

Organização de Computadores II

DCC007

Aula 12 – Como melhorar a previsão de desvios?

Prof. Omar Paranaíba Vilela Neto



Organização de Computadores II

DCC007

Aula 12 – Previsão Dinâmica de Branches

Prof. Omar Paranaíba Vilela Neto



Previsão de Branches

- Vimos previsões estáticas
 - tomado;
 - Não-tomado;
 - Delayed branch.

Como podemos melhorar o desempenho?

Podemos fazer previsões dinâmicas?

Previsão Dinâmica de Branches

- Desempenho = $f(\text{precisão, custo de previsão errada})$
- Branch History Table é a **mais simples**
 - LSBs do endereço dado pelo PC **endereça** tabela de valores de 1 bit
 - Indica se branch naquela entrada da tabela **foi tomado ou não**
- **Problema**: em um loop, BHT de 1 bit causará duas previsões erradas:
 - **Final do loop**, quando o branch não é tomado
 - **Primeira vez da iteração seguinte**, quando o branch da última vez não foi tomado

Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT

Código

Loop

```
add $t0, $t1, $t2  
add $s0, $s0, $s1  
sw  $t0, 100($a0)  
bne $s0, $a1, Loop
```

Tabela de Previsão

Endereço do bne - 1

Informações da Previsão

Previsto Tomado = 1;

Previsto Não-Tomado = 0.

Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT

Código

Loop add \$t0, \$t1, \$t2
 add \$s0, \$s0, \$s1
 sw \$t0, 100(\$a0)
 bne \$s0, \$a1, Loop

Primeira Passagem

Previsão Correta

Tabela de Previsão

Endereço do bne - 1

Informações da Previsão

Previsto Tomado = 1;

Previsto Não-Tomado = 0.

Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT

Código

Loop add \$t0, \$t1, \$t2
 add \$s0, \$s0, \$s1
 sw \$t0, 100(\$a0)
 bne \$s0, \$a1, Loop

Próximas Passagens

Previsão Correta

Tabela de Previsão

Endereço do bne - 1

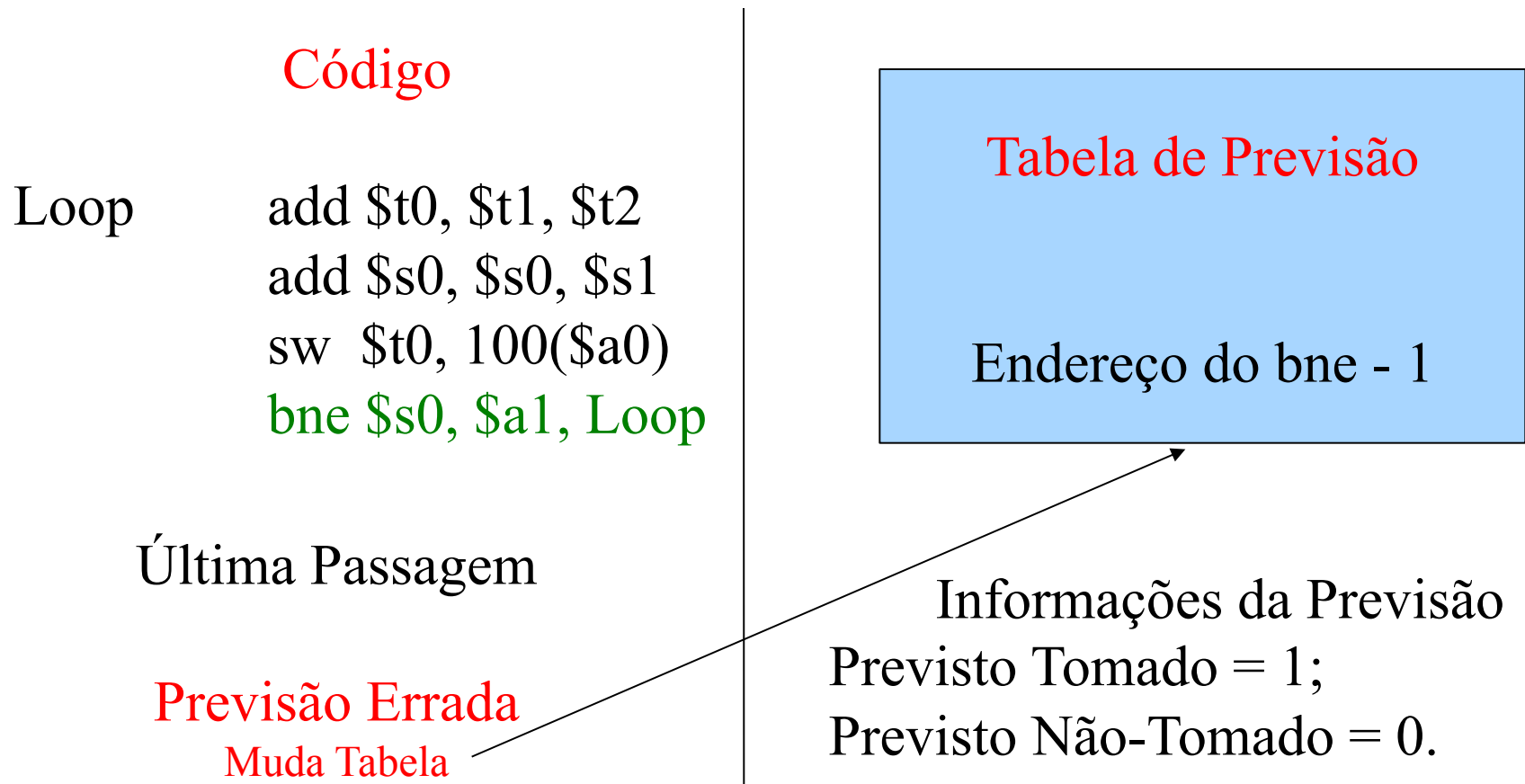
Informações da Previsão

Previsto Tomado = 1;

Previsto Não-Tomado = 0.

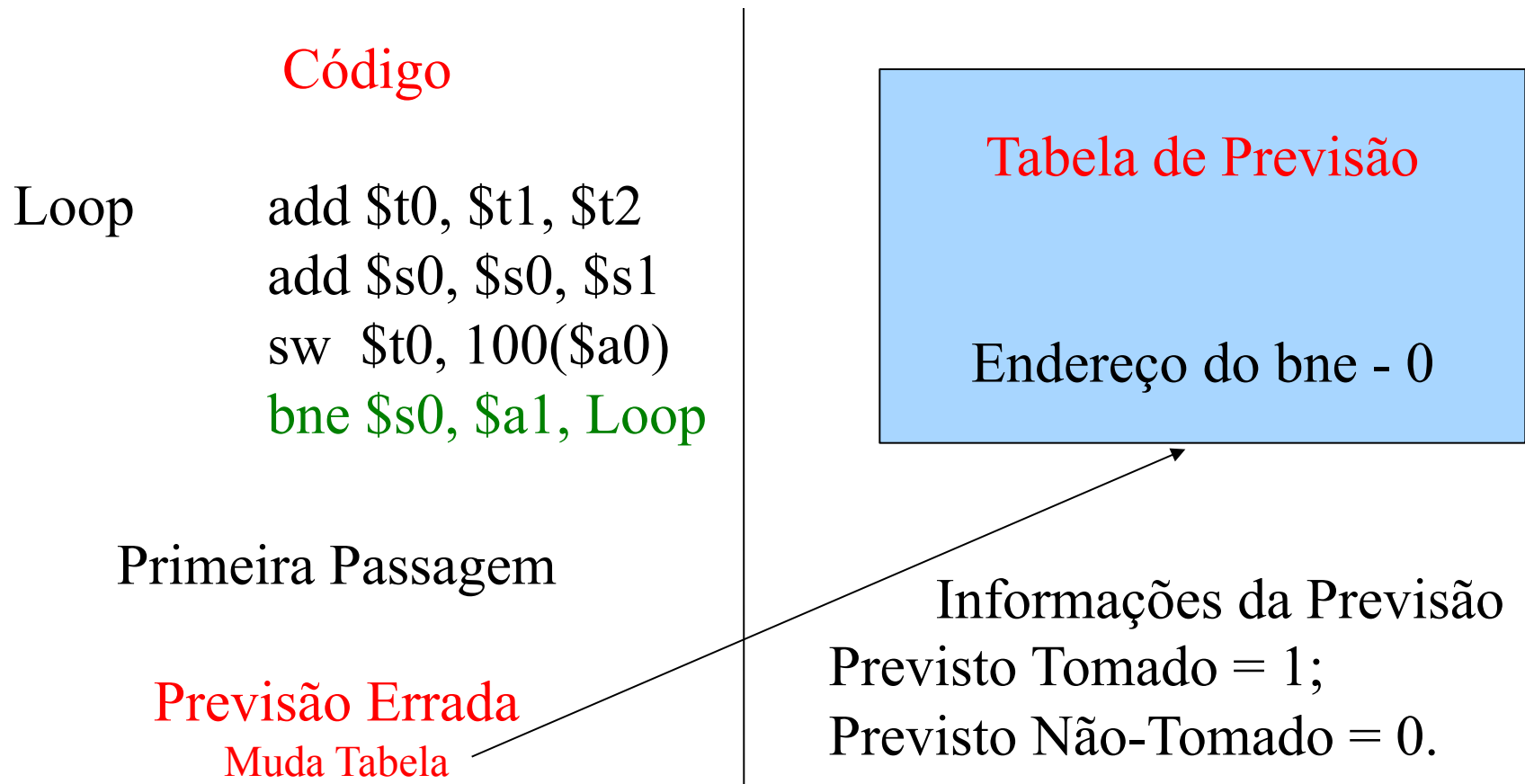
Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT



Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT



Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT

Código

Loop add \$t0, \$t1, \$t2
 add \$s0, \$s0, \$s1
 sw \$t0, 100(\$a0)
 bne \$s0, \$a1, Loop

Próximas Passagens

Previsão Correta

Tabela de Previsão

Endereço do bne - 1

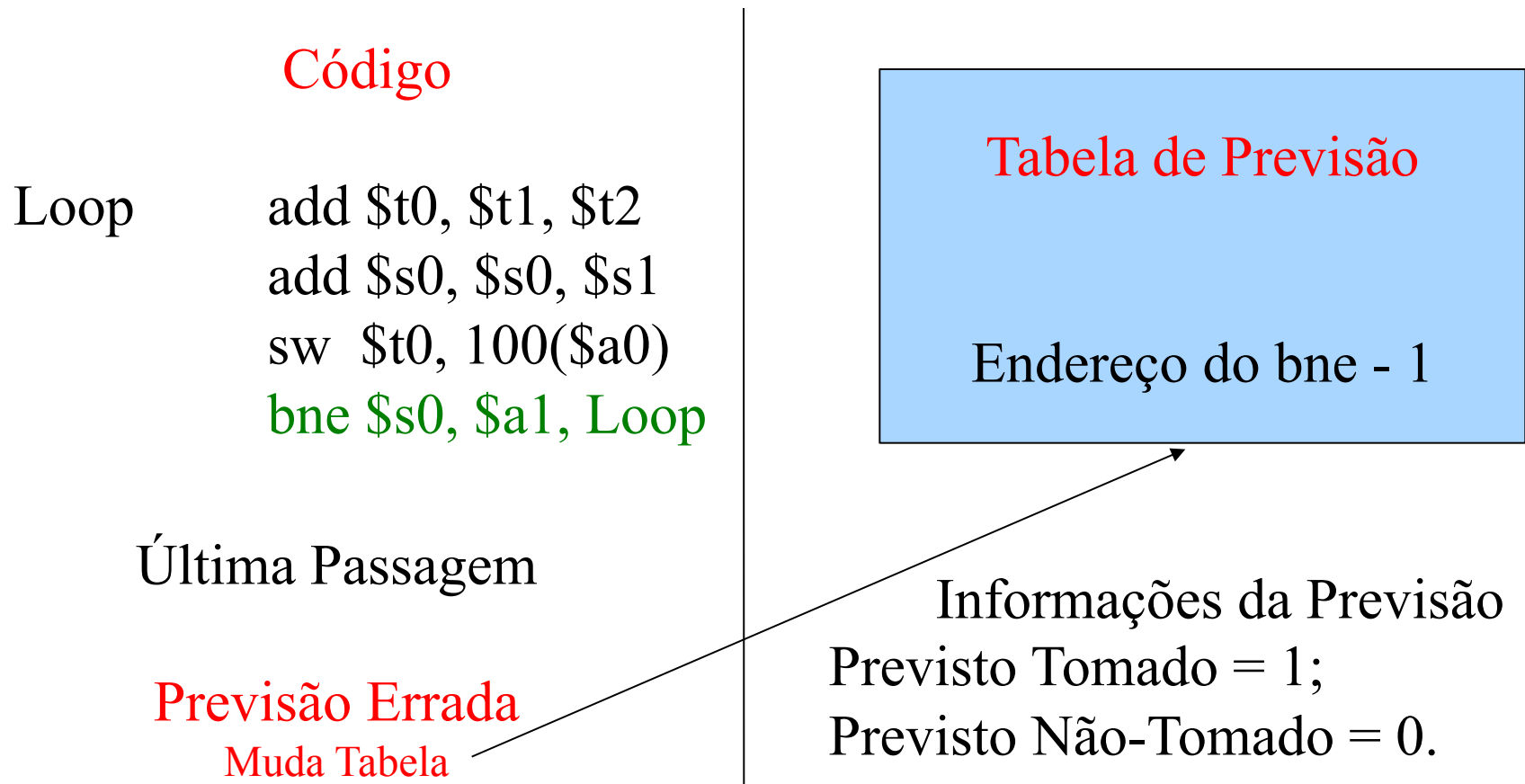
Informações da Previsão

Previsto Tomado = 1;

Previsto Não-Tomado = 0.

Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT



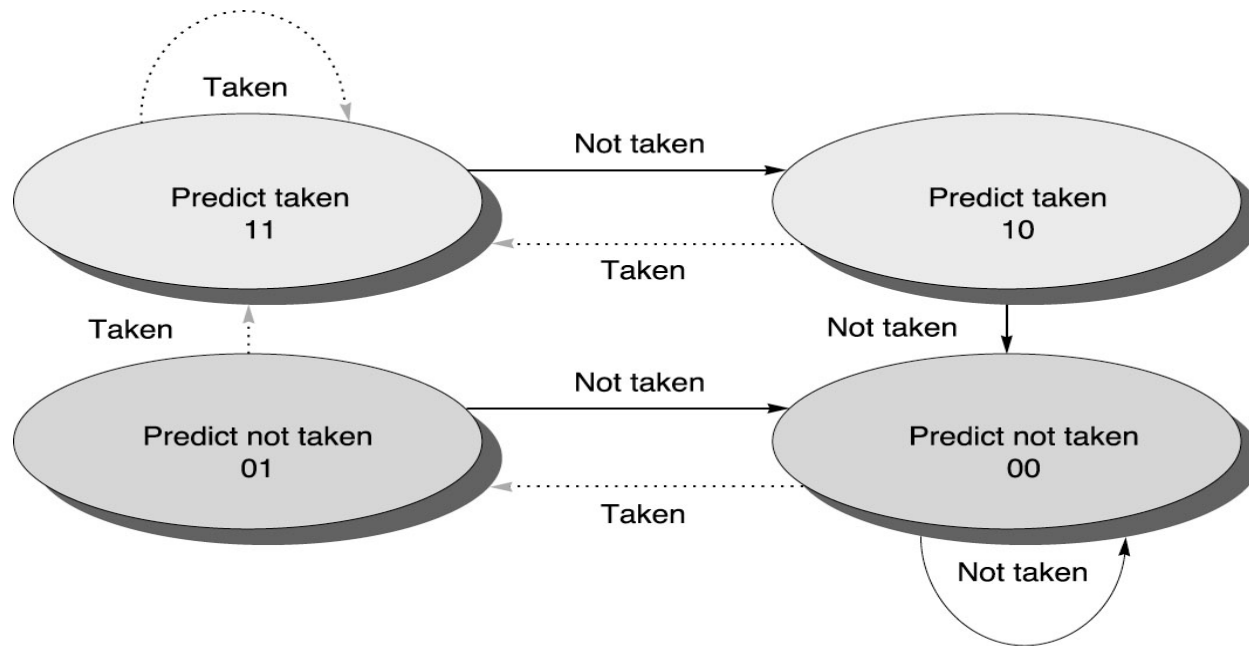
Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT

Como melhorar o desempenho?

Previsão Dinâmica de Branches

- **Solução: Utilização de 2-bits**, onde mudança de previsão ocorre somente se previsão errada ocorre duas vezes:



Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT – 2 bits

Código

Loop

```
add $t0, $t1, $t2  
add $s0, $s0, $s1  
sw  $t0, 100($a0)  
bne $s0, $a1, Loop
```

Tabela de Previsão

Endereço do bne - 11

Informações da Previsão

Previsto Tomado = 1X;

Previsto Não-Tomado = 0X.

Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT – 2 bits

Código

Loop add \$t0, \$t1, \$t2
 add \$s0, \$s0, \$s1
 sw \$t0, 100(\$a0)
 bne \$s0, \$a1, Loop

Primeira Passagem

Previsão Correta

Tabela de Previsão

Endereço do bne - 11

Informações da Previsão

Previsto Tomado = 1X;

Previsto Não-Tomado = 0X.

Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT – 2 bits

Código

Loop add \$t0, \$t1, \$t2
 add \$s0, \$s0, \$s1
 sw \$t0, 100(\$a0)
 bne \$s0, \$a1, Loop

