Compiladores – Análise Semântica

Fabio Mascarenhas – 2015.1

http://www.dcc.ufrj.br/~fabiom/comp

Árvores Sintáticas Abstratas (ASTs)

- A árvore de análise sintática tem muita informação redundante
  - Separadores, terminadores, não-terminais auxiliares (introduzidos para contornar limitações das técnicas de análise sintática)
- Ela também trata todos os nós de forma homogênea, dificultando processamento deles
- A árvore sintática abstrata joga fora a informação redundante, e classifica os nós de acordo com o papel que eles têm na estrutura sintática da linguagem
- Fornecem ao compilador uma representação compacta e fácil de trabalhar da estrutura dos programas

Exemplo

- Seja a gramática abaixo:

```
E -> n
   | ( E )
   | E + E
```

- E a entrada `25 + (42 + 10)`

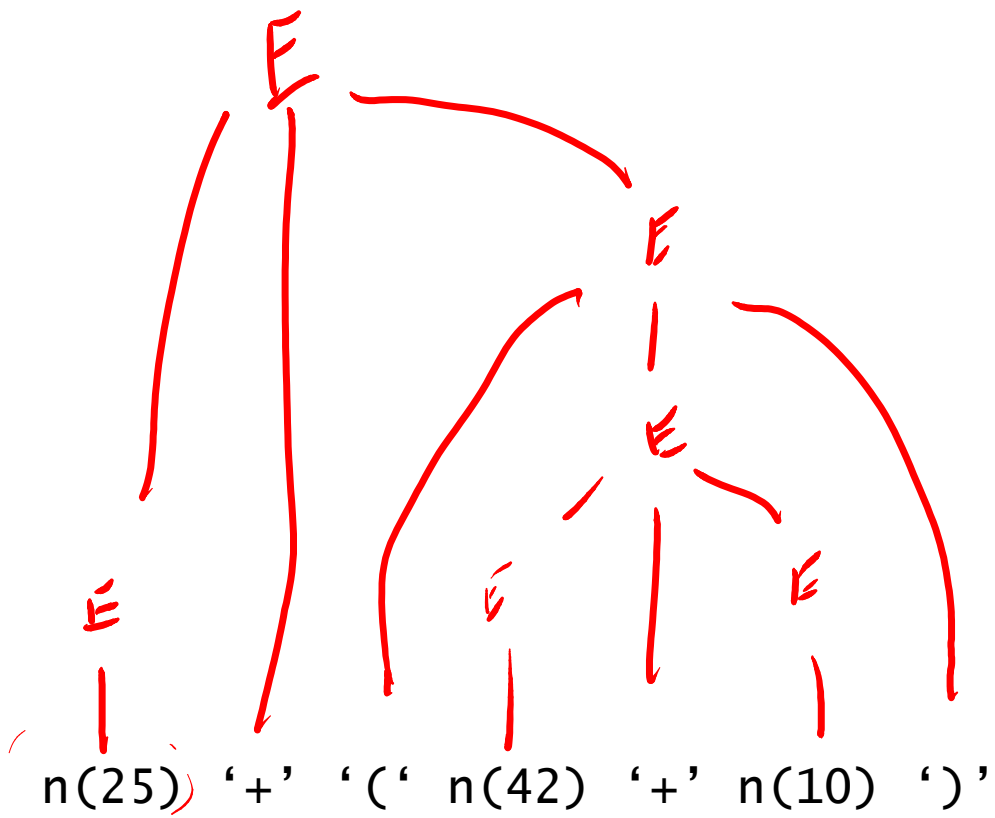
- Após a análise léxica, temos a sequência de tokens (com os lexemes entre parênteses):

```
n(25) '+' '(' n(42) '+' n(10) ')'
```

- Um analisador sintático bottom-up construiria a árvore sintática da próxima página

