PICAT: Uma Linguagem de Programação Multiparadigma

Claudio Cesar de Sá

claudio.sa@udesc.br

Departamento de Ciência da Computação – DCC
Centro de Ciências e Tecnológias – CCT
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

9 de maio de 2019

Contribuições e Agradecimentos

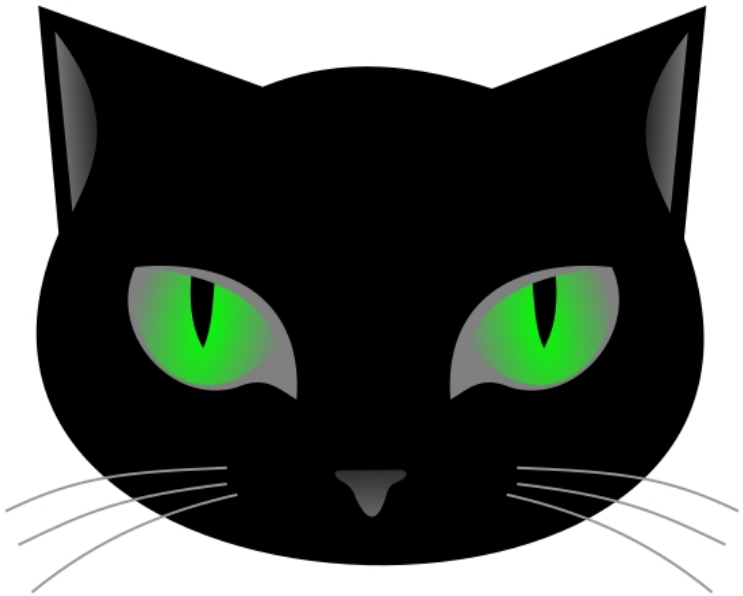
- Miguel Alfredo Nunes
- Jeferson L. R. Souza
- Alexandre Gonçalves
- Hakan Kjellerstrand – (`http://www.hakank.org/picat/`)
- Neng-Fa Zhou – (`http://www.picat-lang.org/`)
- João Herique Faes Battisti
- Paulo Victor de Aguiar
- Rogério Eduardo da Silva
- Outros anônimos que auxiliaram na produção deste documento

Sumário I

Sumário II

Introdução

- Histórico
- Contexto
- Exemplo: *Alo Mundo*
- Como usar
- Site e recursos



Histórico

- Criada em 2013 por Neng-Fa Zhou e Jonathan Fruhman
- Utiliza o B-Prolog como base de implementação, tendo a Lógica de Primeira-Ordem (LPO) como parte de seu mecanismo programação

Histórico

- Criada em 2013 por Neng-Fa Zhou e Jonathan Fruhman
- Utiliza o B-Prolog como base de implementação, tendo a Lógica de Primeira-Ordem (LPO) como parte de seu mecanismo programação
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de sucesso!

Histórico

- Criada em 2013 por Neng-Fa Zhou e Jonathan Fruhman
- Utiliza o B-Prolog como base de implementação, tendo a Lógica de Primeira-Ordem (LPO) como parte de seu mecanismo programação
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de sucesso!
- Sua atual versão é a 2.x (9 de maio de 2019).

Histórico

- Criada em 2013 por Neng-Fa Zhou e Jonathan Fruhman
- Utiliza o B-Prolog como base de implementação, tendo a Lógica de Primeira-Ordem (LPO) como parte de seu mecanismo programação
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de sucesso!
- Sua atual versão é a 2.x (9 de maio de 2019).
- Código-aberto, segue as regras da FSF

Conhecendo PICAT

- Picat é uma linguagem de programação simples de usar, poderosa e multi-uso
- Alguma de suas características são associadas com linguagens lógicas, como Prolog, B-Prolog, Goedel, etc

- Picat é uma linguagem de programação simples de usar, poderosa e multi-uso
- Alguma de suas características são associadas com linguagens lógicas, como Prolog, B-Prolog, Goedel, etc
- Picat é uma linguagem essencialmente multiparadigma, abrangendo partes de vários paradigmas de programação: declarativo (lógico e funcional) e imperativo

O que é ser Multiparadigma ?

- Paradigma: um conjunto de características baseado em alguma abordagem teórica

O que é ser Multiparadigma ?

- Paradigma: um conjunto de características baseado em alguma abordagem teórica
- Picat é uma linguagem multiparadigma pois abrange os seguintes paradigmas:
  - Lógico
  - Funcional
  - Procedural

O que é ser Multiparadigma ?

- Paradigma: um conjunto de características baseado em alguma abordagem teórica
- Picat é uma linguagem multiparadigma pois abrange os seguintes paradigmas:
  - Lógico
  - Funcional
  - Procedural
- Em resumo, *uma boa mistura* de: Haskell (Funcional) , Prolog (Lógica) e Python (Procedural e Funcional).

Paradigma Lógico

- Uma linguagem lógica é uma onde o programa é expresso como um conjunto de predicados lógicos, escritos por *fatos* e *regras*

Paradigma Lógico

- Uma linguagem lógica é uma onde o programa é expresso como um conjunto de predicados lógicos, escritos por *fatos* e *regras*
- Regras são escritas em formas de cláusulas, as quais são interpretadas como implicações lógicas.
  Dependem das premissas serem verdadeiras para esta ser verdadeira.

Paradigma Lógico

- Uma linguagem lógica é uma onde o programa é expresso como um conjunto de predicados lógicos, escritos por *fatos* e *regras*
- Regras são escritas em formas de cláusulas, as quais são interpretadas como implicações lógicas.
  Dependem das premissas serem verdadeiras para esta ser verdadeira.
- Fatos são cláusulas sem premissas, verdades absolutas.

Paradigma Lógico

- Uma linguagem lógica é uma onde o programa é expresso como um conjunto de predicados lógicos, escritos por *fatos* e *regras*
- Regras são escritas em formas de cláusulas, as quais são interpretadas como implicações lógicas.
  Dependem das premissas serem verdadeiras para esta ser verdadeira.
- Fatos são cláusulas sem premissas, verdades absolutas.
- Este paradigma é a **base** do Picat

Paradigma Funcional

- Uma linguagem funcional é uma onde os elementos do programa podem ser avaliados e tratados como funções matemáticas.

Paradigma Funcional

- Uma linguagem funcional é uma onde os elementos do programa podem ser avaliados e tratados como funções matemáticas.
- Um dos principais motivos em usar linguagens funcionais é a previsibilidade e facilidade no entendimento do estado atual do programa.

Paradigma Funcional

- Uma linguagem funcional é uma onde os elementos do programa podem ser avaliados e tratados como funções matemáticas.
- Um dos principais motivos em usar linguagens funcionais é a previsibilidade e facilidade no entendimento do estado atual do programa.
- Este fato de uma sintaxe simples, torna o Picat intuitivo e legível na funcionalidade de seus códigos.

Paradigma Procedural

- Uma linguagem procedural é uma que pode ser subdividida em *procedimentos*, também chamados de rotinas, subrotinas ou funções

Paradigma Procedural

- Uma linguagem procedural é uma que pode ser subdividida em *procedimentos*, também chamados de rotinas, subrotinas ou funções
- Em linguagens procedurais há um procedimento principal (em geral é chamado de *Main*) que controla o uso e a chamada de outros procedimentos. Em Picat há tal hierarquia.

Paradigma Procedural

- Uma linguagem procedural é uma que pode ser subdividida em *procedimentos*, também chamados de rotinas, subrotinas ou funções
- Em linguagens procedurais há um procedimento principal (em geral é chamado de *Main*) que controla o uso e a chamada de outros procedimentos. Em Picat há tal hierarquia.
- Em Picat, cada premissa é tratada como um procedimento, que é resolvido por meio de métodos de inferência lógica.

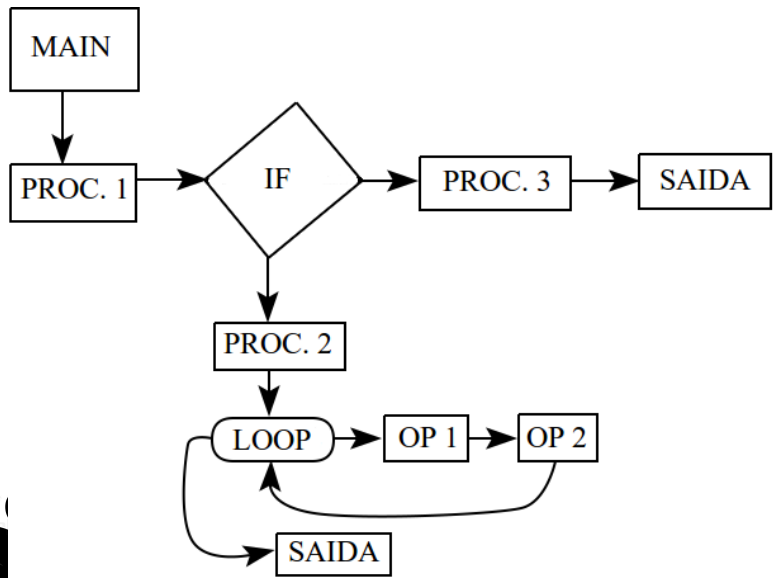


Figura 1: Fluxograma representando a estrutura de um programa Procedural

Algumas Características:

Algumas Características:

- Sintaxe elegante e simples, facilitando a leitura e entendimento do código

Algumas Características:

- Sintaxe elegante e simples, facilitando a leitura e entendimento do código
- Velocidade de execução em um ambiente *interpretado* (há uma *máquina virtual* como Python, Java e alguns Prologs)

Algumas Características:

- Sintaxe elegante e simples, facilitando a leitura e entendimento do código
- Velocidade de execução em um ambiente *interpretado* (há uma *máquina virtual* como Python, Java e alguns Prologs)
- Disponibilidade em vários sistemas operacionais e arquiteturas

Algumas Características:

- Sintaxe elegante e simples, facilitando a leitura e entendimento do código
- Velocidade de execução em um ambiente *interpretado* (há uma *máquina virtual* como Python, Java e alguns Prologs)
- Disponibilidade em vários sistemas operacionais e arquiteturas
- Análogo a Python, podem ser feitas *queries* ou *consultas* ao terminal de Picat.

Algumas Características:

- Sintaxe elegante e simples, facilitando a leitura e entendimento do código
- Velocidade de execução em um ambiente *interpretado* (há uma *máquina virtual* como Python, Java e alguns Prologs)
- Disponibilidade em vários sistemas operacionais e arquiteturas
- Análogo a Python, podem ser feitas *queries* ou *consultas* ao terminal de Picat.
- Há várias bibliotecas da própria linguagem, e diversas ferramentas externas permitindo o incremento do poder do Picat.