Próximas Passagens

Previsão Correta

Tabela de Previsão

Endereço do bne - 11

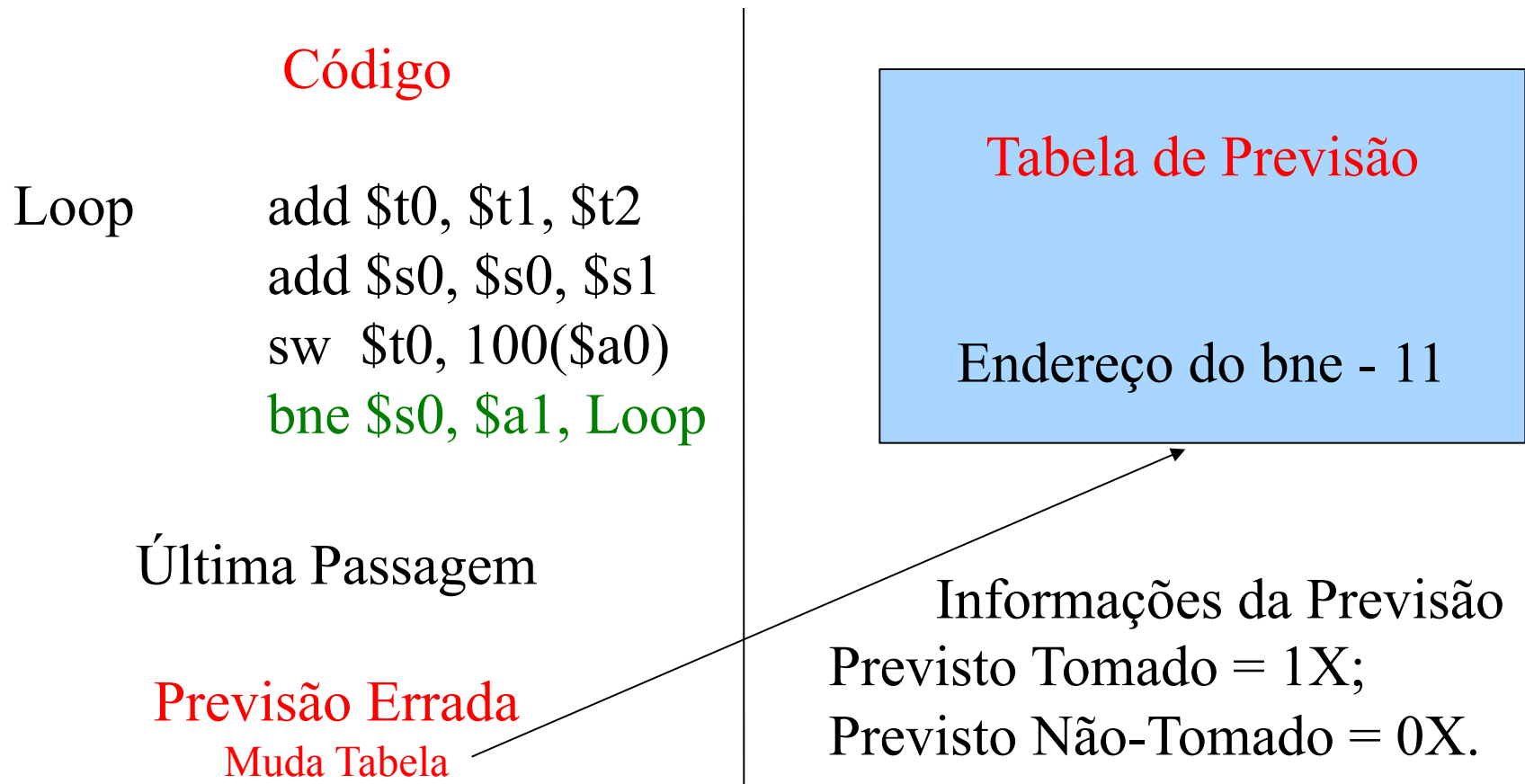
Informações da Previsão

Previsto Tomado = 1X;

Previsto Não-Tomado = 0X.

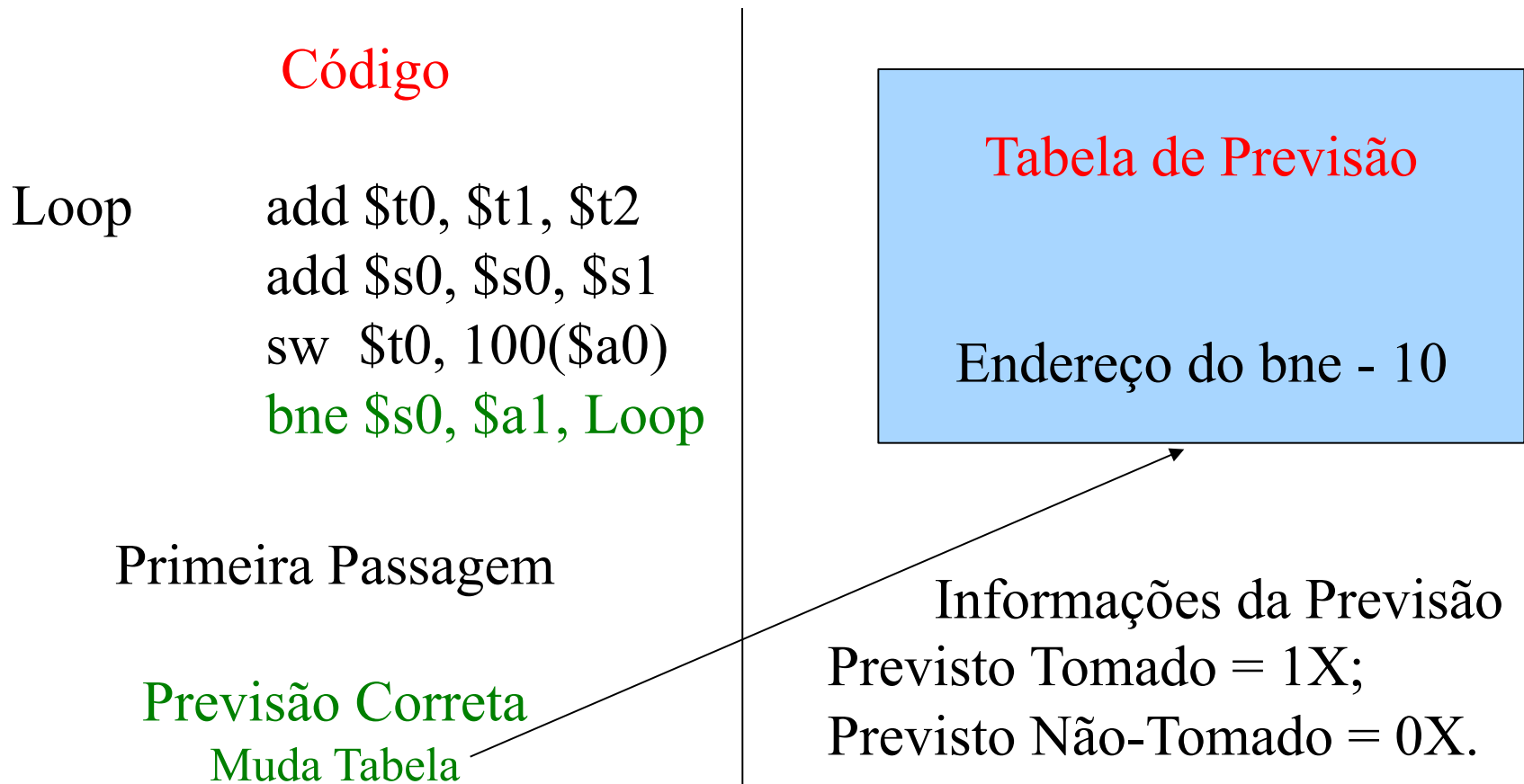
Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT – 2 bits



Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT – 2 bits



Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT – 2 bits

Código

Loop add \$t0, \$t1, \$t2
 add \$s0, \$s0, \$s1
 sw \$t0, 100(\$a0)
 bne \$s0, \$a1, Loop

Próximas Passagens

Previsão Correta

Tabela de Previsão

Endereço do bne - 11

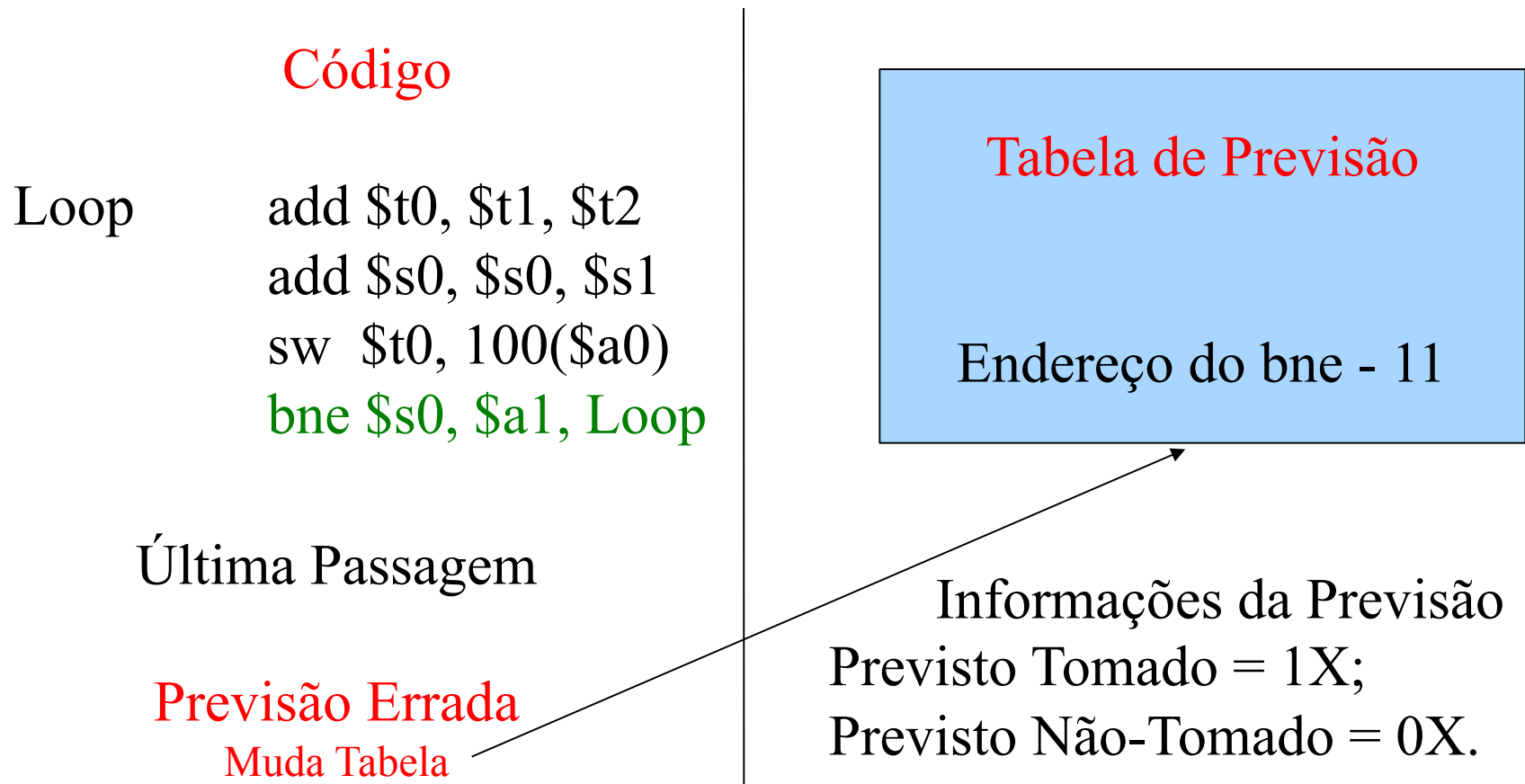
Informações da Previsão

Previsto Tomado = 1X;