Exemplo – árvore sintática

```
E -> n
   | ( E )
   | E + E
```



E → E + T

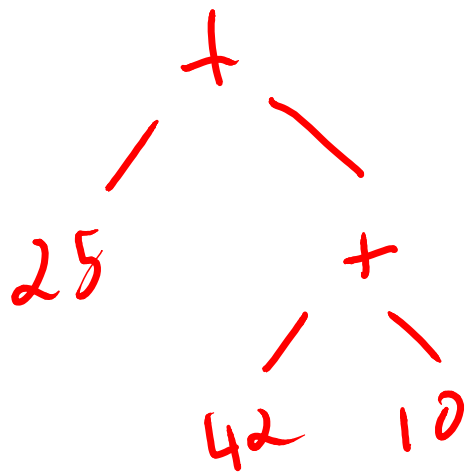
E → T

T → n

T → (E)

Exemplo - AST

```
E -> n
   | ( E )
   | E + E
```




```
n(25) ‘+’ ‘(‘ n(42) ‘+’ n(10) ‘)’
```

Representando ASTs

- Cada estrutura sintática da linguagem, normalmente dada pelas produções de sua gramática, dá um tipo de nó da AST

- Em um compilador escrito em Java, vamos usar uma classe para cada tipo de nó

- Não-terminais com várias produções ganham uma interface ou uma classe abstrata, derivada pelas classes de suas produções

- Nem toda produção ganha sua própria classe, algumas podem ser redundantes

```
E -> n          => Num (deriva de Exp)
   | ( E )      => Redundante
   | E + E      => Soma (deriva de Exp)
```

Exemplo – Representando a AST

```
interface Exp {}

class Num implements Exp {
  int val;

  Num(String lexeme) {
    val = Integer.parseInt(lexeme);
  }
}

class Soma implements Exp {
  Exp e1;
  Exp e2;

  Soma(Exp _e1, Exp _e2) {
    e1 = _e1; e2 = _e2;
  }
}
```

```
new Soma(
  new Num(25),
  new Soma(
    new Num(42),
    new Num(10)))
```

Uma AST para TINY

- Vamos lembrar da gramática SLR de TINY:

```
TINY -> CMDS
CMDS -> CMDS ; CMD
      | CMD
CMD  -> if EXP then CMDS end
      | if EXP then CMDS else CMDS end
      | repeat CMDS until EXP
      | id := EXP
      | read id
      | write EXP
```

```
EXP  -> EXP < EXP
      | EXP = EXP
      | EXP + EXP
      | EXP - EXP
      | EXP * EXP
      | EXP / EXP
      | ( EXP )
      | num
      | id
```

- Vamos representar listas (CMDS) usando a própria interface `List<T>` de Java

Uma AST para TINY - Resumo

- Três interfaces: `Cmd`, `Cond`, `Exp`
- As duas produções do `if` compartilham o mesmo tipo de nó da AST
- Quinze classes concretas
- Poderíamos juntar todas as operações binárias em uma única classe, e fazer a operação ser mais um campo
- Ou poderíamos ter juntado `IfThen` e `IfThenElse`
- Não existe uma maneira certa; a estrutura da AST é engenharia de software, não matemática

MiniJava

- Vocês estão implementando um compilador MiniJava como trabalho dessa disciplina

- MiniJava possui classes com herança simples, e métodos que podem ser redefinidos nas subclasses; um programa é um conjunto de classes

- O fragmento de gramática abaixo dá a estrutura dos programas MiniJava

```
PROG   -> MAIN {CLASSE}
MAIN   -> class id '{' public static void main
          ( String [ ] id ) '{' CMD '}' '}'
CLASSE -> class id [extends id] '{' {VAR} {METODO} '}'
VAR    -> TIPO id ;
METODO -> public TIPO id '(' [PARAMS] ')' '{' {VAR} {CMD} return EXP ; '}'
PARAMS -> TIPO id {, TIPO id}
```

Classe

Var

Método

AST de MiniJava

- O número de elementos sintáticos de MiniJava é bem mais extenso que as de TINY, então a quantidade de elementos na AST também será maior

- Um `Programa` tem uma lista de `Classe`, sendo que uma delas é a principal, de onde tiramos o `corpo` do programa, com apenas um `Cmd`, e o nome do parâmetro com os argumentos de linha de comando

- Uma `Classe` tem uma lista de `Var` e uma lista de `Metodo`

Comp'

- Um `Metodo` tem uma lista de `Param` e um corpo com uma lista de `Var`, uma lista de `Cmd`, e uma `Exp` de retorno