Acrônimo de **P.I.C.A.T.**

P: *Pattern-matching*: Utiliza o conceito de *casamento de padrões* entre objetos, bem como os conceitos da *unificação* da LPO

I: *Intuitive*: Oferece estruturas de decisão, atribuição e laços de repetição, etc. Análogo há outras linguagens de programação mais populares

C: *Constraints*: Suporta a programação por restrições (PR) para problemas combinatórios

A: *Actors*: Suporte as chamadas a eventos, chamada via *atores*

T: *Tabling*: Implementa a técnica de *memoization* com soluções imediatas para problemas de Programação Dinâmica (PD).

Instalação do PICAT

- Baixar a versão desejada de:

  `http://picat-lang.org/download.html`

Instalação do PICAT

- Baixar a versão desejada de:

  `http://picat-lang.org/download.html`

- Descompactar. Em geral em: **/usr/local/Picat/** ou **/opt/Picat/** no Linux e IOS

Instalação do PICAT

- Baixar a versão desejada de:

  `http://picat-lang.org/download.html`
- Descompactar. Em geral em: **/usr/local/Picat/** ou **/opt/Picat/** no Linux e IOS
- Criar um link simbólico (Linux) ou atalhos (Windows):

  `ln -s /usr/local/Picat/picat  /usr/bin/picat`

Instalação do PICAT

- Baixar a versão desejada de:

  `http://picat-lang.org/download.html`
- Descompactar. Em geral em: **/usr/local/Picat/** ou **/opt/Picat/** no Linux e IOS
- Criar um link simbólico (Linux) ou atalhos (Windows):

  `ln -s /usr/local/Picat/picat  /usr/bin/picat`
- Se quiser adicionar (opcional) uma variável de ambiente:

  ```
  PICATPATH=/usr/local/Picat/
  export PICATPATH
  ```

Instalação do PICAT

- Baixar a versão desejada de:

  `http://picat-lang.org/download.html`
- Descompactar. Em geral em: **/usr/local/Picat/** ou **/opt/Picat/** no Linux e IOS
- Criar um link simbólico (Linux) ou atalhos (Windows):

  `ln -s /usr/local/Picat/picat /usr/bin/picat`
- Se quiser adicionar (opcional) uma variável de ambiente:

  ```
  PICATPATH=/usr/local/Picat/
  export PICATPATH
  ```
- Ou ainda, adicione o caminho:

  `PATH=$PATH:/usr/local/Picat`

Instalação do PICAT

- Baixar a versão desejada de:

  `http://picat-lang.org/download.html`
- Descompactar. Em geral em: **/usr/local/Picat/** ou **/opt/Picat/** no Linux e IOS
- Criar um link simbólico (Linux) ou atalhos (Windows):

  `ln -s /usr/local/Picat/picat  /usr/bin/picat`
- Se quiser adicionar (opcional) uma variável de ambiente:

  ```
  PICATPATH=/usr/local/Picat/
  export PICATPATH
  ```
- Ou ainda, adicione o caminho:

  `PATH=$PATH:/usr/local/Picat`
- Finalmente, tenha um editor de texto apropriado.

  Sugestão: *Geany*, *Sublime* ou *VS Code*.

Instalação do PICAT

- Baixar a versão desejada de:
  `http://picat-lang.org/download.html`
- Descompactar. Em geral em: **/usr/local/Picat/** ou **/opt/Picat/** no Linux e IOS
- Criar um link simbólico (Linux) ou atalhos (Windows):
  `ln -s /usr/local/Picat/picat /usr/bin/picat`
- Se quiser adicionar (opcional) uma variável de ambiente:
  ```
  PICATPATH=/usr/local/Picat/
  export PICATPATH
  ```
- Ou ainda, adicione o caminho:
  `PATH=$PATH:/usr/local/Picat`
- Finalmente, tenha um editor de texto apropriado.
  Sugestão: *Geany*, *Sublime* ou *VS Code*.
- Editor on-line mantido pelo Alexandre:
  `http://retina.inf.ufsc.br/picat.html`

Instalação do PICAT

- Baixar a versão desejada de:
  `http://picat-lang.org/download.html`
- Descompactar. Em geral em: **/usr/local/Picat/** ou **/opt/Picat/** no Linux e IOS
- Criar um link simbólico (Linux) ou atalhos (Windows):
  `ln -s /usr/local/Picat/picat /usr/bin/picat`
- Se quiser adicionar (opcional) uma variável de ambiente:
  ```
  PICATPATH=/usr/local/Picat/
  export PICATPATH
  ```
- Ou ainda, adicione o caminho:
  `PATH=$PATH:/usr/local/Picat`
- Finalmente, tenha um editor de texto apropriado.
  Sugestão: *Geany*, *Sublime* ou *VS Code*.
- Editor on-line mantido pelo Alexandre:
  `http://retina.inf.ufsc.br/picat.html`
- Se não tiver *plugin* para Picat, escolha a sintaxe da linguagem *Erlang*.

Usando Picat

- Os seus arquivos fontes utilizam a extensão **.pi**. Exemplo: `programa.pi`
- Há dois modos principais de utilização do Picat:
  - Modo interativo, onde seu código é digitado e compilado diretamente na linha de comando;
  - *Modo console* onde o console só é utilizado para compilar seus programas.

Usando Picat

- Os seus arquivos fontes utilizam a extensão **.pi**. Exemplo: `programa.pi`
- Há dois modos principais de utilização do Picat:
  - Modo interativo, onde seu código é digitado e compilado diretamente na linha de comando;
  - *Modo console* onde o console só é utilizado para compilar seus programas.
- Códigos executáveis 100% **stand-alone**: ainda não!
- Neste quesito, estamos em igualdade com Java, Prolog e Python

Exemplo – *Alô Mundo!*

Acompanhar as explicações do código de:
`https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/alo_mundo.pi`

```
main => msg_01   ,
        msg_02 .

msg_01 =>  printf("  ALO MUNDO!!! ").
msg_02 =>  printf("\n  FIM \n").
```

Execução na Console Linux ou Windows

```
$ picat alo_mundo.pi
  ALO MUNDO!!!
  FIM
$
```

Execução na Console Linux ou Windows

```
$ picat alo_mundo.pi
  ALO MUNDO!!!
  FIM
$
```

Análogo ao desenvolvimento com Python!

Execução no Ambiente do Interpretador

```
$ picat
Picat 2.0, (C) picat-lang.org, 2013-2016.
Type 'help' for help.
Picat> cl(álo_mundo.pi').
Compiling:: alo_mundo.pi
alo_mundo.pi compiled in 0 milliseconds
loading...

yes

Picat> main
  ALO MUNDO!!!
  FIM

yes

Picat> msg_02

  FIM

yes
```

Ambiente do Interpretador – Uso do `getline`

- Inicialmente, aqui o código foi carregado com o comando '`cl`' (digite `help` na console), o qual **compila** o seu código e **carrega** em um código intermediário pronto para ser executado e testado

Ambiente do Interpretador – Uso do `getline`

- Inicialmente, aqui o código foi carregado com o comando '`cl`' (digite `help` na console), o qual **compila** o seu código e **carrega** em um código intermediário pronto para ser executado e testado
- Neste ambiente interpretado há comandos básicos de teclado (mouse não funciona aqui) do programa `getline` do Linux. Os mais importantes são:

Ambiente do Interpretador – Uso do `getline`

- Inicialmente, aqui o código foi carregado com o comando '`cl`' (digite `help` na console), o qual **compila** o seu código e **carrega** em um código intermediário pronto para ser executado e testado
- Neste ambiente interpretado há comandos básicos de teclado (mouse não funciona aqui) do programa `getline` do Linux. Os mais importantes são:
  - **Crtl-a**: move o cursor para o início da linha
  - **Crtl-e**: move o cursor para o final da linha (*end*)
  - **Crtl-f**: move o cursor de uma posição a frente (forward)
  - **Crtl-b**: move o cursor de uma posição para trás (backward)
  - **Crtl-d**: exclui o carácter sob o cursor (a 2a. vez – sai do ambiente)
  - **Crtl-u**: exclui a linha inteira
  - As flechas ... repetem os últimos comandos

- Use um editor externo de sua preferência. Por exemplo: `geany` com plugin do Picat

Ambiente do Interpretador – Uso

- Use um editor externo de sua preferência. Por exemplo: `geany` com plugin do Picat
- Mantenha duas janelas de terminais abertas
  - Uma para o ambiente interpretado
  - Outra para usá-lo diretamente: `$console$ picat seu_programa.pi`

Ambiente do Interpretador – Uso

- Use um editor externo de sua preferência. Por exemplo: `geany` com plugin do Picat
- Mantenha duas janelas de terminais abertas
  - Uma para o ambiente interpretado
  - Outra para usá-lo diretamente: `$console$ picat seu_programa.pi`
- Os dois modos são importantes de se trabalhar simultaneamente

Ambiente do Interpretador – Uso

- Use um editor externo de sua preferência. Por exemplo: `geany` com plugin do Picat
- Mantenha duas janelas de terminais abertas
  - Uma para o ambiente interpretado
  - Outra para usá-lo diretamente: `$console$ picat seu_programa.pi`
- Os dois modos são importantes de se trabalhar simultaneamente
- Em dúvidas, digite: `Picat> help .`

- O conteúdo desta parte do curso pode ser complementado com a **Videoaula 01: Introdução ao PICAT**, disponível no Youtube:
  `https://www.youtube.com/watch?v=0DmTyFFQPK8`

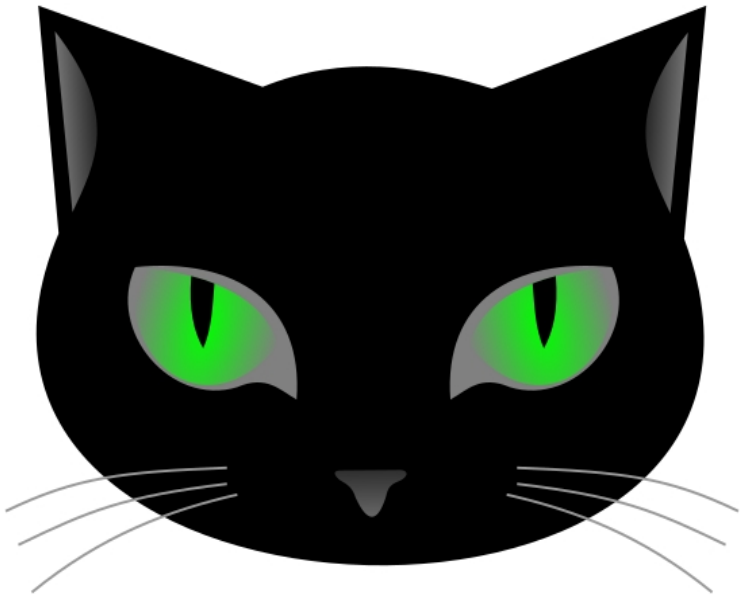
Reflexões

- O conteúdo desta parte do curso pode ser complementado com a **Videoaula 01: Introdução ao PICAT**, disponível no Youtube:
  `https://www.youtube.com/watch?v=0DmTyFFQPK8`
- Para próxima seção esteja com o Picat instalado em seu computador para um melhor aproveitamento.