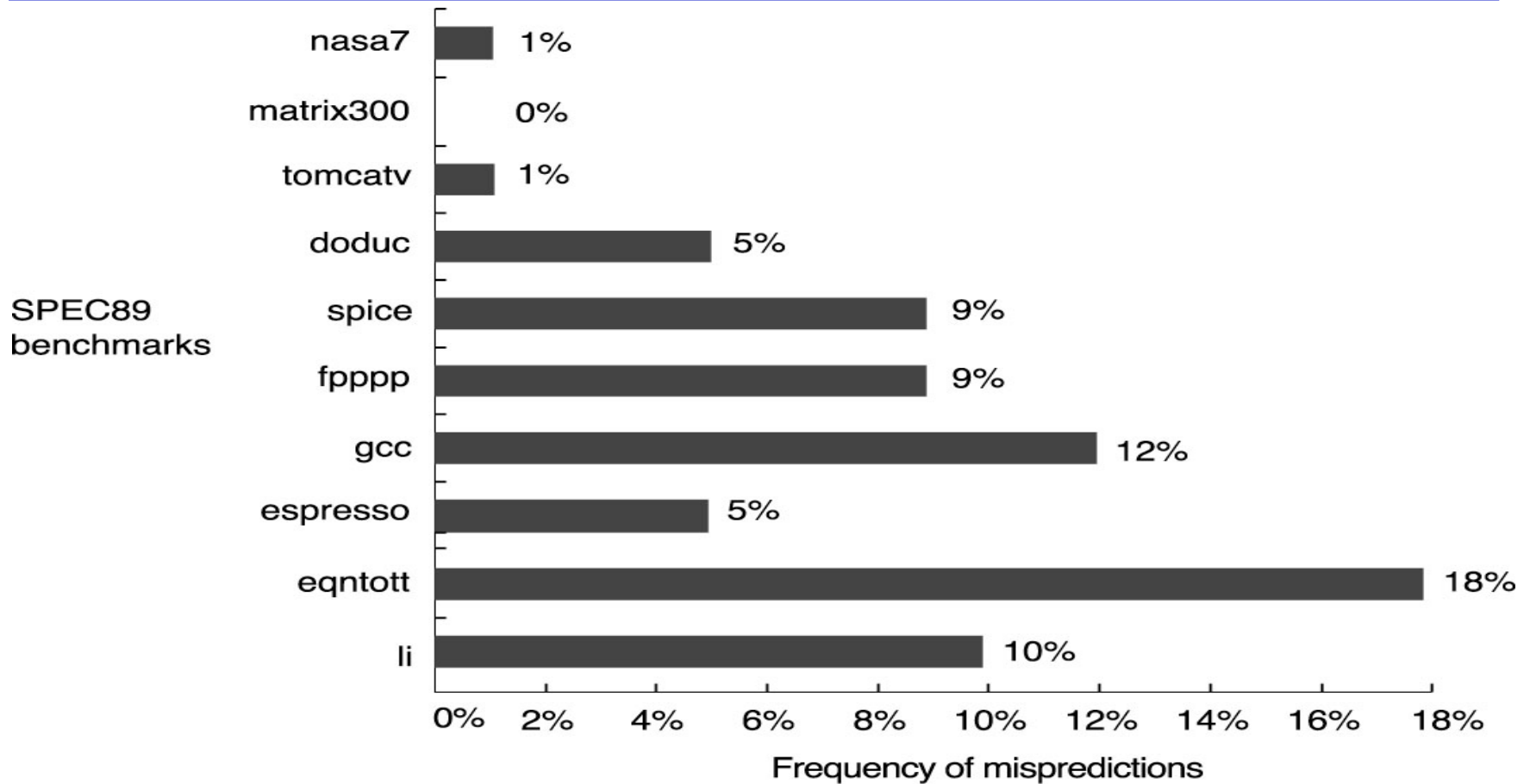
Previsto Não-Tomado = 0X.

Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT – 2 bits

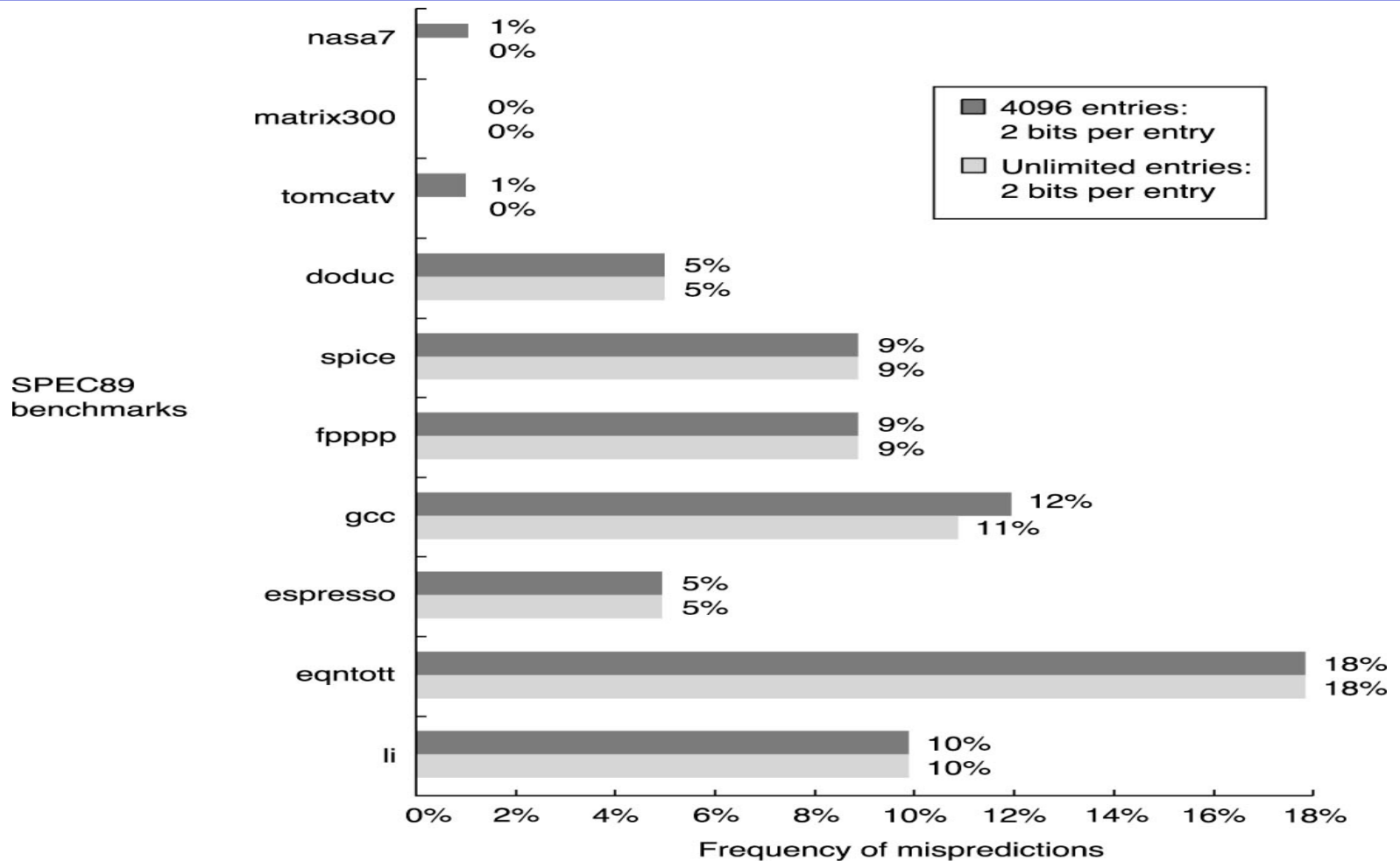


Precisão de BHT

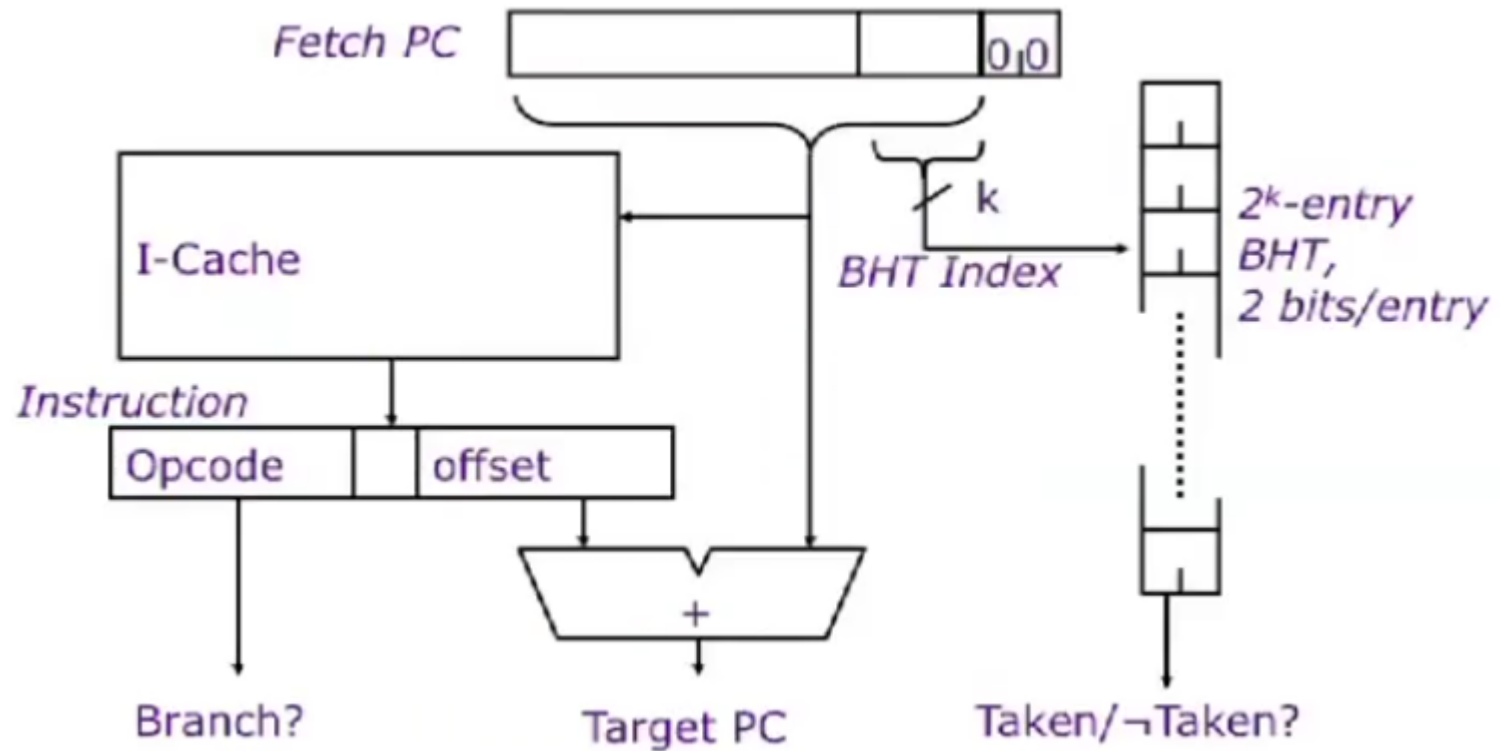


Arquitetura
IBM Power

Precisão de BHT



Previsão de BHT



Precisão do BHT

- **Previsão errada** ocorre em dois casos:
 - Previsão errada para esse branch
 - Leu da tabela previsão para branch errado
- **Tabela com 4096 entradas**
 - Programas variam de **1% de erro** (nasa7, tomcatv) para **18%** (eqntott), com spice em 9% e gcc em 12%
- Tabela com **4096 entradas** é **tão boa quanto** uma com um número **infinito de entradas**, mas esta última requer **muito hardware**
- Contador com **2 bits** é **tão bom quanto** um contador com um número **infinito de bits**

Previsão Dinâmica de Branches

Exemplo da Falha da Previsão do BHT

Como melhorar o desempenho?

Branches Correlacionados

- **Idéia:** tomado/não tomado dos **branches executados recentemente está relacionado com o comportamento do branch** (tão relacionado quanto o histórico deste branch)

Eqntott

```
if (aa == 2)
    aa = 0;
if (bb == 2)
    bb = 0;
if (aa != bb) {
    ...
}
```

Branches Correlacionados

```
if (d == 0)
```

```
    d = 1;
```

```
if (d == 1)
```

```
        BNEZ  R1,L1      ; BRANCH b1 (d != 0)
        DADDIU R1,R0,#1  ; d == 0, ENTAO d = 1
L1:      DADDIU R3,R1,#-1

        BNEZ  R3,L2      ; BRANCH b2 (d != 1)
...
L2:
```

Branches Correlacionados

```
BNEZ  R1,L1      ; BRANCH b1 (d != 0)
DADDIU R1,R0,#1  ; d == 0, ENTAO d = 1
L1:    DADDIU R3,R1,#-1
      BNEZ  R3,L2      ; BRANCH b2 (d != 1)
      ...
L2:
```

Possíveis Sequências

Valor inicial de d	d == 0?	b1	Valor de d antes de b2	d == 1?	b2
0	sim	não-seguido	1	sim	não-seguido

Figura 3.10 Sequências de execução possíveis para um fragmento de código.

Branches Correlacionados

```
      BNEZ  R1,L1      ; BRANCH b1 (d != 0)
      DADDIU R1,R0,#1  ; d == 0, ENTAO d = 1
L1:    DADDIU R3,R1,#-1

      BNEZ  R3,L2      ; BRANCH b2 (d != 1)
      ...
L2:
```

Possíveis Sequências

Valor inicial de d	d == 0?	b1	Valor de d antes de b2	d == 1?	b2
0	sim	não-seguido	1	sim	não-seguido
1	não	seguido	1	sim	não-seguido

Figura 3.10 Sequências de execução possíveis para um fragmento de código.

Branches Correlacionados

```
      BNEZ  R1,L1      ; BRANCH b1 (d != 0)
      DADDIU R1,R0,#1  ; d == 0, ENTAO d = 1
L1:    DADDIU R3,R1,#-1

      BNEZ  R3,L2      ; BRANCH b2 (d != 1)
      ...
L2:
```

Possíveis Sequências

Valor inicial de d	d == 0?	b1	Valor de d antes de b2	d == 1?	b2
0	sim	não-seguido	1	sim	não-seguido
1	não	seguido	1	sim	não-seguido
2	não	seguido	2	não	seguido

Figura 3.10 Sequências de execução possíveis para um fragmento de código.

Branches Correlacionados

```

        BNEZ  R1,L1      ; BRANCH b1 (d != 0)
        DADDIU R1,R0,#1  ; d == 0, ENTAO d = 1
L1:      DADDIU R3,R1,#-1

        BNEZ  R3,L2      ; BRANCH b2 (d != 1)
        ...
L2:
    
```

Previsor de 1 Bit

d = ?	Previsão de b1	Ação de b1	Nova previsão de b1	Previsão de b2	Ação de b2	Nova previsão de b2
-------	----------------	------------	---------------------	----------------	------------	---------------------



Figura 3.11 Comportamento de um previsor de 1 bit inicializado como não-seguido. T significa seguido, NT quer dizer não-seguido.

Branches Correlacionados

```
      BNEZ  R1,L1      ; BRANCH b1 (d != 0)
      DADDIU R1,R0,#1  ; d == 0, ENTAO d = 1
L1:    DADDIU R3,R1,#-1
      BNEZ  R3,L2      ; BRANCH b2 (d != 1)
      ...
L2:
```

Previsor de 1 Bit

d = ?	Previsão de b1	Ação de b1	Nova previsão de b1	Previsão de b2	Ação de b2	Nova previsão de b2
2	NT	T	T	NT	T	T

Figura 3.11 Comportamento de um previsor de 1 bit inicializado como não-seguido. T significa seguido, NT quer dizer não-seguido.

Branches Correlacionados

```
BNEZ  R1,L1      ; BRANCH b1 (d != 0)
DADDIU R1,R0,#1   ; d == 0, ENTAO d = 1
L1:    DADDIU R3,R1,#-1
      BNEZ  R3,L2      ; BRANCH b2 (d != 1)
      ...
L2:
```

Previsor de 1 Bit

d = ?	Previsão de b1	Ação de b1	Nova previsão de b1	Previsão de b2	Ação de b2	Nova previsão de b2
2	NT	T	T	NT	T	T
0	T	NT	NT	T	NT	NT

Figura 3.11 Comportamento de um previsor de 1 bit inicializado como não-seguido. T significa seguido, NT quer dizer não-seguido.

Branches Correlacionados

```
BNEZ  R1,L1      ; BRANCH b1 (d != 0)
DADDIU R1,R0,#1   ; d == 0, ENTAO d = 1
L1:    DADDIU R3,R1,#-1
      BNEZ  R3,L2      ; BRANCH b2 (d != 1)
      ...
L2:
```

Previsor de 1 Bit

d = ?	Previsão de b1	Ação de b1	Nova previsão de b1	Previsão de b2	Ação de b2	Nova previsão de b2
2	NT	T	T	NT	T	T
0	T	NT	NT	T	NT	NT
2	NT	T	T	NT	T	T

Figura 3.11 Comportamento de um previsor de 1 bit inicializado como não-seguido. T significa seguido, NT quer dizer não-seguido.

Branches Correlacionados

```
BNEZ  R1,L1      ; BRANCH b1 (d != 0)
DADDIU R1,R0,#1   ; d == 0, ENTAO d = 1
L1:    DADDIU R3,R1,#-1
      BNEZ  R3,L2      ; BRANCH b2 (d != 1)
      ...
L2:
```

Previsor de 1 Bit

d = ?	Previsão de b1	Ação de b1	Nova previsão de b1	Previsão de b2	Ação de b2	Nova previsão de b2
2	NT	T	T	NT	T	T
0	T	NT	NT	T	NT	NT
2	NT	T	T	NT	T	T
0	T	NT	NT	T	NT	NT

Figura 3.11 Comportamento de um previsor de 1 bit inicializado como não-seguido. T significa seguido, NT quer dizer não-seguido.

Branches Correlacionados

```
BNEZ  R1,L1      ; BRANCH b1 (d != 0)
DADDIU R1,R0,#1   ; d == 0, ENTAO d = 1
L1:    DADDIU R3,R1,#-1
      BNEZ  R3,L2      ; BRANCH b2 (d != 1)
      ...
L2:
```

Combinações – Desvios Correlacionados

Bits de previsão	Previsão se o último desvio não foi seguido	Previsão se o último desvio foi seguido
NT/NT	NT	NT
NT/T	NT	T
T/NT	T	NT
T/T	T	T

Figura 3.12 Combinações e significado dos bits de previsão seguido/não-seguido (ou tomado/não-tomado). T representa seguido, NT não-seguido.