- Tanto uma `Var` quanto um `Param` têm um `Tipo` e um nome; `Tipo`, `Cmd` e `Exp` são interfaces com uma série de implementações concretas

Análise Semântica

- Muitos erros no programa não podem ser detectados sintaticamente, pois precisam de *contexto*
  - Quais variáveis estão em escopo, quais os seus tipos
- Por exemplo:
  - Todos os nomes usados foram declarados
  - Nomes não são declarados mais de uma vez
  - Tipos das operações são consistentes

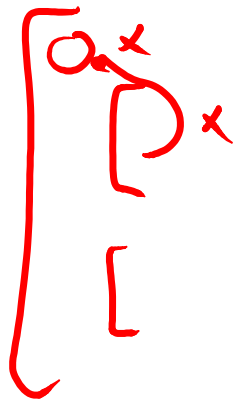
Escopo

- Amarração dos *usos* de um nome com sua *declaração*
  - Onde nomes podem ser variáveis, funções, métodos, tipos...
- Passo de análise importante em diversas linguagens, mesmo linguagens “de script”
- O *escopo* de um identificador é o trecho do programa em que ele está visível
- Se os escopos não se sobrepoem, o mesmo nome pode ser usado para coisas diferentes

Declarações e escopo em TINY

- Vamos adicionar declarações de variáveis em TINY no início de cada bloco, usando a sintaxe:

```
CMDS -> CMDS ; CMD
      | VAR CMD
VAR  -> var IDS ;
      |
IDS  -> IDS , id
      | id
```



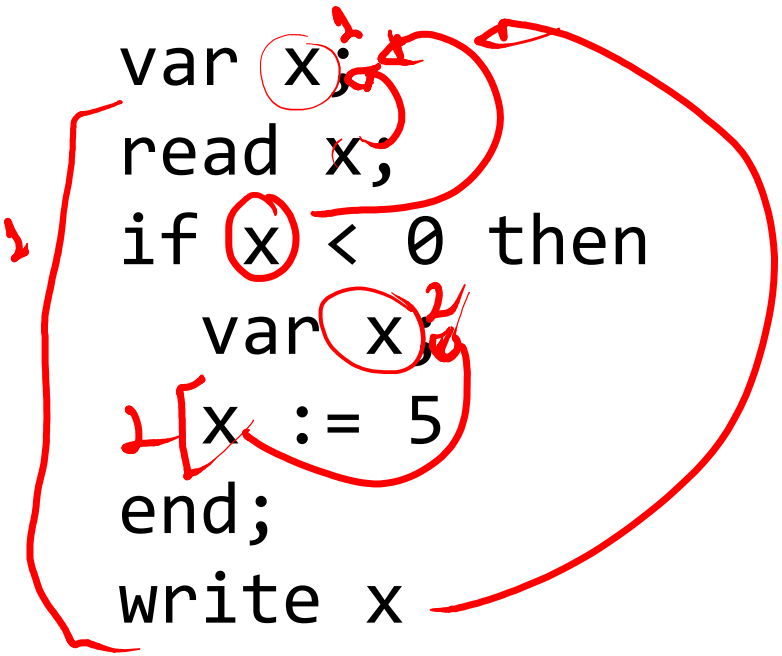
- O escopo de uma declaração é todo o bloco em que ela aparece, incluindo outros blocos dentro dele!

→ ESCOPO DE BLOCO ou ESCOPO LÉXICO

- Uma variável pode ser redeclarada em um bloco dentro de outro, nesse caso ela *oculta* a variável do bloco mais externo

Exemplo - escopo

- Qual o escopo de cada declaração de *x* no programa abaixo, e qual declaração corresponde a cada uso?