Reflexões

- O conteúdo desta parte do curso pode ser complementado com a **Videoaula 01: Introdução ao PICAT**, disponível no Youtube:
  `https://www.youtube.com/watch?v=0DmTyFFQPK8`
- Para próxima seção esteja com o Picat instalado em seu computador para um melhor aproveitamento.
- Em códigos fontes: o símbolo '%' no início de linha, comenta a linha corrente

- Contextualizar
- Definições
- Exemplos



- Em projetos de linguagens de programação há dois tipos verificação do tipo de dados: **estática** e **dinâmica**

- Em projetos de linguagens de programação há dois tipos verificação do tipo de dados: **estática** e **dinâmica**
- A verificação de tipos dados estática em *tempo de compilação*.

- Em projetos de linguagens de programação há dois tipos verificação do tipo de dados: **estática** e **dinâmica**
- A verificação de tipos dados estática em *tempo de compilação*.
- Enquanto a dinâmica em *tempo de execução*.

- Em projetos de linguagens de programação há dois tipos verificação do tipo de dados: **estática** e **dinâmica**
- A verificação de tipos dados estática em *tempo de compilação*.
- Enquanto a dinâmica em *tempo de execução*.
- Linguagens fortemente tipadas, tais como Java, Haskell e Pascal, exigem que o tipo do dado (conteúdo) seja do mesmo tipo da variável ao qual este valor será atribuído. Tudo isto é pré-definido durante a fase da *compilação*.

- Nas linguagens interpretadas, com uma máquina virtual, esta definição é feita durante a *execução* do programa. Exemplo: Java é uma linguagem com tipagem estática que é executada em uma máquina virtual.

- Nas linguagens interpretadas, com uma máquina virtual, esta definição é feita durante a *execução* do programa. Exemplo: Java é uma linguagem com tipagem estática que é executada em uma máquina virtual.
- Prós e contras sobre a melhor tipagem de dados, esta é uma discussão que fica de lado neste momento, neste contexto

- Nas linguagens interpretadas, com uma máquina virtual, esta definição é feita durante a *execução* do programa. Exemplo: Java é uma linguagem com tipagem estática que é executada em uma máquina virtual.
- Prós e contras sobre a melhor tipagem de dados, esta é uma discussão que fica de lado neste momento, neste contexto
- Em resumo Picat, tem uma tipagem **dinâmica** e é compilado para uma máquina virtual própria.

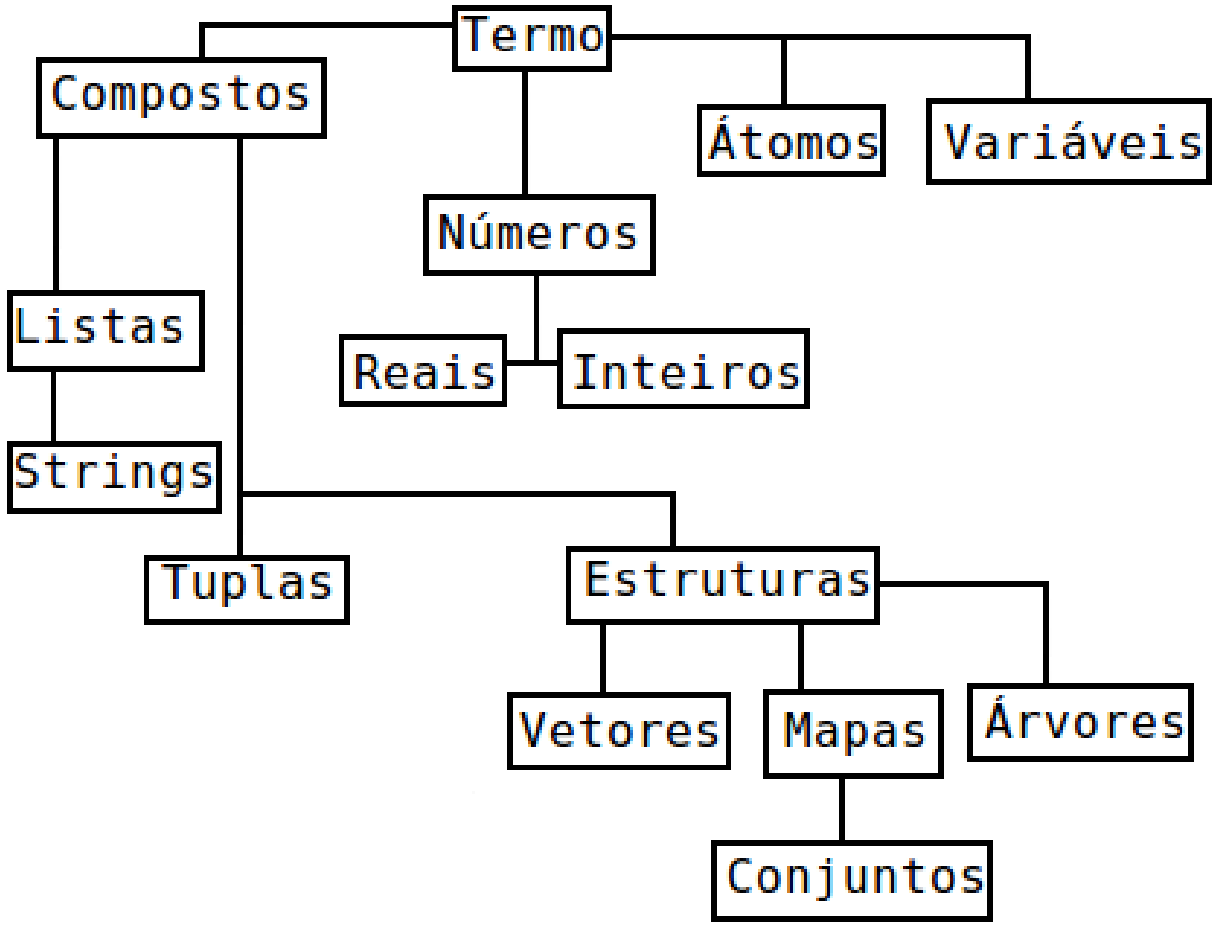


Figura 2: Hierarquia dos Tipos de Dados

Termos

- Em Picat, variáveis e valores são *genericamente* chamados de *termos*

Termos

- Em Picat, variáveis e valores são *genericamente* chamados de *termos*
- Os valores são subdivididos em duas categorias, números e valores compostos
- Os números, por suas vez, podem ser inteiros ou reais, e valores compostos podem ser listas e estruturas

Átomos

- Átomos são constantes simbólicas, podendo ser delimitados ou não, por aspas simples.
- Carácteres são representados por átomos de comprimento 1.
- Átomos não delimitados por aspas simples, **nunca** começam com uma letra maiúscula, nem número ou *underscore*.

Átomos

- Átomos são constantes simbólicas, podendo ser delimitados ou não, por aspas simples.
- Carácteres são representados por átomos de comprimento 1.
- Átomos não delimitados por aspas simples, **nunca** começam com uma letra maiúscula, nem número ou *underscore*.

Exemplos

```
x    x_1    '_'    '\\'    'a\'b\n'    '_ab'    '$%'
```

Números se dividem em:

- **Inteiro:** Inteiros podem ser representados por números binários, octais, decimais ou hexadecimais.

Exemplos

`12_345`	12345 em notação decimal, usando _ como separador
`0b100`	4 em notação binária
`0o73`	59 em notação octal
`0xf7`	247 em notação hexadecimal

O **underscore** é ignorado pelo compilador e o interpretador.

- **Real:** Números reais são compostos por um parte inteira, um ponto, seguido por uma fração decimal, ou um expoente.
- Se existe uma parte inteira em um número real então ela deve ser seguida por uma fração ou um expoente. Isso é necessário para distinguir um número real de um número inteiro.

Exemplos

```
12.345    0.123    12-e10    0.12E10
```

Compostos

- Termos compostos podem conter mais de um valor ao mesmo tempo.

Compostos

- Termos compostos podem conter mais de um valor ao mesmo tempo.
- Termos compostos são acessados pela notação de índice, começando a partir de 1 e indo até N, onde N é o tamanho deste termo.

Compostos

- Termos compostos podem conter mais de um valor ao mesmo tempo.
- Termos compostos são acessados pela notação de índice, começando a partir de 1 e indo até N, onde N é o tamanho deste termo.
- Se dividem em Listas e Estruturas.

Listas são agrupamentos de valores quaisquer sem ordem e sem tamanho pré-definido. Seu tamanho não é armazenado na memória, sendo necessário recalcular sempre que necessário seu uso. Listas são encapsuladas por colchetes.

Exemplos

[1,2,3,4,5] [a,b,32,1.5,aaac] ["string",14,22]

Há uma seção dedicada a esta poderosa estrutura de dados!

Strings – Lista de Carácteres

Strings são listas especiais que contém somente carácteres. *Strings* podem ser inicializadas como uma sequência de carácteres encapsulados por aspas duplas, ou como uma sequência de carácteres dentro colchetes separados por vírgulas.

Exemplos

"Hello" "World!" "\n" [o,l,a," ",m,u,n,d,o]

Tuplas

- Tuplas é um conjunto de termos não-ordenados, podendo ser acessados por notação de índice assim como listas.
- Tuplas são estáticas, ou seja, os termos contidos em uma tupla não podem ser alterados, assim como não podem ser adicionados ou removidos termos de tuplas.
- Tuplas são encapsuladas por parênteses e seus termos são separados por vírgulas.

Exemplos

(1,2,3,4,5) (a,b,32,1.5,aaac) ("string",14,22)

Em geral, usamos as tuplas dentro de listas.

Estruturas são termos especiais que podem ser definidos pelo usuário. Estruturas tomam a seguinte forma:

$$\$\mathtt{s}(t_1, \ldots, t_n)$$

Onde *'s'* é um átomo que denomina a estrutura, cada *'t_i'* é um de seus termos, e *'n'* é a aridade ou tamanho da estrutura.