Branches Correlacionados

```
BNEZ R1,L1 ; BRANCH b1 (d != 0)
```

```
DADDIU R1,R0,#1 ; d == 0 ENTÃO d = 1
```

Continua sendo um **Branch Hystory Table (BHT)** de 1 bit

- Obs.: Agora eu tenho 1 BHT para cada condição do último Branch (2 previsores)
 - Tomado
 - Não Tomado

Previsor Correlacionado de 1 Bit (1,1)

= ?	Previsão de b1	Ação de b1	Nova previsão de b1	Previsão de b2	Ação de b2	Nova previsão de b2

3.13 A ação do previsor de 1 bit com 1 bit de correlação, inicializado como não-seguido/não-seguido. T significa seguido, F significa não-seguido. A previsão utilizada é mostrada em tipo negrito.

Branches Correlacionados

```

        BNEZ  R1,L1      ; BRANCH b1 (d != 0)
        DADDIU R1,R0,#1  ; d == 0, ENTAO d = 1
L1:      DADDIU R3,R1,#-1

        BNEZ  R3,L2      ; BRANCH b2 (d != 1)
        ...
L2:
    
```

Previsor Correlacionado de 1 Bit (1,1)

	Previsão de b1	Ação de b1	Nova previsão de b1	Previsão de b2	Ação de b2	Nova previsão de b2
1	NT/NT	T	T/NT	NT/NT	T	NT/T
2	NT/NT	T	T/NT	NT/NT	T	NT/T

8.13 A ação do previsor de 1 bit com 1 bit de correlação, inicializado como não-seguido/não-seguido. T significa seguido, NT significa não-seguido. A previsão utilizada é mostrada em tipo negrito.

Branches Correlacionados

```

        BNEZ  R1,L1      ; BRANCH b1 (d != 0)
        DADDIU R1,R0,#1  ; d == 0, ENTAO d = 1
L1:      DADDIU R3,R1,#-1

        BNEZ  R3,L2      ; BRANCH b2 (d != 1)
        ...
L2:
    
```

Previsor Correlacionado de 1 Bit (1,1)

	Previsão de b1	Ação de b1	Nova previsão de b1	Previsão de b2	Ação de b2	Nova previsão de b2
2	NT/NT	T	T/NT	NT/NT	T	NT/T
0	T/NT	NT	T/NT	NT/T	NT	NT/T

8.13 A ação do previsor de 1 bit com 1 bit de correlação, inicializado como não-seguido/não-seguido. T significa seguido, NT significa não-seguido. A previsão utilizada é mostrada em tipo negrito.

Branches Correlacionados

```

        BNEZ  R1,L1      ; BRANCH b1 (d != 0)
        DADDIU R1,R0,#1  ; d == 0, ENTAO d = 1
L1:     DADDIU R3,R1,#-1

        BNEZ  R3,L2      ; BRANCH b2 (d != 1)
        ...
L2:
    
```

Previsor Correlacionado de 1 Bit (1,1)

= ?	Previsão de b1	Ação de b1	Nova previsão de b1	Previsão de b2	Ação de b2	Nova previsão de b2
2	NT/NT	T	T/NT	NT/NT	T	NT/T
0	T/NT	NT	T/NT	NT/T	NT	NT/T
2	T/NT	T	T/NT	NT/T	T	NT/T

8.13 A ação do previsor de 1 bit com 1 bit de correlação, inicializado como não-seguido/não-seguido. T significa seguido, NT significa não-seguido. A previsão utilizada é mostrada em tipo negrito.

Branches Correlacionados

```

        BNEZ  R1,L1      ; BRANCH b1 (d != 0)
        DADDIU R1,R0,#1  ; d == 0, ENTAO d = 1
L1:      DADDIU R3,R1,#-1

        BNEZ  R3,L2      ; BRANCH b2 (d != 1)
        ...
L2:
    
```

Previsor Correlacionado de 1 Bit (1,1)

= ?	Previsão de b1	Ação de b1	Nova previsão de b1	Previsão de b2	Ação de b2	Nova previsão de b2
2	NT/NT	T	T/NT	NT/NT	T	NT/T
0	T/NT	NT	T/NT	NT/T	NT	NT/T
2	T/NT	T	T/NT	NT/T	T	NT/T
0	T/NT	NT	T/NT	NT/T	NT	NT/T

8.13 A ação do previsor de 1 bit com 1 bit de correlação, inicializado como não-seguido/não-seguido. T significa seguido, N significa não-seguido. A previsão utilizada é mostrada em tipo negrito.

Branches Correlacionados

Posso ter um **Branch Hystory Table (BHT)**
de 2 bit

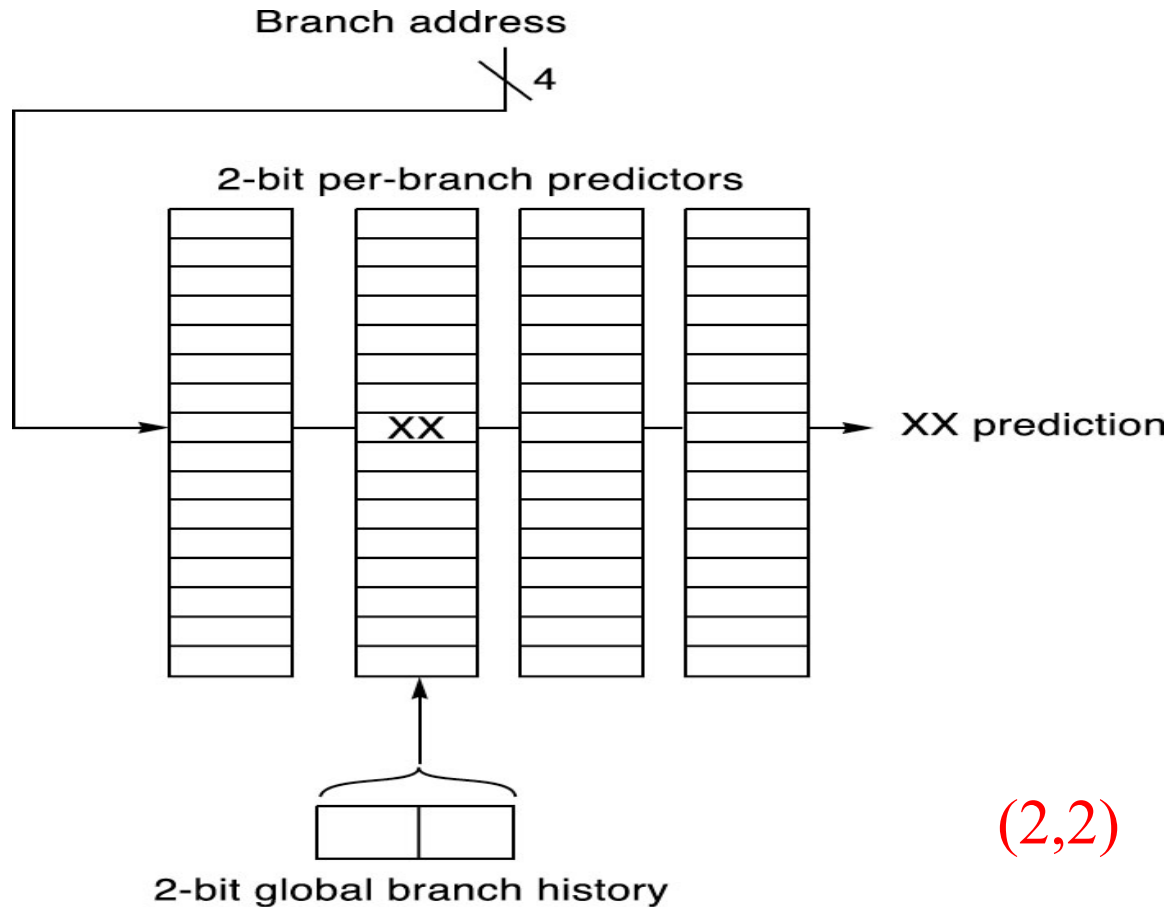
- Obs.: Continua 1 BHT para cada condição do último Branch (2 previsores)
 - Tomado
 - Não Tomado