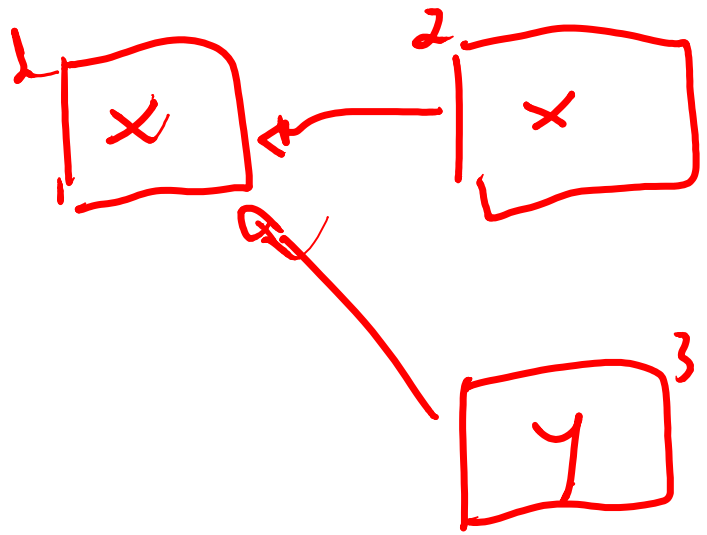
```
var x;
read x;
if x < 0 then
  var x;
  x := 5
end;
write x
```

Analisando escopo

- Fazemos a análise do escopo usando uma *tabela de símbolos encadeada*
- Uma tabela de símbolos mapeia um *nome* a algum *atributo* desse nome (seu tipo, onde ele está armazenado em tempo de execução, etc.)
- Cada tabela corresponde a um escopo, e elas são ligadas com a tabela responsável pelo escopo onde estão inseridas
- Existem duas operações básicas: *inserir* e *procurar*, usadas na declaração e no uso de um nome
- Essas operações implementam as regras de escopo da linguagem

Tabelas de Símbolos Encadeadas

```
var x;
read x;
if x < 0 then
  var x;
  x := 5
end;
repeat
  var y;
  y := x;
  write y;
  x := x - 1
until y = 0
write x
```



Procedimentos e escopo global

- Agora vamos adicionar *procedimentos* a TINY, usando a sintaxe abaixo:

```
TINY  -> PROCS ; CMDS
       | CMDS
PROCS -> PROCS ; PROC
       | PROC
PROC  -> procedure id ( ) CMDS end
CMD   -> id ( )
       | …
```

- Nomes de procedimentos vivem em um *espaço de nomes* separado do nome de variáveis, e são visíveis em todo o programa

- Variáveis visíveis em todo o bloco principal do programa também são visíveis dentro de procedimentos (variáveis globais)

