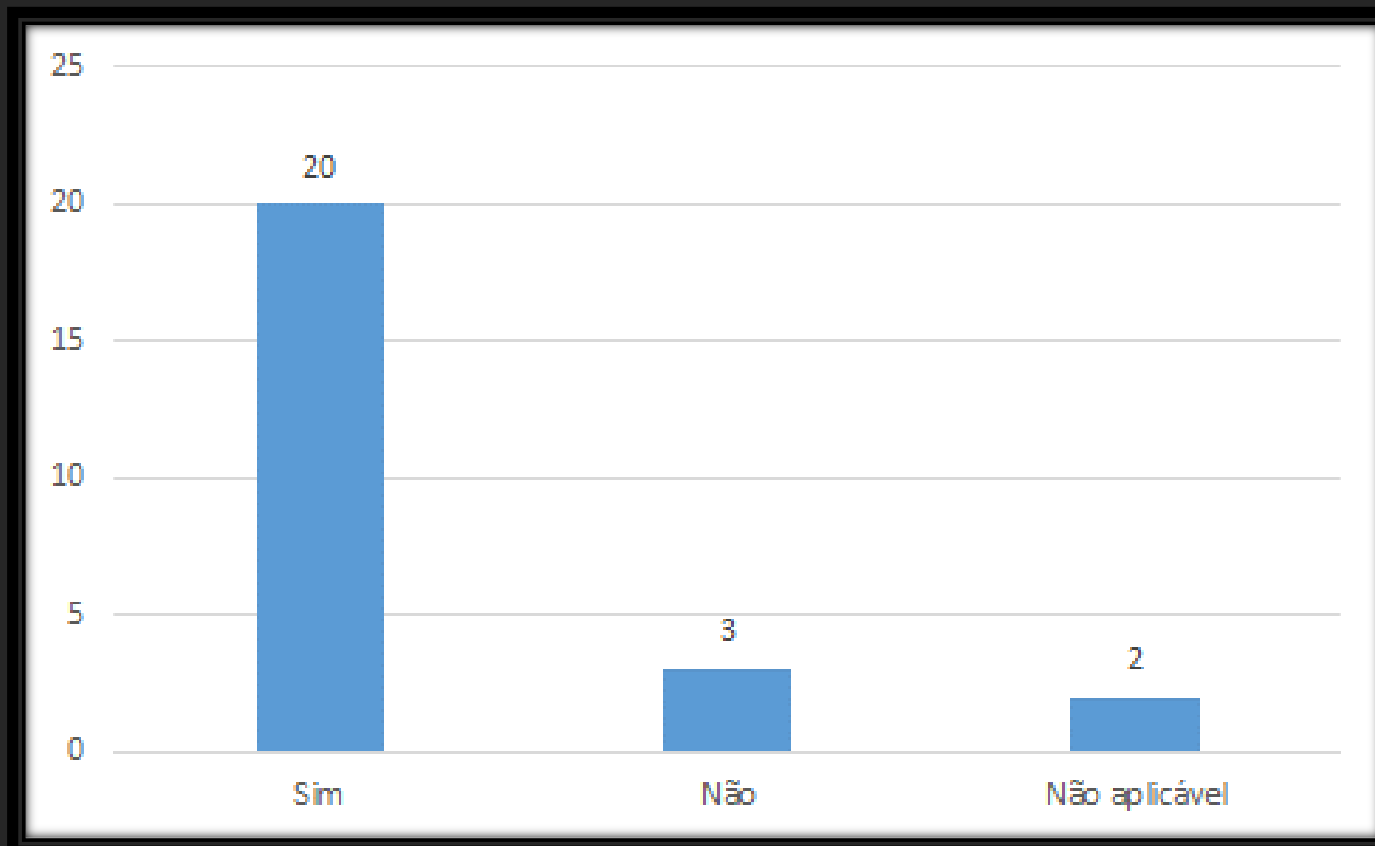
**Sim. Abordagens conjuntas melhoraram a otimização do código em 80% dos estudos primários avaliados**