Exemplo

$ponto(1,2) $pessoa(jose, "123.456.789.00", "1.234.567")

Estruturas são termos especiais que podem ser definidos pelo usuário. Estruturas tomam a seguinte forma:

$$\$\mathtt{s}(t_1, \ldots, t_n)$$

Onde *'s'* é um átomo que denomina a estrutura, cada *'t_i'* é um de seus termos, e *'n'* é a aridade ou tamanho da estrutura.

Exemplo

$ponto(1,2) $pessoa(jose, "123.456.789.00", "1.234.567")

Temos 4 outras estruturas que não usam o símbolo $, são elas:

Vetores

Vetores ou *arrays* são estruturas especiais do tipo:

$$\{t_1, \ldots, t_n\}$$

Vetores ou *arrays* são estruturas especiais do tipo:

$$\{t_1, \ldots, t_n\}$$

- Vetor é um conjunto ordenado de tamanho n, delimitado por '{}'.
- Vetores tem comportamentos análogo às listas, tanto é que quase todas as funções de listas são sobrecarregadas para vetores.
- A diferença entre vetores e listas é que vetores tem um tamanho constante.
- Vetores são muito práticos quando se manipula matrizes na entrada

Exemplos

{1,2,3,4,5} {a,b,32,1.5,aaac} {"string",14,22}

- **Mapas** são estruturas especiais que são conjuntos de relações do tipo `chave-valor`.
- **Conjuntos** são sub-tipos de mapas onde todos as chaves estão relacionadas com o átomo `not_a_value`.
- *Heaps* são árvores binárias completas representadas como vetores. Árvores podem ser do tipo *máximo*, onde o maior valor está na raiz, ou *mínimo*, onde o menor valor esta na raiz.

Variáveis I

- Picat é uma linguagem de Tipagem Dinâmica, ou seja, o tipo de uma variável é validado durante a execução do programa
- Isto é, quando uma variável é criada, seu tipo não é instanciado
- Variáveis são análogas as da matemática, são símbolos que *seguram* ou representam um valor
- Ao contrário de variáveis em linguagens imperativas, variáveis em Picat não são endereços simbólicos de locais na memória
- Uma variável é dita *livre* (*free*) se não contém nenhum valor, e dita *instanciada* (*bound*) se ela contém um valor
- Uma vez que uma variável é instanciada, ela permanece com este valor na execução atual
- Por isso, diz-se que variáveis em Picat são de *atribuição única*

Variáveis II

- O nome de variáveis devem sempre ser iniciado com letras **maiúsculas** ou com o caráctere ***underscore (_)***, porém;
  - Variáveis cujo nome é unicamente um caractere _ são chamadas de *variáveis anônimas*.
  - As *variáveis anônimas* podem receber qualquer valor não os guardam durante a execução do programa;
  - Num mesmo programa, podem existir diversas variáveis anônimas, instanciadas durante a execução do mesmo

Há dois modos de definir valores às variáveis:

Unficação e Atribuição

Há dois modos de definir valores às variáveis:

- Unificação usa o operador '='
- Atribuição usa o operador ':='

Unificação

- A **Unificação** é uma operação que instancia uma variável a um termo, substituindo toda ocorrência dessa variável pelo valor

Unificação

- A **Unificação** é uma operação que instancia uma variável a um termo, substituindo toda ocorrência dessa variável pelo valor
- Caso ocorra uma instância que não falhe nenhuma situação a variável é unificada à este termo ou padrão.

Unificação

- A **Unificação** é uma operação que instancia uma variável a um termo, substituindo toda ocorrência dessa variável pelo valor
- Caso ocorra uma instância que não falhe nenhuma situação a variável é unificada à este termo ou padrão.
- Uma instanciação é indefinida até que se encontre um valor que possa ser unificada a uma variável.

Unificação

- A **Unificação** é uma operação que instancia uma variável a um termo, substituindo toda ocorrência dessa variável pelo valor
- Caso ocorra uma instância que não falhe nenhuma situação a variável é unificada à este termo ou padrão.
- Uma instanciação é indefinida até que se encontre um valor que possa ser unificada a uma variável.
- Termos são ditos unificáveis se são idênticos ou podem ser tornados idênticos instanciado variáveis nos termos.

Exemplo

```
Picat> X = 1
X = 1
Picat> $f(a,b) = $f(a,b)
yes
Picat> [H|T] = [a,b,c]
H = a
T = [b,c]
Picat> $f(X,b) = $f(a,Y)
X = a
Y = b
Picat> bind_vars({X,Y,Z},a)
Picat> X = $f(X)
```

Cuidar neste último caso, há um laço infinito nesta chamada!

Atribuição

- A **atribuição** simula a atribuição em linguagens imperativas

Atribuição

- A **atribuição** simula a atribuição em linguagens imperativas
- Permite que variáveis assumam novos valores durante a execução do programa

Atribuição

- A **atribuição** simula a atribuição em linguagens imperativas
- Permite que variáveis assumam novos valores durante a execução do programa
- O escopo da atribuição da variável é local e volátil

Atribuição

- A **atribuição** simula a atribuição em linguagens imperativas
- Permite que variáveis assumam novos valores durante a execução do programa
- O escopo da atribuição da variável é local e volátil
- Na unificação, uma nova variável temporária é criada afim de substituir um valor atribuído ou outra variável.

Exemplo

```
teste => X = 0, X := X + 1,  X := X + 2, write(X).
```

- Neste exemplo X é unificado a 0.
- Em seguida, há uma atribuição X a $X + 1$, porém X já foi unificado a um termo.
- Então, outras operações devem ser feitas para que esta atribuição seja possível.
- Nesse caso, o compilador cria uma variável temporária, $X1$ por exemplo, e unifica com $X + 1$. Cada vez que X for instanciado, o compilador/programa atualiza em $X1$.
- O mesmo ocorre na atribuição $X1 := X1 + 2$, neste caso uma outra variável temporária é criada, por exemplo $X2$, e o processo se repetido.

Exemplo

Portanto, estas atribuições sucessivas são compiladas como:

Exemplo

Portanto, estas atribuições sucessivas são compiladas como:

```
test => X = 0, X1 = X + 1, X2 = X1 + 2, write(X2).
```

Exemplos de Variáveis Válidas

X1	_	_ab
X	A	Variavel
_invalido	_correto	_aa

⇒ Relembrando, um nome de variável é válido se começa com letra **maiúscula** ou _

Exemplos de Variáveis Inválidas

1_Var	variável	valida
23	"correto	‘termo
!numero	$valor	#comum

Tabela 1: Operadores Aritméticos em Ordem de Precedência

X `**` *Y*	Potenciação
X `*` *Y*	Multiplicação
X `/` *Y*	Divisão, resulta em um real
X `//` *Y*	Divisão de Inteiros, resulta em um inteiro
X `mod` *Y*	Resto da Divisão
X `+` *Y*	Adição
X `-` *Y*	Subtração
Inicio `..` *Passo* `..` *Fim*	Uma série (lista) de números com um passo
Inicio `..` *Fim*	Uma série (lista) de números com passo 1

Tabela 2: Tabela de Operadores Completa em Ordem de Precedência

Ops Aritméticos	Ver Tabela ??
++	Concatenação de Listas/Vetores
= :=	Unificação e Atribuição
== =:=	Equivalência e Equivalência Numérica
!= !==	Não Unificável e Diferença
< =< <=	Menor que
> >=	Maior que
in	Contido em
not	Negação Lógica
, &&	Conjunção Lógica
; ||	Disjunção Lógica

Operadores de Termos Não-Compostos

- **Equivalência**(==): compara se dois termos são iguais.
  No caso de termos compostos, eles são ditos equivalentes se todos os termos contidos em si são equivalentes. O compilador considera termos de tipos diferentes como totalmente diferentes, portanto a comparação $1.0 == 1$ seria avaliada como falsa, mesmo que os valores sejam iguais. Nesses casos, usa-se a *Equivalência Numérica*.

Operadores de Termos Não-Compostos

- **Equivalência**(==): compara se dois termos são iguais.
  No caso de termos compostos, eles são ditos equivalentes se todos os termos contidos em si são equivalentes. O compilador considera termos de tipos diferentes como totalmente diferentes, portanto a comparação $1.0 == 1$ seria avaliada como falsa, mesmo que os valores sejam iguais. Nesses casos, usa-se a *Equivalência Numérica*.
- **Equivalência Numérica**(=:=): Compara se dois números são o mesmo valor. Deve ser usada com termos que sejam números.

Operadores de Termos Não-Compostos

- **Diferença**(**!==**): compara se dois termos são diferentes, isto é, a negação da equivalência.

Operadores de Termos Não-Compostos

- **Diferença**(!==): compara se dois termos são diferentes, isto é, a negação da equivalência.
- **Não-Unificável**(!=): Verifica se dois termos não são unificáveis. Termos são ditos unificáveis se são idênticos ou podem ser tornados idênticos instanciando variáveis destes termos.

Exemplos

1. $a == a, \quad [1,2,3] == [1,2,3], \quad Var1 == Var2$

Exemplos

1. $a == a$, $[1, 2, 3] == [1, 2, 3]$, $Var1 == Var2$
   yes, *yes*, Depende dos valores (padrão *no*)

Exemplos

1. $a == a$, $[1, 2, 3] == [1, 2, 3]$, $Var1 == Var2$
   yes, *yes*, Depende dos valores (padrão *no*)
2. $1.0 == 1$

Exemplos

1. $a == a$, $[1, 2, 3] == [1, 2, 3]$, $Var1 == Var2$
   yes, *yes*, Depende dos valores (padrão *no*)
2. $1.0 == 1$
   no

Exemplos

1. $a == a$, $[1,2,3] == [1,2,3]$, $Var1 == Var2$
   yes, *yes*, Depende dos valores (padrão *no*)
2. $1.0 == 1$
   no
3. $1.0 =:= 1$, $1.2 =:= 1$

Exemplos

1. $a == a$, $[1,2,3] == [1,2,3]$, $Var1 == Var2$
   yes, *yes*, Depende dos valores (padrão *no*)
2. $1.0 == 1$
   no
3. $1.0 =:= 1$, $1.2 =:= 1$
   yes, *no*

Exemplos

1. $a == a$, $[1,2,3] == [1,2,3]$, $Var1 == Var2$
   yes, *yes*, Depende dos valores (padrão *no*)
2. $1.0 == 1$
   no
3. $1.0 =:= 1$, $1.2 =:= 1$
   yes, *no*
4. $1.0 \; !== 1$, $Var3 \; !== Var4$