Branches Correlacionados

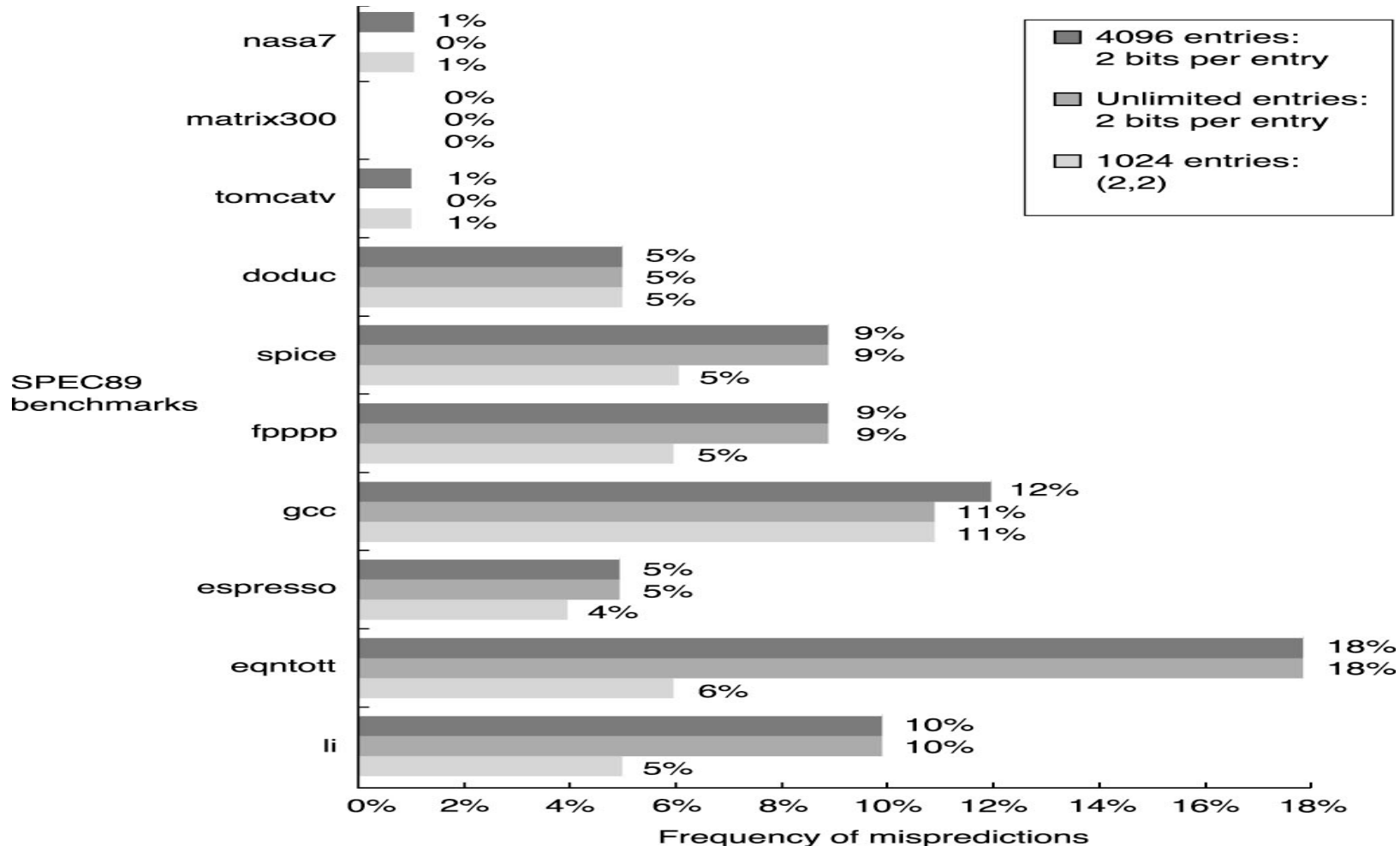
Posso ter um **Branch Hystory Table (BHT)** de 2 bit, **mas olhar para os 2 últimos Branches**

- Obs.: Continua 1 BHT para cada condição dos últimos Branches (4 previsores)
 - Tomado / Tomado
 - Tomado / Não Tomado
 - Não Tomado / Tomado
 - Não Tomado / Não Tomado

Branches Correlacionados



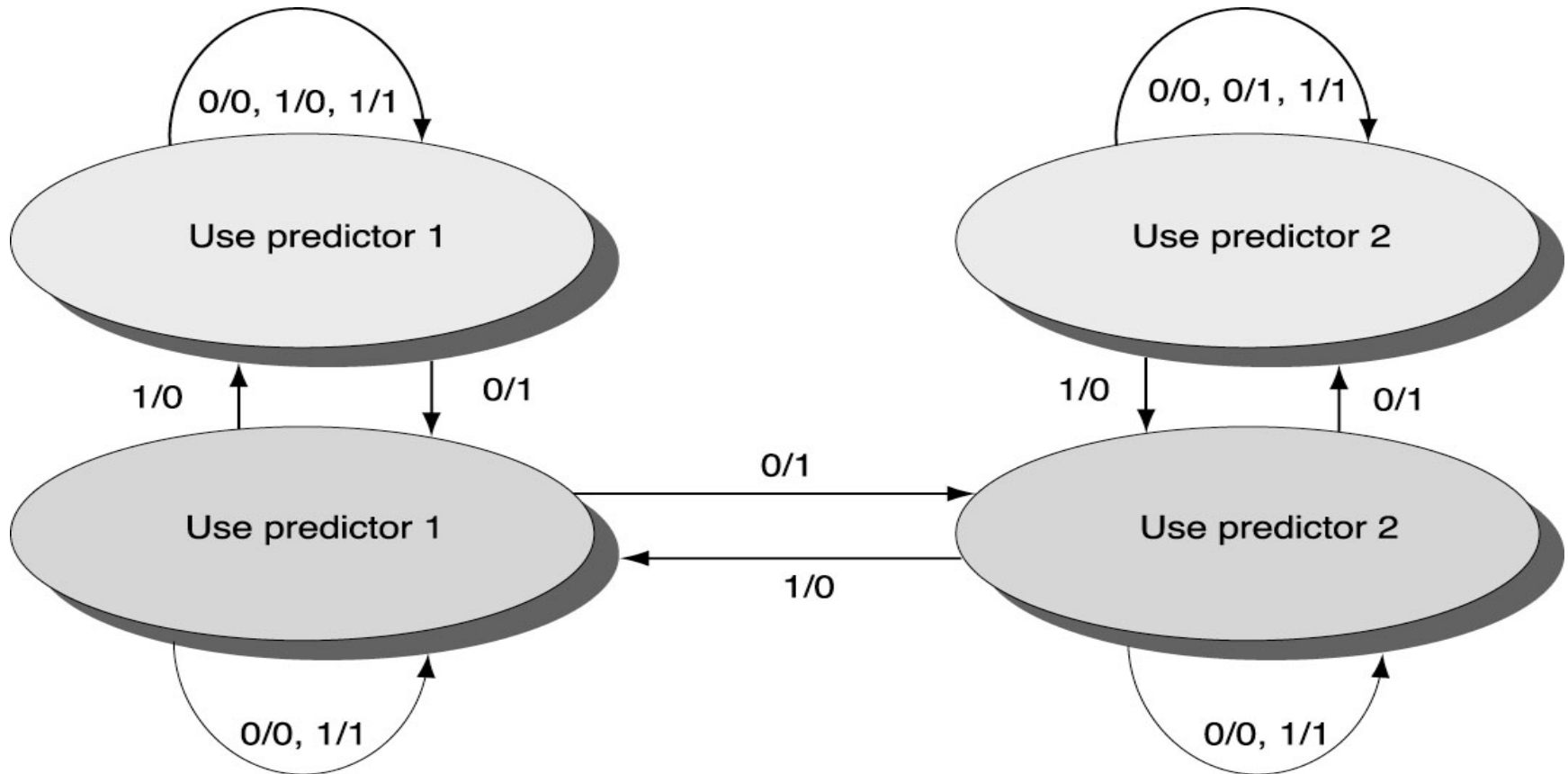
Precisão dos Esquemas Diferentes



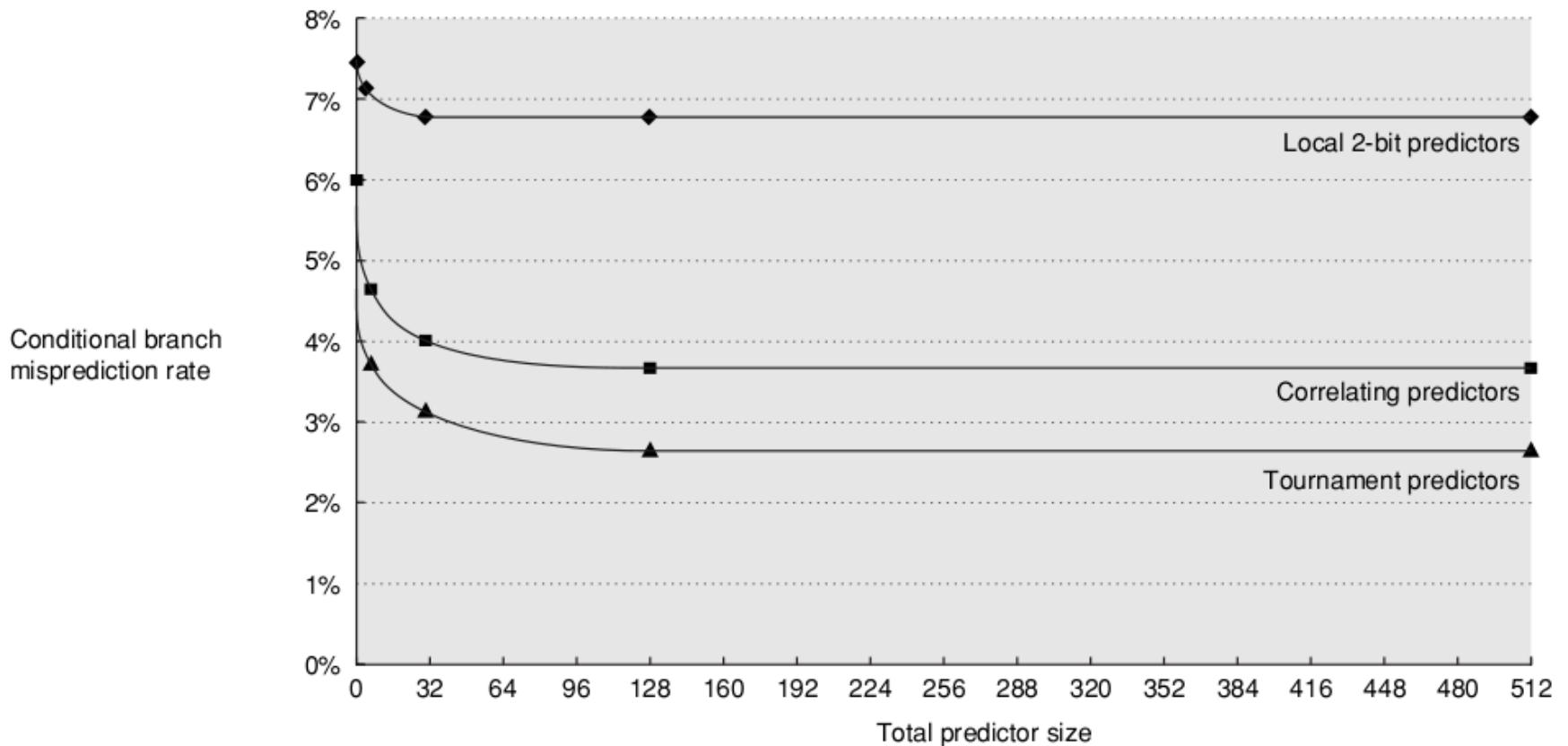
Previsão por Torneio

- Mistura informação **global** com informação **local** dos branches
- Multi-nível
- Alcança melhor resultado para BHTs de tamanhos médios (8K-32K bits) e utiliza melhor um número maior de bits de correlação