**Abordagem cooperativa: 93% dos estudos primários**

**Abordagem integrada: 78%**

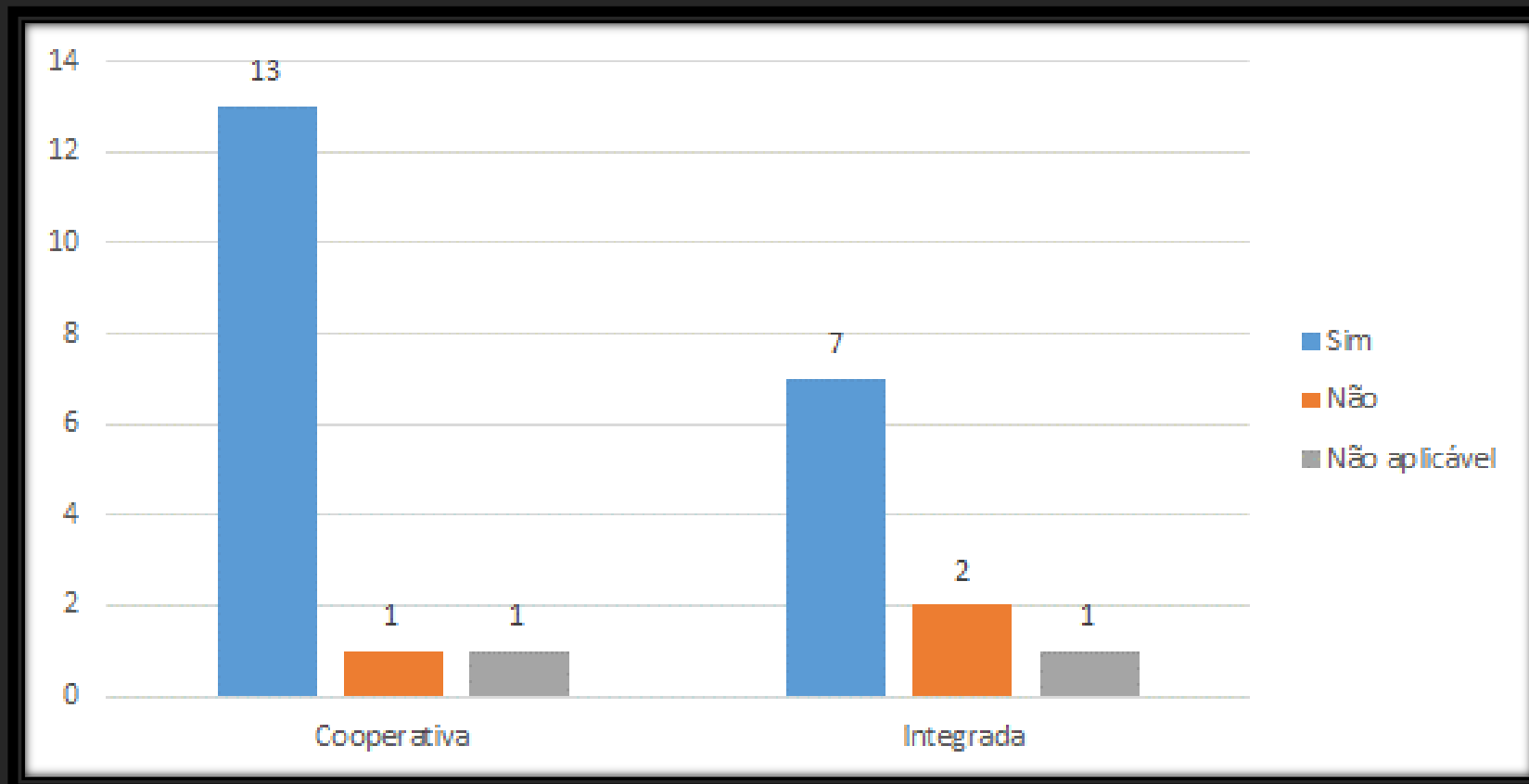
# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

QP2. Tratamento conjunto melhora a otimização?