Exemplos

1. $a == a$, $[1,2,3] == [1,2,3]$, $Var1 == Var2$
   yes, *yes*, Depende dos valores (padrão *no*)
2. $1.0 == 1$
   no
3. $1.0 =:= 1$, $1.2 =:= 1$
   yes, *no*
4. $1.0 \; !== 1$, $Var3 \; !== Var4$
   yes, Depende dos valores (padrão *yes*)

Exemplos

1. $a == a$, $[1,2,3] == [1,2,3]$, $Var1 == Var2$
   yes, *yes*, Depende dos valores (padrão *no*)
2. $1.0 == 1$
   no
3. $1.0 =:= 1$, $1.2 =:= 1$
   yes, *no*
4. $1.0 \; !== 1$, $Var3 \; !== Var4$
   yes, Depende dos valores (padrão *yes*)
5. $1.0 \; != 1$, $aa \; ! = bb$, $Var1 \; != Var5$

Exemplos

1. $a == a$, $[1,2,3] == [1,2,3]$, $Var1 == Var2$
   yes, *yes*, Depende dos valores (padrão *no*)
2. $1.0 == 1$
   no
3. $1.0 =:= 1$, $1.2 =:= 1$
   yes, *no*
4. $1.0 \; !== 1$, $Var3 \; !== Var4$
   yes, Depende dos valores (padrão *yes*)
5. $1.0 \; != 1$, $aa \; ! = bb$, $Var1 \; != Var5$
   yes, *yes*, *no*

Alguns Operadores de Termos Compostos

- **Concatenação** (++): concatena duas listas ou vetores. O termo da esquerda é a primeira parte lista e a segundo a parte final da lista resultante.

Alguns Operadores de Termos Compostos

- **Concatenação** (++): concatena duas listas ou vetores. O termo da esquerda é a primeira parte lista e a segundo a parte final da lista resultante.
- **Separador** (`H | T`): separa uma lista L em seu primeiro termo H, chamado de *cabeça* (em inglês *Head*), e o resto da lista T, chamado de *cauda* (em inglês *Tail*).

Na seção de listas este assunto é retomado

Alguns Operadores de Termos Compostos

- **Iterador** (`X in L`): itera X no termo composto L, instanciando um termo não-composto X aos termos contidos em L.

Alguns Operadores de Termos Compostos

- **Iterador** (`X in L`): itera X no termo composto L, instanciando um termo não-composto X aos termos contidos em L.
- **Sequência** (`Inicio..Passo..Fim`): gera uma lista ou vetor, começando (inclusivamente) em *Inicio* incrementando por *Passo* e parando (inclusivamente) em *Fim*. Se *Passo* for omitido, este é automaticamente atribuído 1.

Na seção de listas este assunto é retomado

Operadores de Termos Compostos – Exemplos

1. $[1,2,3] ++ [4,5,6]$, $[] ++ [1,2,3]$, $[] ++ []$

Operadores de Termos Compostos – Exemplos

1. $[1,2,3] ++ [4,5,6]$, $[] ++ [1,2,3]$, $[] ++ []$
   $[1,2,3,4,5,6]$, $[1,2,3]$, $[]$

Operadores de Termos Compostos – Exemplos

1. $[1,2,3] ++ [4,5,6]$, $[] ++ [1,2,3]$, $[] ++ []$
   $[1,2,3,4,5,6]$, $[1,2,3]$, $[]$
2. $L = [1,2,3]$, $[H|T] = L$

Operadores de Termos Compostos – Exemplos

1. $[1,2,3] ++ [4,5,6]$, $[] ++ [1,2,3]$, $[] ++ []$
   $[1,2,3,4,5,6]$, $[1,2,3]$, $[]$
2. $L = [1,2,3]$, $[H|T] = L$
   $L = [1,2,3]$

Operadores de Termos Compostos – Exemplos

1. $[1,2,3] ++ [4,5,6]$, $[] ++ [1,2,3]$, $[] ++ []$
   $[1,2,3,4,5,6]$, $[1,2,3]$, $[]$
2. $L = [1,2,3]$, $[H|T] = L$
   $L = [1,2,3]$
   $H = 1$

Operadores de Termos Compostos – Exemplos

1. $[1,2,3] ++ [4,5,6]$, $[] ++ [1,2,3]$, $[] ++ []$
   $[1,2,3,4,5,6]$, $[1,2,3]$, $[]$
2. $L = [1,2,3]$, $[H|T] = L$
   $L = [1,2,3]$
   $H = 1$
   $T = [2,3]$

Operadores de Termos Compostos – Exemplos

1. $[1,2,3] ++ [4,5,6]$, $[] ++ [1,2,3]$, $[] ++ []$
   $[1,2,3,4,5,6]$, $[1,2,3]$, $[]$
2. $L = [1,2,3]$, $[H|T] = L$
   $L = [1,2,3]$
   $H = 1$
   $T = [2,3]$
3. $foreach(X\ in\ [1,2,3])\ printf("\%w", X)\ end$

Operadores de Termos Compostos – Exemplos

1. $[1,2,3] ++ [4,5,6]$, $[] ++ [1,2,3]$, $[] ++ []$
   $[1,2,3,4,5,6]$, $[1,2,3]$, $[]$
2. $L = [1,2,3]$, $[H|T] = L$
   $L = [1,2,3]$
   $H = 1$
   $T = [2,3]$
3. $foreach(X\ in\ [1,2,3])\ printf("\%w", X)\ end$
   1 2 3

Operadores de Termos Compostos – Exemplos

1. $[1,2,3] ++ [4,5,6]$, $[] ++ [1,2,3]$, $[] ++ []$
   $[1,2,3,4,5,6]$, $[1,2,3]$, $[]$
2. $L = [1,2,3]$, $[H|T] = L$
   $L = [1,2,3]$
   $H = 1$
   $T = [2,3]$
3. $foreach(X\ in\ [1,2,3])\ printf("\%w", X)\ end$
   1 2 3
4. $X = 1..10$, $Y = 0..2..20$, $Z = 10..-1..1$

Operadores de Termos Compostos – Exemplos

1. $[1,2,3] ++ [4,5,6]$, $[] ++ [1,2,3]$, $[] ++ []$
   $[1,2,3,4,5,6]$, $[1,2,3]$, $[]$
2. $L = [1,2,3]$, $[H|T] = L$
   $L = [1,2,3]$
   $H = 1$
   $T = [2,3]$
3. $foreach(X\ in\ [1,2,3])\ printf("\%w", X)\ end$
   1 2 3
4. $X = 1..10$, $Y = 0..2..20$, $Z = 10..-1..1$
   $X = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]$

Operadores de Termos Compostos – Exemplos

1. $[1,2,3] ++ [4,5,6]$, $[] ++ [1,2,3]$, $[] ++ []$
   $[1,2,3,4,5,6]$, $[1,2,3]$, $[]$
2. $L = [1,2,3]$, $[H|T] = L$
   $L = [1,2,3]$
   $H = 1$
   $T = [2,3]$
3. $foreach(X\ in\ [1,2,3])\ printf("\%w", X)\ end$
   1 2 3
4. $X = 1..10$, $Y = 0..2..20$, $Z = 10..-1..1$
   $X = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]$
   $Y = [0,2,4,6,8,10,12,14,16,18,20]$

Operadores de Termos Compostos – Exemplos

1. $[1,2,3] ++ [4,5,6]$, $[] ++ [1,2,3]$, $[] ++ []$
   $[1,2,3,4,5,6]$, $[1,2,3]$, $[]$
2. $L = [1,2,3]$, $[H|T] = L$
   $L = [1,2,3]$
   $H = 1$
   $T = [2,3]$
3. $foreach(X\ in\ [1,2,3])\ printf("\%w", X)\ end$
   1 2 3
4. $X = 1..10$, $Y = 0..2..20$, $Z = 10..-1..1$
   $X = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]$
   $Y = [0,2,4,6,8,10,12,14,16,18,20]$
   $Z = [10,9,8,7,6,5,4,3,2,1]$

Conclusões Parciais

- Picat: tipagem dinâmica. O erro entre variáveis e dados, ocorre no meio da execução do código

Conclusões Parciais

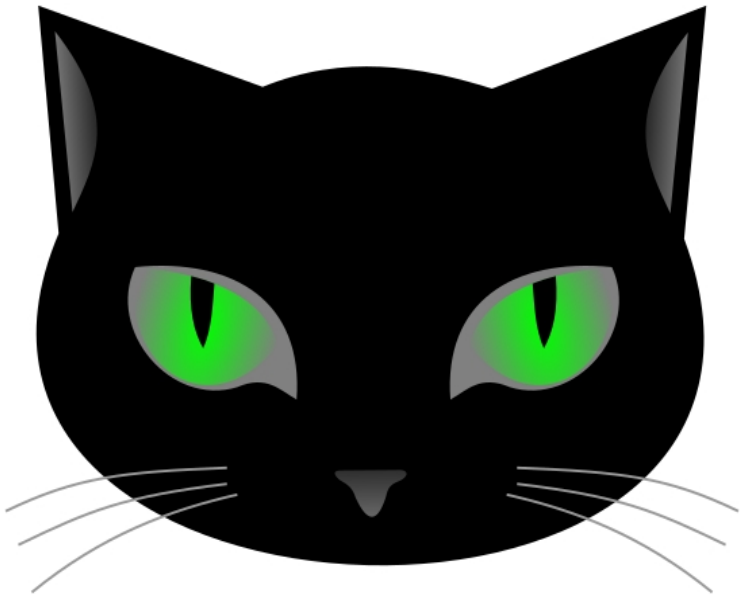
- Picat: tipagem dinâmica. O erro entre variáveis e dados, ocorre no meio da execução do código
- As estruturas de dados compostos são as clássicas: listas, vetores, mapas, conjuntos, etc

Conclusões Parciais

- Picat: tipagem dinâmica. O erro entre variáveis e dados, ocorre no meio da execução do código
- As estruturas de dados compostos são as clássicas: listas, vetores, mapas, conjuntos, etc
- O conteúdo desta parte do curso pode ser complementado com a **Videoaula 02: Tipos de Dados do PICAT**
  `https://www.youtube.com/watch?v=7fPKPd0ZDnc`

Predicados e Funções

- Definições
- Predicados (Cláusulas)
- Funções
- Contexto de uso
- Exemplos



- *Predicados lógicos* definem a base teórica do Picat

Predicados e Funções

- *Predicados lógicos* definem a base teórica do Picat
- *Predicados lógicos* são também conhecidos como *cláusulas lógicas*, ora como simplesmente *regras lógicas* (no contexto de linguagens de programação)

- *Predicados lógicos* definem a base teórica do Picat
- *Predicados lógicos* são também conhecidos como *cláusulas lógicas*, ora como simplesmente *regras lógicas* (no contexto de linguagens de programação)
- Estas regras lógicas são de 04 tipos:

Predicados e Funções

- *Predicados lógicos* definem a base teórica do Picat
- *Predicados lógicos* são também conhecidos como *cláusulas lógicas*, ora como simplesmente *regras lógicas* (no contexto de linguagens de programação)
- Estas regras lógicas são de 04 tipos:
  - Regras condicionais (ou completas)
  - Regras do tipo **fatos** ou sempre verdadeiras
  - Regras do tipo **metas**
  - Regras tipo **funções**

Predicados e Funções

- *Predicados lógicos* definem a base teórica do Picat
- *Predicados lógicos* são também conhecidos como *cláusulas lógicas*, ora como simplesmente *regras lógicas* (no contexto de linguagens de programação)
- Estas regras lógicas são de 04 tipos:
  - Regras condicionais (ou completas)
  - Regras do tipo **fatos** ou sempre verdadeiras
  - Regras do tipo **metas**
  - Regras tipo **funções**
- Excetuando-se as funções, as regras sempre assumem os seguintes valores lógicos:
  `true` (1 ou `yes` ...) ou `false` (0 ou `no` ...).