Previsão por Torneio



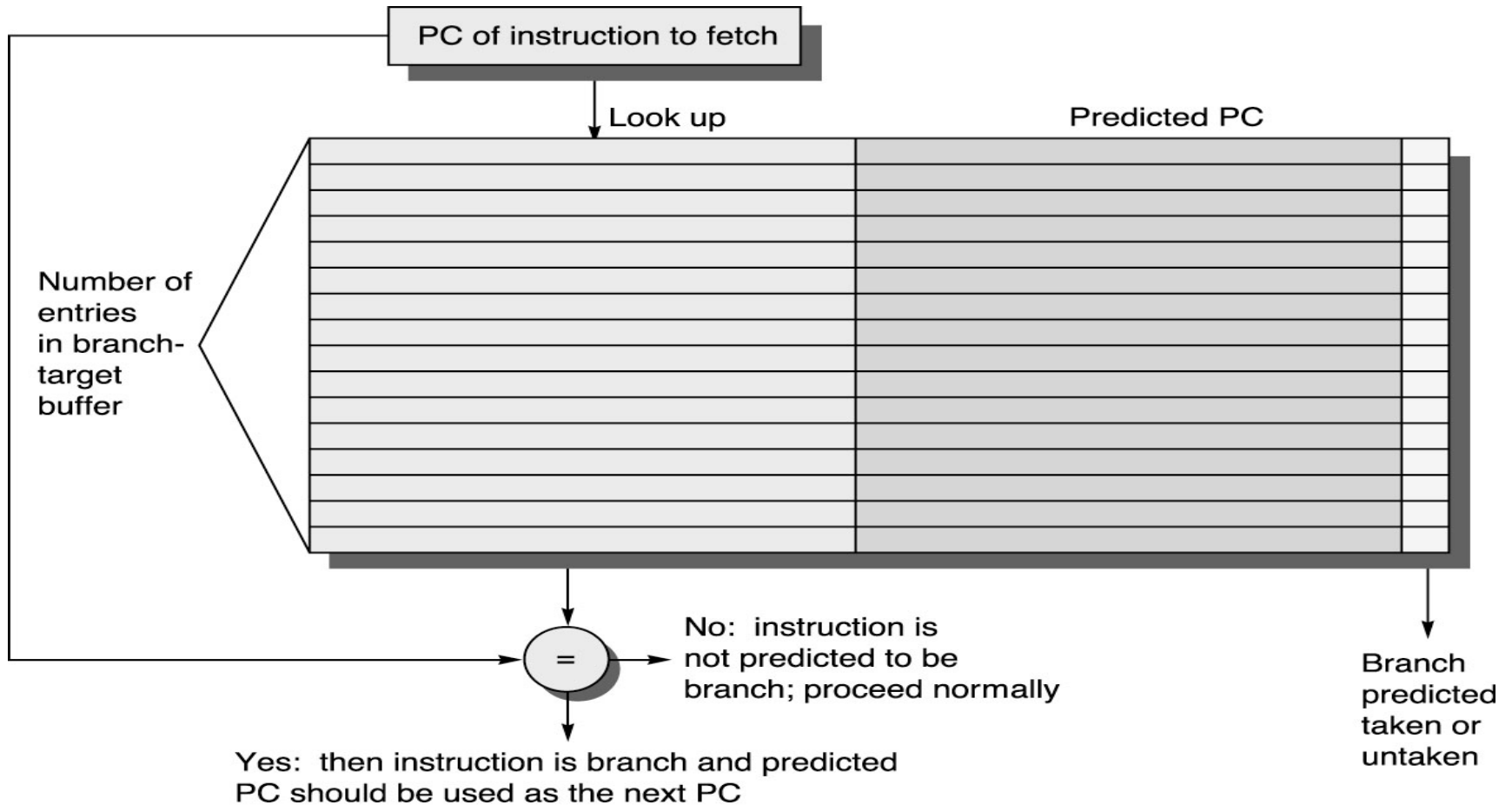
Previsão por Torneio

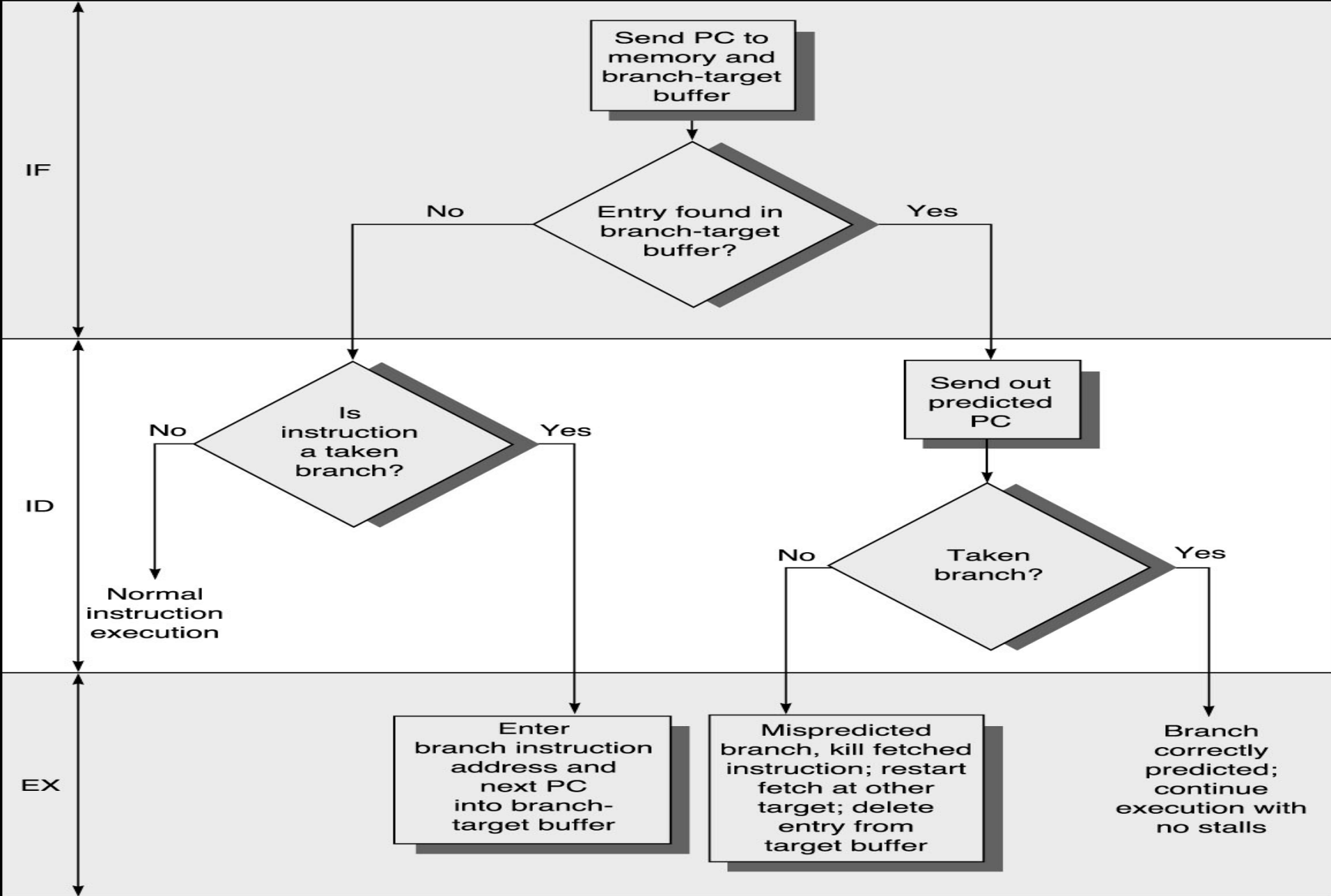


MIPS Precisa do Endereço ao Mesmo Tempo que Previsão

- **Branch Target Buffer (BTB):** Endereço do índice de branch busca **previsão E endereço** (se branch for tomado) **ao mesmo tempo**
- **Nota:** Precisamos checar agora se o branch é realmente aquele na tabela, porque não podemos usar o endereço errado. Portanto, **precisamos checar o endereço**

Branch Target Buffers





MIPS Precisa do Endereço ao Mesmo Tempo que Previsão

- O que acontece com endereços indiretos, por exemplo, em retorno de procedimentos com BTB?
- Usa-se um pequeno buffer de endereços de retorno operando como uma pilha.

Resumo do Momento

- **Objetivo:** Redução de custos de desvios
- **Métodos:**
 - Buffer de previsão de desvios – 2 bits
 - Previsores de desvio com correlacionamento
 - Previsores por torneio
 - Buffers de destino de desvio