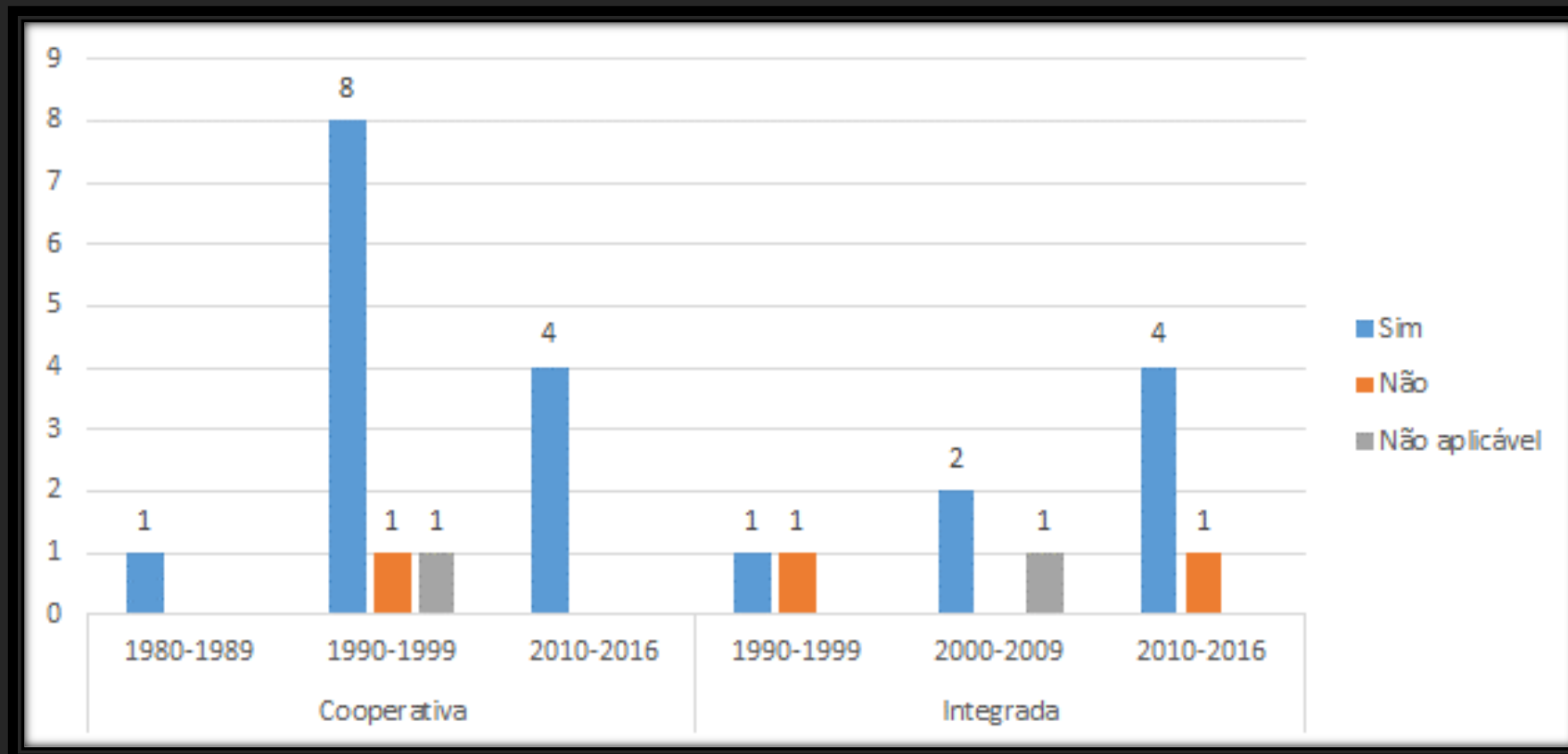
# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

QP2. Tratamento conjunto melhora a otimização?



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

QP2. Tratamento conjunto melhora a otimização?