- Nos argumentos do **predicados** podem-se passar n-termos e receber outros m-termos, tal que $n \geq m$. Exemplo:

```
raizes(A, B, C, X1, X2)
```

- Nos argumentos do **predicados** podem-se passar n-termos e receber outros m-termos, tal que $n \geq m$. Exemplo:

```
raizes(A, B, C, X1, X2)
```

- As **funções** seguem as regras de funções matemáticas, logo, retornam um único valor

- Nos argumentos do **predicados** podem-se passar n-termos e receber outros m-termos, tal que $n \geq m$. Exemplo:

```
raizes(A, B, C, X1, X2)
```

- As **funções** seguem as regras de funções matemáticas, logo, retornam um único valor
- Ou ainda, as **funções** são um tipo particular de **regras lógicas**

Predicados e Funções

- Nos argumentos do **predicados** podem-se passar n-termos e receber outros m-termos, tal que $n \geq m$. Exemplo:

  `raizes(A, B, C, X1, X2)`

- As **funções** seguem as regras de funções matemáticas, logo, retornam um único valor
- Ou ainda, as **funções** são um tipo particular de **regras lógicas**
- Predicados e funções são inferenciados via *casamento de padrões*
  Este conceito é ilustrado pelos exemplos deste curso.

As **regras lógicas** são de dois tipos:

- Regras **sem** *backtracking* (*non-backtrackable*):

```
Cabeça , Condicional => Corpo .
```

As **regras lógicas** são de dois tipos:

- Regras **sem** *backtracking* (*non-backtrackable*):

```
Cabeça , Condicional => Corpo .
```

- Regras **com** *backtracking*:

```
Cabeça , Condicional ?=> Corpo .
```

A identificação da sintaxe é dada por:

- *Cabeça*: indica um padrão de regra a ser casada
  Forma geral:

  $$regra(termo_1, \ldots, termo_n)$$

  Onde:
  - *regra* é um átomo que define o nome da regra
  - n é a aridade da regra (*i.e.* número de argumentos)
  - Cada $termo_i$ é um argumento da regra
- *Cond*: é uma ou várias condições sobre a execução desta regra
- *Corpo*: define as ações da regra

- Todas as regras são finalizadas por um ponto final (.), seguido por um espaço em branco ou nova linha.
- **Regras** e **funções** são ilustradas pelos exemplos deste curso.

Regras Com e Sem Backtracking – Exemplo

```
main => regra_01(7)   ,  regra_01(-4) ,
        regra_01( 0 ) , regra_01( 1) ,
        regra_01(44) .

regra_01(0)           ?=> printf("\n CHEGOU A 0 !!!").
regra_01(N) , N < 0   ?=> printf("\n EH UM NEGATIVO !!!").
regra_01(N) , N > 10 ?=> printf("\n EH MAIOR QUE 10 !!!").
regra_01(N) , N <= 10 =>  printf("\n NUM de 0 a 10 :%d", N).

%% =<  EH IGUAL a <= :: sobrecarga
%% >= EH IGUAL => :: sobrecarga
%%% $ picat regras_ex_04.pi
```

Regras com e sem Backtracking – Saída

```
$ picat regras_ex_04.pi

 NUM de 0 a 10 :7
 EH UM NEGATIVO !!!
 CHEGOU A 0 !!!
 NUM de 0 a 10 :1
 EH MAIOR QUE 10 !!!
```

Aqui, o `main` foi um tipo função e uma regra tipo meta!

Casamento de Padrões

- O *casamento de padrões* é o mecanismo de encontrar regras que casem com a instância corrente de execução do programa

Casamento de Padrões

- O *casamento de padrões* é o mecanismo de encontrar regras que casem com a instância corrente de execução do programa
- O objetivo é encontrar dois ou mais padrões que possam ser unificados para se inferir alguma nova ação

Casamento de Padrões

- O *casamento de padrões* é o mecanismo de encontrar regras que casem com a instância corrente de execução do programa
- O objetivo é encontrar dois ou mais padrões que possam ser unificados para se inferir alguma nova ação
- Muitos exemplos de uso ao longo do curso

Casamento de Padrões – Procedimento

Procedimento de *casamento de padrões*:

- Dado um padrão $p_1(t_1, \ldots, t_m)$, este *casa* com um padrão semelhante $p_2(u_1, \ldots, u_n)$ se:
  - p_1 e p_2 forem átomos equivalentes;
  - O número de termos (chamado de aridade) em $(t_1, \ldots, t_m)$ e $(u_1, \ldots, u_n)$ for equivalente.
  - Os termos $(t_1, \ldots, t_m)$ e $(u_1, \ldots, u_n)$ são equivalentes, ou tornaram-se equivalentes pela unificação de variáveis em qualquer um dos dois termos;
- Caso essas condições forem satisfeitas, o padrão $p_1(t_1, \ldots, t_m)$ casa com o padrão $p_2(u_1, \ldots, u_n)$.

Metas ou Provas – (*goals*)

- Na matemática ao se deduzir um valor de um teorema, tem-se uma *prova*. Assim, o termo *goal* é conhecido também como *prova do programa*

Metas ou Provas – (*goals*)

- Na matemática ao se deduzir um valor de um teorema, tem-se uma *prova*. Assim, o termo *goal* é conhecido também como *prova do programa*
- Metas ou provas (do inglês: *goal*) são estados que definem o final da execução

Metas ou Provas – (*goals*)

- Na matemática ao se deduzir um valor de um teorema, tem-se uma *prova*. Assim, o termo *goal* é conhecido também como *prova do programa*
- Metas ou provas (do inglês: *goal*) são estados que definem o final da execução
- Uma meta pode ser, um valor lógico, uma chamada de outra regra, uma exceção, uma operação lógica, um termo ...etc

Metas ou Provas – (*goals*)

- Na matemática ao se deduzir um valor de um teorema, tem-se uma *prova*. Assim, o termo *goal* é conhecido também como *prova do programa*
- Metas ou provas (do inglês: *goal*) são estados que definem o final da execução
- Uma meta pode ser, um valor lógico, uma chamada de outra regra, uma exceção, uma operação lógica, um termo ...etc
- Exemplo: a cláusula `main` é uma meta a ser provada!

Metas ou Provas – (*goals*)

- Na matemática ao se deduzir um valor de um teorema, tem-se uma *prova*. Assim, o termo *goal* é conhecido também como *prova do programa*
- Metas ou provas (do inglês: *goal*) são estados que definem o final da execução
- Uma meta pode ser, um valor lógico, uma chamada de outra regra, uma exceção, uma operação lógica, um termo ...etc
- Exemplo: a cláusula `main` é uma meta a ser provada!
- Em resumo, todas cláusulas, de alguma maneira são metas a serem provadas!

- A forma geral de uma função é:

$$Cabeça = X \Rightarrow Corpo.$$

- A forma geral de uma função é:

$$Cabeça = X \Rightarrow Corpo.$$

- Caso tenhamos uma condição *Cond*::

$$Cabeça = X, Cond \Rightarrow Corpo.$$

- Funções **não** admitem ***backtracking***.

Funções – II

- Funções são tipos especiais de regras que sempre sucedem com *uma* resposta.

Funções – II

- Funções são tipos especiais de regras que sempre sucedem com *uma* resposta.
- Funções em Picat tem como intuito serem sintaticamente semelhantes a funções matemáticas (vide *Haskell*).

- Funções são tipos especiais de regras que sempre sucedem com *uma* resposta.
- Funções em Picat tem como intuito serem sintaticamente semelhantes a funções matemáticas (vide *Haskell*).
- Em uma função a *Cabeça* é uma equação do tipo $f(t_1, \ldots, t_n) = X$, onde f é um átomo que é o nome da função, n é a aridade da função, e cada termo t_i é um argumento da função.
- X é uma expressão que é o retorno da função.

- Funções também podem ser denotadas como fatos, onde podem servir como ***aterramento*** para regras recursivas.
- Esta são denotadas como: $f(t_1, \ldots, t_n) = \textit{Expressão}$, onde *Expressão* pode ser um valor ou uma série de ações.

Regras, Metas e Funções – Exemplo

```
main =>
        X = 3,
        Y = 4,
        um_predicado(X,Y,Z),
        R = uma_funcao(X,Y),
        printf("\n Z: %d \t R: %d", Z, R),
        println("\n FIM").

um_predicado(X,Y,Z) => Z = X + Y .

uma_funcao(X,Y) = R => R = X + Y .
```

Regras, Metas e Funções – Exemplo

```
Picat> cl('predicados_funcoes').
Compiling:: predicados_funcoes.pi
predicados_funcoes.pi compiled in 0 milliseconds
loading...
yes
Picat> um_predicado(3,4,Zeze), write(Zeze).  %% goal
7Zeze = 7
yes
Picat> uma_funcao(3,4) = Ratu, write(Ratu).  %% goal
7Ratu = 7
yes
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% na console Linux
$ picat predicados_funcoes.pi
 Z: 7   R: 7
 FIM
```

Algumas linhas em **branco** na saída foram omitidas!