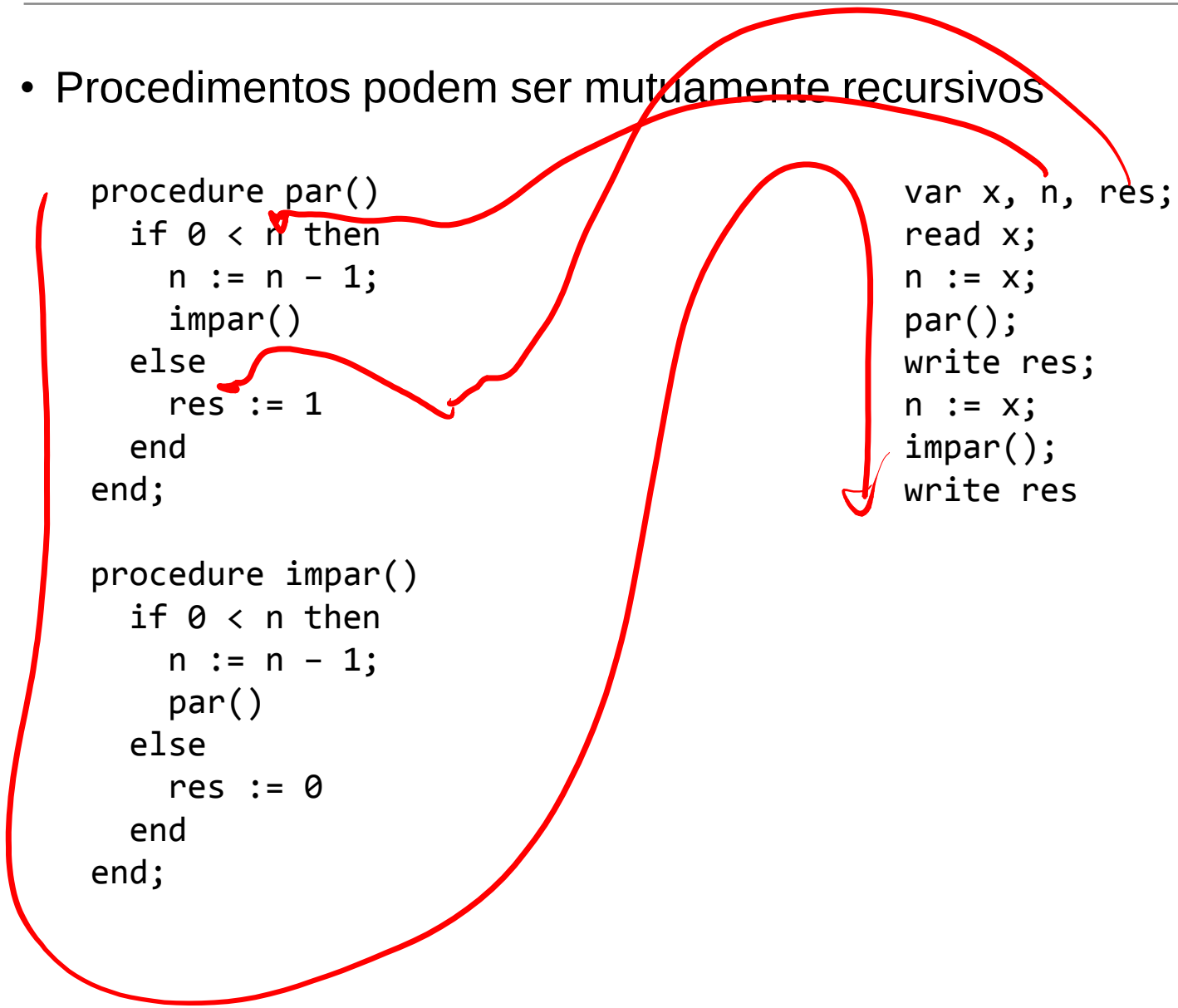
Exemplo – escopo de procedimentos

- Procedimentos podem ser mutuamente recursivos

```
procedure par()
  if 0 < n then
    n := n - 1;
    impar()
  else
    res := 1
  end
end;

procedure impar()
  if 0 < n then
    n := n - 1;
    par()
  else
    res := 0
  end
end;
```

```
var x, n, res;
read x;
n := x;
par();
write res;
n := x;
impar();
write res
```



Analisando escopo global

- Para termos escopo global, precisamos fazer a análise semântica em duas *passadas*
  - A primeira coleta todos os nomes que fazem parte do escopo global, e detecta declarações duplicadas
  - A segunda verifica se todos os nomes usados foram declarados
- A primeira passada constrói uma tabela de símbolos que é usada como entrada para a segunda
- No caso de TINY, essa tabela de símbolos é diferente da que usamos para variáveis

Escopos em MiniJava

- MiniJava tem vários tipos de nomes:
  - Variáveis
  - Campos
  - Métodos
  - Classes

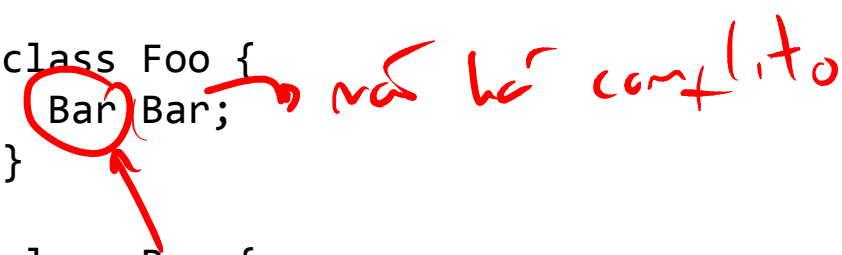
- Cada um desses tem suas regras de escopo; alguns compartilham espaços de nomes, outros têm espaços de nomes separados

Classes

- O escopo das classes é *global*
- Uma classe é visível no corpo de qualquer outra classe
- Classes estão em seu próprio espaço de nomes

```
class Foo {
  Bar Bar;
}

class Bar {
  Foo Foo;
}
```