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

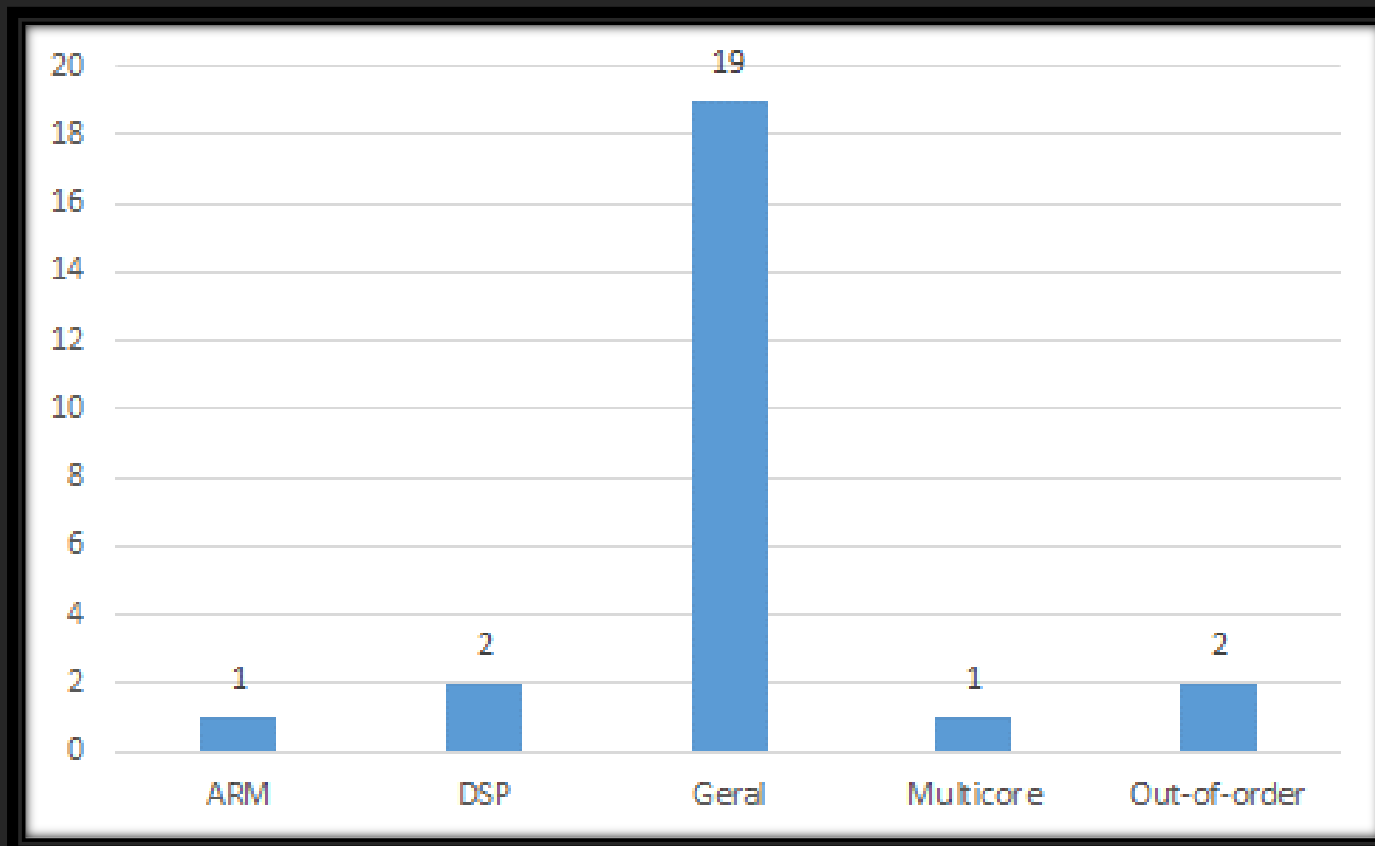
→ Respostas para questões de pesquisa

QP3. Para quais tipos de arquitetura as tarefas de alocação de registradores e escalonamento de instruções têm sido realizadas conjuntamente?