Retomando as Regras

- Forma geral de um predicado do tipo Regra:

```
Cabeça , Condicional  =>  Corpo .
```

Retomando as Regras

- Forma geral de um predicado do tipo Regra:

```
Cabeça , Condicional  =>  Corpo .
```

- Forma geral de um predicado com *backtracking*:

```
Cabeça , Condicional  ?=>  Corpo .
```

Retomando as Regras

- Forma geral de um predicado do tipo Regra:

```
Cabeça , Condicional  =>  Corpo .
```

- Forma geral de um predicado com *backtracking*:

```
Cabeça , Condicional  ?=>  Corpo .
```

- Em Prolog, esta condicional (Cond) entra no corpo da regra. Picat é mais flexível!

Retomando as Regras

- Forma geral de um predicado do tipo Regra:

```
Cabeça , Condicional  =>  Corpo .
```

- Forma geral de um predicado com *backtracking*:

```
Cabeça , Condicional  ?=>  Corpo .
```

- Em Prolog, esta condicional (Cond) entra no corpo da regra. Picat é mais flexível!
- Na prática, o estilo de programação usado é:

```
Cabeça => Condicional , Corpo .
```

Retomando as Regras

- Forma geral de um predicado do tipo Regra:

```
Cabeça , Condicional  =>  Corpo .
```

- Forma geral de um predicado com *backtracking*:

```
Cabeça , Condicional  ?=>  Corpo .
```

- Em Prolog, esta condicional (Cond) entra no corpo da regra. Picat é mais flexível!
- Na prática, o estilo de programação usado é:

```
Cabeça => Condicional , Corpo .
```

- Porquê? Reuso de código de Prolog ...

Comentando as Regras

- Dentro de uma regra, *Cond* só é avaliada uma vez (**cuidado**), exceto em caso falha e a regra for habilitada para *backtracking*

Comentando as Regras

- Dentro de uma regra, *Cond* só é avaliada uma vez (**cuidado**), exceto em caso falha e a regra for habilitada para *backtracking*
- Estar atento que: regras são **sempre avaliados com valores lógicos** (*true* ou *false*)

Comentando as Regras

- Dentro de uma regra, *Cond* só é avaliada uma vez (**cuidado**), exceto em caso falha e a regra for habilitada para *backtracking*
- Estar atento que: regras são **sempre avaliados com valores lógicos** (*true* ou *false*)
- Por outro lado, as variáveis como argumento ou instanciadas dentro dele, podem ser utilizadas dentro do escopo da regra, ou no escopo onde esta regra foi chamada.

Regras do Tipo Fatos

- As regras que não tem condicionais e nem corpo são conhecidas como: *fatos* ou *regras sem-corpo*
- Estes *fatos* são regras *sempre verdadeiras*

Regras do Tipo Fatos

- As regras que não tem condicionais e nem corpo são conhecidas como: *fatos* ou *regras sem-corpo*
- Estes *fatos* são regras *sempre verdadeiras*
- Formato dos fatos são do tipo:

$$p(t_1, \ldots, t_n).$$

- Os argumentos de um *fato* **não** podem conter **variáveis**.

Regras do Tipo Fatos

- A declaração de um fato é precedida pela declaração ***index***:

  `index` $(M_{11}, M_{12}, \ldots, M_{1n})$ $\ldots$ $(M_{m1}, M_{m2}, \ldots, M_{mn})$

Regras do Tipo Fatos

- A declaração de um fato é precedida pela declaração ***index***:

  `index` $(M_{11}, M_{12}, \ldots, M_{1n})$ $\ldots$ $(M_{m1}, M_{m2}, \ldots, M_{mn})$

- Onde um M_{ij} com o simbolo '+', significa que este termo já foi indexado.
- Logo, o '−' significa que este termo deve ser indexado
- Ou seja, quando ocorre um simbolo '+' em um grupo do *index*, o compilador avalia este como um valor constante a ser casado
- Quanto ao '−', este é avaliado pelo compilador com uma variável que deverá ser instanciada à um valor. Ou seja, quando se deseja unificar um valor a esta variável

Regras do Tipo Fatos

- A declaração de um fato é precedida pela declaração ***index***:

  `index` $(M_{11}, M_{12}, \ldots, M_{1n})$ $\ldots$ $(M_{m1}, M_{m2}, \ldots, M_{mn})$

- Onde um M_{ij} com o simbolo '+', significa que este termo já foi indexado.
- Logo, o '−' significa que este termo deve ser indexado
- Ou seja, quando ocorre um simbolo '+' em um grupo do *index*, o compilador avalia este como um valor constante a ser casado
- Quanto ao '−', este é avaliado pelo compilador com uma variável que deverá ser instanciada à um valor. Ou seja, quando se deseja unificar um valor a esta variável
- Dica: o parâmetro '−' no *index* é quase como regra geral

Regras do Tipo Fatos

- A declaração de um fato é precedida pela declaração ***index***:

  `index` $(M_{11}, M_{12}, \ldots, M_{1n})$ $\ldots$ $(M_{m1}, M_{m2}, \ldots, M_{mn})$

- Onde um M_{ij} com o simbolo '+', significa que este termo já foi indexado.
- Logo, o '−' significa que este termo deve ser indexado
- Ou seja, quando ocorre um simbolo '+' em um grupo do *index*, o compilador avalia este como um valor constante a ser casado
- Quanto ao '−', este é avaliado pelo compilador com uma variável que deverá ser instanciada à um valor. Ou seja, quando se deseja unificar um valor a esta variável
- Dica: o parâmetro '−' no *index* é quase como regra geral
- Cuidado: **Não** pode haver um **predicado** e um **predicado fato** com **mesmo nome**.

Exemplo – Função e Regras

```
index (+,+,+) (+,+, -) (-,+,-) (-,-,+) (-,-, +)
      (+,-,+) (+,+,-)  (-,-,-)
%(-,-,-) %% NENHUM argumento instanciao -- UTIL
%(+,+,+) %% TODOS ARGUMENTOS DEVEM ESTAR INSTANCIADOS
%(+,+, -) (-,+,-) (-,-,+) (-,-, +) (+,-,+) (+,+,-) (-,-,-)

and2(true,true,true).
and2(true,false,false).
and2(false,true,false).
and2(false,false,false).

main ?=>
       and2(X,Y,Z), % AND2 pois and eh reservado
       printf("\n X: %w \t Y: %w \t Z: %w", X, Y, Z),
       false.
main =>
       println("\n FIM").
```

Este exemplo é muito interessante. Execute ele na console do interpretador excluindo alguns dos parâmetros do *index*

Exemplo de Predicado ou Regra

```
1  contas_PO(X1, X2, X3, Z) ?=>
2      number(X1),
3      number(X2),
4      number(X3),
5      X1 < X2,
6      X2 < X3,
7      Z  =  (X2 + X3).
8
9  contas_PO(X1, _, _, Z) =>
10     Z = X1.
```

Exemplo de Função

```
1 contas_F0(X1, X2, X3) = Z, (number(X1),
2                             number(X2),
3                             number(X3)) =>
4     if (X1 < X2 && X2 < X3) then
5     Z  =  (X2 + X3)
6     else
7     Z  =  X1
8     end.
```

Aperitivo à próxima seção: condicionais e laços!

Exemplos de Fatos

```
1
2 index (-,-) (+,-) (-,+)     %%% NAO HA PONTO FINAL
3 pai (salomao, rogerio).
4 pai (salomao, fabio).
5 pai (rogerio, miguel).
6 pai (rogerio, henrique).
7 ..........................
```

Exemplos de Funções – Equivalentes

```
1 eleva_cubo(1) = 1.
2 eleva_cubo(X) = X**3.
3 eleva_cubo(X) = X*X*X.
4 eleva_cubo(X) = X1 => X1 = X**3.
5 eleva_cubo(X) = X1 => X1 = X*X*X.
```

Reflexões

- Esta seção trata dos elementos do Picat: regras (ou cláusulas) lógicas

Reflexões

- Esta seção trata dos elementos do Picat: regras (ou cláusulas) lógicas
- *Regras* é um nome genérico a predicados ou cláusulas e funções

Reflexões

- Esta seção trata dos elementos do Picat: regras (ou cláusulas) lógicas
- *Regras* é um nome genérico a predicados ou cláusulas e funções
- Predicados ou cláusulas são de 4 tipos: **regras**, **fatos**, **metas** e **funções**

Reflexões

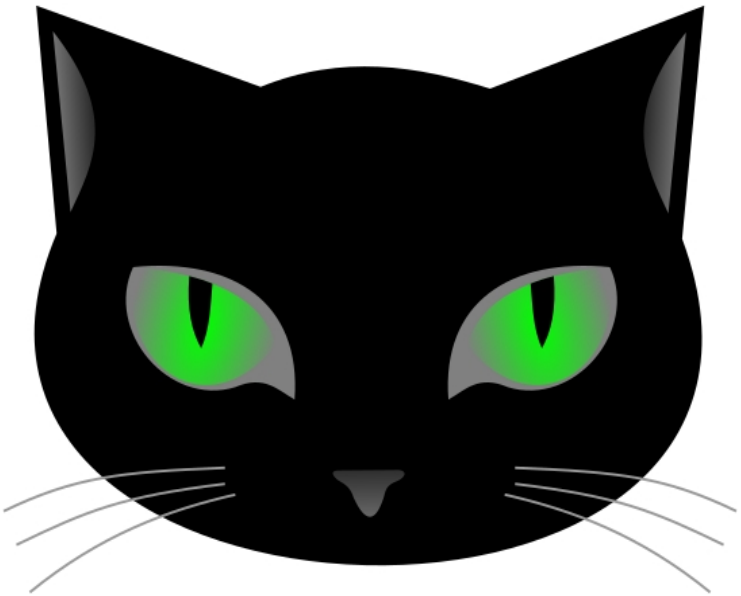
- Esta seção trata dos elementos do Picat: regras (ou cláusulas) lógicas
- *Regras* é um nome genérico a predicados ou cláusulas e funções
- Predicados ou cláusulas são de 4 tipos: **regras**, **fatos**, **metas** e **funções**
- *Regras* sem corpo são conhecidas como verdades e chamadas de **fatos**
  Uso obrigatório do meta-predicado: *index*

Reflexões

- Esta seção trata dos elementos do Picat: regras (ou cláusulas) lógicas
- *Regras* é um nome genérico a predicados ou cláusulas e funções
- Predicados ou cláusulas são de 4 tipos: **regras**, **fatos**, **metas** e **funções**
- *Regras* sem corpo são conhecidas como verdades e chamadas de **fatos**
  Uso obrigatório do meta-predicado: *index*
- Lembrando ainda que funções retornam um único valor

Estruturas de Decisão, Laços e Iteradores

- Definições
- Contexto de uso
- Estruturas de decisão
- Estruturas de repetição
- Iteradores
- Entradas e saídas
- Exemplos



- Ao contrário do Prolog, Picat apresenta conceitos e comandos da programação imperativa

- Ao contrário do Prolog, Picat apresenta conceitos e comandos da programação imperativa
- Esta maneira ameniza os obstáculos em se aprender uma linguagem com o paradigma lógico, tendo outros elementos conhecidos

Estruturas de Decisão, Laços e Iteradores

- Ao contrário do Prolog, Picat apresenta conceitos e comandos da programação imperativa
- Esta maneira ameniza os obstáculos em se aprender uma linguagem com o paradigma lógico, tendo outros elementos conhecidos
- Assim, Picat apresenta estruturas clássicas como:
  - `if-then-end`, `if-then-else-end`, `if-then-elseif-then-....end`
  - `foreach`
  - `while`
  - `do-while`
  - Bem como a atribuição, ‘`:=`’, já discutida

- Picat implementa uma estrutura condicional explícita (na programação em lógica, voce faz isto implicitamente)

- Picat implementa uma estrutura condicional explícita (na programação em lógica, voce faz isto implicitamente)
- Sua notação é:

```
if (Exp) then
    Ações
else
    Ações
⋮
end
```

Estrutura Condicionais

- Picat implementa uma estrutura condicional explícita (na programação em lógica, voce faz isto implicitamente)
- Sua notação é:

```
if (Exp) then
    Ações
else
    Ações
⋮
end
```

- Onde *Exp* é uma expressão lógica avaliada como verdadeira ou falsa.