Variáveis e campos

- Variáveis e campos compartilham o mesmo espaço de nomes, mas as regras de escopo são diferentes
- O escopo de variáveis locais é o escopo de bloco tradicional
- O escopo de campos respeita a *hierarquia de classes* de MiniJava, uma relação dada pelas cláusulas *extends* usadas na definição das classes
- Um campo de uma classe é visível em todos os métodos daquela classe *e de todas as suas subclasses, diretas ou indiretas*
- Variáveis locais ocultam campos, mas campos não podem ser redefinidos nas subclasses

Exemplo – escopo de variáveis e campos

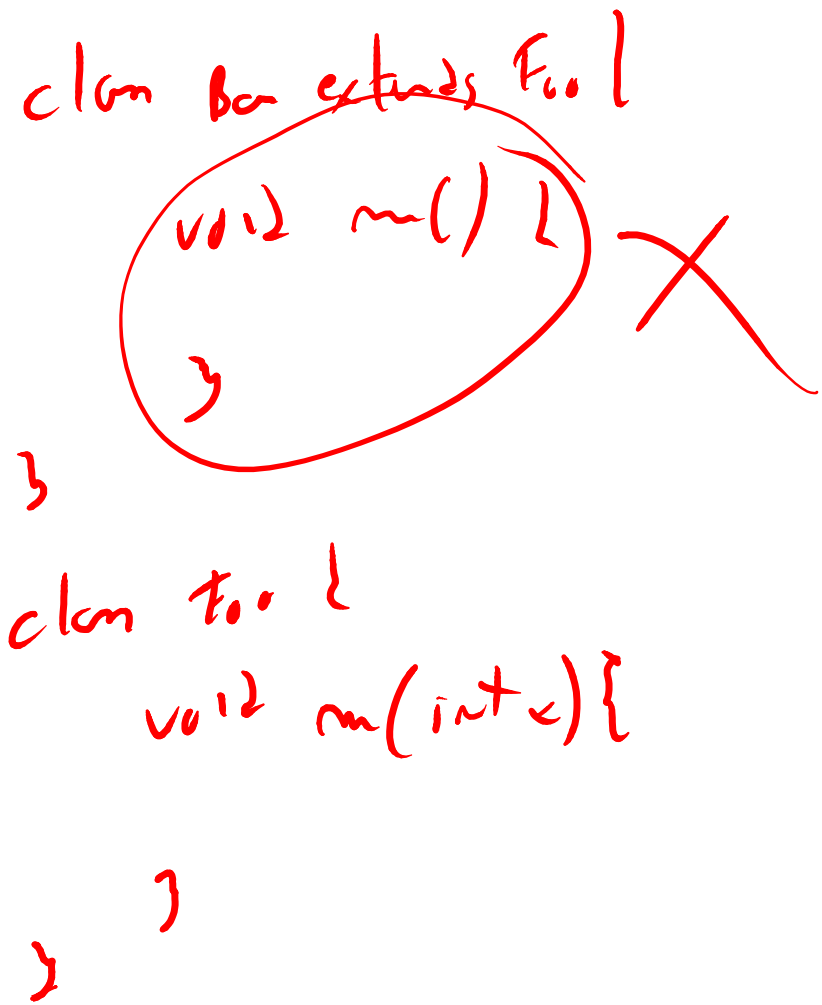
- O escopo do campo *x* inclui todas as subclasses de *Foo*

```
class Foo {
  int x;
}

class Bar extends Foo { }

class Baz extends Bar {
  int m1() {
    return x;
  }

  int m2(boolean x) {
    return x;
  }
}
```



Métodos

- Como classes, métodos estão em seu próprio espaço de nomes
- Mas, como campos, o escopo de um método é a classe em que está definido e suas subclasses
- Um método não pode ser definido duas vezes em uma classe, mas pode ser redefinido em uma subclasse *contanto que a assinatura seja a mesma*
- A *assinatura* do método é o seu tipo de retorno, seu nome e os tipos dos seus parâmetros, na ordem na qual eles aparecem
- Como classes, métodos e campos podem ser referenciados antes de sua declaração, a verificação de escopo de MiniJava também ocorre em duas passadas

Exemplo - métodos

- O método *m2* é visível em Baz, que redefine *m1*

```
class Foo {
  int m1() {
    return 0;
  }

  int m2() {
    return 1;
  }
}

class Bar extends Foo { }

class Baz extends Bar {
  int m1() {
    return this.m2();
  }
}
```