Em relação às arquiteturas, 76% dos estudos primários analisados estavam relacionados a arquiteturas do tipo RISC e 24% a outros tipos de arquiteturas

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## QP3. Arquiteturas consideradas



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## 3. Ameaças à Validade



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



## 1. Definição da *string* de busca

Ameaça: não há como afirmar que a *string* definida garante a obtenção de todos os estudos sobre o tema

Mitigação: pesquisas piloto foram feitas na tentativa de identificarmos as palavras-chaves mais adequadas para a formatação da *string*



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## 2. Bases de dados

Ameaça: estudos primários relevantes podem existir em bases de dados que não foram escolhidas

Mitigação: as bases de dados escolhidas são reconhecidas pela comunidade científica e possuem uma grande coleção de publicações científicas relevantes

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

## 3. Validade

### 3. Processo de seleção

Ameaça 1: duas etapas do processo de seleção basearam-se na avaliação de metadados (título e resumo)

Mitigação: o processo de avaliação foi dividido entre os autores do artigo, a fim de minimizar erros individuais

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

## 3. Validade

### 3. Processo de seleção

Ameaça 2: eliminação de teses e dissertações e consideração apenas de artigos em inglês

Para essa ameaça nenhuma ação de mitigação foi realizada, pois consideramos pequeno o risco associado a ela

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## 4. Conclusão



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



- A RSL feita é um estudo em larga escala que possibilita uma melhor compreensão do problema da interdependência entre as tarefas de alocação e escalonamento

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



- A RSL feita é um estudo em larga escala que possibilita uma melhor compreensão do problema da interdependência entre as tarefas de alocação e escalonamento
- Não há consenso sobre a solução nem sobre a melhor abordagem para o problema

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

- A RSL feita é um estudo em larga escala que possibilita uma melhor compreensão do problema da interdependência entre as tarefas de alocação e escalonamento
- Não há consenso sobre a solução nem sobre a melhor abordagem para o problema
- O problema está aberto a novas soluções e tem sido tema de estudos recentes

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

## 4. Conclusão

- Nesta RSL, cada estudo primário foi analisado e classificado individualmente



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

- Nesta RSL, cada estudo primário foi analisado e classificado individualmente
- Nenhuma comparação entre os estudos foi feita

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



- Nesta RSL, cada estudo primário foi analisado e classificado individualmente
- Nenhuma comparação entre os estudos foi feita
- As estatísticas apresentam tendências sobre escolhas feitas para tratar o tema pesquisado

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

- Nesta RSL, cada estudo primário foi analisado e classificado individualmente
- Nenhuma comparação entre os estudos foi feita
- As estatísticas apresentam tendências sobre escolhas feitas para tratar o tema pesquisado
- Nenhum dos resultados é capaz de sugerir qual das abordagens identificadas é a melhor para lidar com o problema

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## 5. Trabalhos Futuros



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

## 5. Futuro

### 1. Redefinição da *string* de busca

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

## 5. Futuro

1. Redefinição da *string* de busca
2. Inclusão de outras bases de dados

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



Programa de Pós-Graduação  
Ciência da Computação  
UFMG

## 5. Futuro

1. Redefinição da *string* de busca
2. Inclusão de outras bases de dados
3. Verificação das listas de referências dos artigos

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



1. Redefinição da *string* de busca
2. Inclusão de outras bases de dados
3. Verificação das listas de referências dos artigos
4. Inclusão de análises mais relevantes, incluindo a comparação dos métodos utilizados em cada estudo primário



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



1. Redefinição da *string* de busca
2. Inclusão de outras bases de dados
3. Verificação das listas de referências dos artigos
4. Inclusão de análises mais relevantes, incluindo a comparação dos métodos utilizados em cada estudo primário
5. Identificação das circunstâncias que favorecem cada uma das abordagens

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge



1. Redefinição da *string* de busca
2. Inclusão de outras bases de dados
3. Verificação das listas de referências dos artigos
4. Inclusão de análises mais relevantes, incluindo a comparação dos métodos utilizados em cada estudo primário
5. Identificação das circunstâncias que favorecem cada uma das abordagens
6. Quantificação do impacto de cada estudo primário obtido, refinando o processo de seleção

# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

## Perguntas e Discussões



# The Register Allocation and Instruction Scheduling Challenge

Obrigado!

João Francisco Neiva de Carvalho  
[joaofnc@dcc.ufmg.br](mailto:joaofnc@dcc.ufmg.br)