Estrutura Condicionais

- Picat implementa uma estrutura condicional explícita (na programação em lógica, voce faz isto implicitamente)
- Sua notação é:

```
if (Exp) then
    Ações
else
    Ações
⋮
end
```

- Onde *Exp* é uma expressão lógica avaliada como verdadeira ou falsa.
- A última ação antes de um *else* ou *end* não deve ter vírgula nem ponto e vírgula ao final da linha.

Estrutura Condicionais

- Picat implementa uma estrutura condicional explícita (na programação em lógica, voce faz isto implicitamente)
- Sua notação é:

```
if (Exp) then
    Ações
else
    Ações
⋮
end
```

- Onde *Exp* é uma expressão lógica avaliada como verdadeira ou falsa.
- A última ação antes de um *else* ou *end* não deve ter vírgula nem ponto e vírgula ao final da linha.

- Tem-se ainda o `elseif` que pode estar embutido no comando `if-then-else-end`

Exemplo: if-then-else-end

```
1       ,
2  if (X <= 100) then
3           println("X e menor que 100")
4       elseif (X <= 1000 && X >= 500) then
5           println("X estah entre 500 e 1000")
6       else
7           println("X estah abaixo de  500")
8       end
9       ,
```

- Picat também implementa 3 estruturas de repetição: `foreach`, `while` e `do-while`

- Picat também implementa 3 estruturas de repetição: `foreach`, `while` e `do-while`
- O laço do `foreach` **itera** sobre termos simples e compostos

- Picat também implementa 3 estruturas de repetição: `foreach`, `while` e `do-while`
- O laço do `foreach` **itera** sobre termos simples e compostos
- O `while` repete um conjunto de ações enquanto uma condição for verdadeira.

- Picat também implementa 3 estruturas de repetição: `foreach`, `while` e `do-while`
- O laço do `foreach` **itera** sobre termos simples e compostos
- O `while` repete um conjunto de ações enquanto uma condição for verdadeira.
- A condição pode ser simples ou combinada: ver exemplos

Estruturas de Repetições

- Picat também implementa 3 estruturas de repetição: `foreach`, `while` e `do-while`
- O laço do `foreach` **itera** sobre termos simples e compostos
- O `while` repete um conjunto de ações enquanto uma condição for verdadeira.
- A condição pode ser simples ou combinada: ver exemplos
- O laço `do-while` é análogo ao `while`, porém ele sempre executa pelo menos uma vez

Estruturas de Repetições: `foreach`

- Um laço `foreach` tem a seguinte forma:

  `foreach` (E_1 `in` D_1, $Cond_1$, ..., E_n `in` D_n, $Cond_n$)
  Metas
  `end`

Estruturas de Repetições: `foreach`

- Um laço `foreach` tem a seguinte forma:

  `foreach` (E_1 `in` D_1`,` $Cond_1$`,` `...`, E_n `in` D_n`,` $Cond_n$)
  Metas
  `end`

  Esta notação é dada por:

- E_i é um *padrão de iteração* ou *iterador*.
- D_i é uma expressão de *valor composto*. Exemplo: uma lista de valores
- $Cond_i$ é uma condição opcional sobre os **iteradores** E_1 até E_i.
- O `foreach` pode conter múltiplos iteradores usando o "`in`" Caso isso ocorra, o compilador interpreta isso como diversos laços aninhados.

Exemplo: foreach

```
1  imp_tracejados (N) =>
2    nl,
3    foreach(I in 1..N)
4      printf("=")
5    end,
6    nl.
7  ..........................................................................
8  Picat> cl('backtracking_ex_02').
9  Compiling:: backtracking_ex_02.pi
10 ** Warning: singleton variables (backtracking_ex_02.pi, 50-55): I
11 backtracking_ex_02.pi compiled in 3 milliseconds
12 loading...
13
14 yes
15
16 Picat> imp_tracejados(30).
17
18 ==============================
```

O I é iterado com valores de 1 a N

Estruturas de Repetições: `while`

- O laço do `while` tem a seguinte forma:

```
while (Cond)
    Metas
end
```

- Enquanto a expressão lógica *Cond* for verdadeira, o conjunto de `Metas` é executado.

Exemplo: `while`

```
1
2 laco_02 =>
3     I = 1,
4     while (I <= 9)
5         println(I),
6         I := I + 2
7     end.
```

Estruturas de Repetições: `do-while`

- O laço `do-while` tem a seguinte forma:

  `do`
  Metas
  `while (`*Cond*`)`

- Ao contrário do `while` o iterador `do-while` vai executar `Metas` pelo menos uma vez antes de avaliar `Cond`.

Exemplo: do-while

```
1
2 laco_03 =>
3       J = 6,
4     do
5         println(J),
6         J := J + 1
7     while (J <= 5).
```

Funções e Predicados Especiais

- Há algumas funções e predicados especiais em Picat que necessitam de algum cuidado:

Funções e Predicados Especiais

- Há algumas funções e predicados especiais em Picat que necessitam de algum cuidado:
  - Geração (compreensão) de listas e vetores
  - Entradas e saídas de dados

- Há algumas funções e predicados especiais em Picat que necessitam de algum cuidado:
  - Geração (compreensão) de listas e vetores
  - Entradas e saídas de dados
- Na verdade, já fizemos uso delas, porém sem a ênfase de que são funções ora predicados.

Funções e Predicados Especiais

- Há algumas funções e predicados especiais em Picat que necessitam de algum cuidado:
  - Geração (compreensão) de listas e vetores
  - Entradas e saídas de dados
- Na verdade, já fizemos uso delas, porém sem a ênfase de que são funções ora predicados.
- Um **atalho** considerável na programação com Picat!

Compreensão de Listas e Vetores I

- A função de *compreensão de listas e vetores* é uma função especial que permite a fácil criação de listas ou vetores.
- Sua notação é:

$$[T \ : \ E_1 \ \texttt{in} \ D_1, \ Cond_1, \ \ldots, \ E_n \ \texttt{in} \ D_n, \ Cond_n]$$

- Onde, T é uma expressão adicionada a lista, cada E_i é um iterador sobre D_i, o qual é um termo ou expressão, e $Cond_i$ é uma condição sobre cada iterador de E_1 até E_i.
- Há uma seção dedicada a listas. Voltaremos ao assunto.

Compreensão de Listas e Vetores II

- Esta função pode gerar um vetor também, a notação é um pouco diferente:

$$\{T \ : \ E_1 \ \texttt{in} \ D_1, \ Cond_1, \ \ldots, \ E_n \ \texttt{in} \ D_n, \ Cond_n\}$$

- Neste caso, os delimitadores são { e } de um vetor

Compreensão de Listas e Vetores: Exemplo

```
main =>
 L = [(A, I) : A in [a, b], I in 1 .. 2],
 V = {(I, A) : A in [a, b], I in 1 .. 2},
 printf("\nLista: %w  \nVetor: %w\n", L, V),
 imp_vetor(V),
 imp_vetor(L).

imp_vetor (M) =>
 Tam = M.length,  %% tamanho de M
  nl,
   foreach(I in 1  .. Tam )
     printf("V_ou_L(%d):%w \t" , I, M[I] )
    end,
  nl.
%%%% $picat vetor_exemplo_01.pi
```

Saída – Compreensão de Listas e Vetores

```
$ picat vetor_exemplo_01.pi

Lista: [(a,1),(a,2),(b,1),(b,2)]
Vetor: {(1,a),(2,a),(1,b),(2,b)}

V_ou_L(1):1,a  V_ou_L(2):2,a  V_ou_L(3):1,b  V_ou_L(4):2,b

V_ou_L(1):a,1  V_ou_L(2):a,2  V_ou_L(3):b,1  V_ou_L(4):b,2
[hulk@SAGUACU picat]$
```

Leitura e Escrita I

- Picat tem diversas funções de leitura de valores, que serve tanto para ler de uma console `stdin`, como de um arquivo qualquer.
- Aos usuários de Prolog, aqui não precisamos do delimitador final de '.' ao final de uma leitura.
- Válido quando editamos no interpretador, o '.' final é opcional

- As mais importantes são:
  - `read_int(`*FD*`)` = *Int* $\Rightarrow$ Lê um *Int* do arquivo *FD*.
  - `read_real(`*FD*`)` = *Real* $\Rightarrow$ Lê um *Float* do arquivo *FD*.
  - `read_char(`*FD*`)` = *Char* $\Rightarrow$ Lê um *Char* do arquivo *FD*.
  - `read_line(`*FD*`)` = *String* $\Rightarrow$ Lê uma *Linha* do arquivo *FD*.
- Caso se deseja ler da console, padrão `stdin`, *FD*, o nome do descritor de arquivo, pode ser omitido.

Leitura e Escrita III

- Os dois predicados mais importantes para saída de dados, são `write` e `print`.
- Cada um destes predicados tem três variantes, são eles:
  - `write(`FD`,` T`)` $\Rightarrow$ Escreve um termo T no arquivo FD.
  - `writeln(`FD`,` T`)` $\Rightarrow$ Escreve um termo T no arquivo FD, e pula uma linha ao final do termo.
  - `writef(`FD`,` F`,` $A \ldots$`)` $\Rightarrow$ Este predicado é usado para escrita formatada para um arquivo FD, onde F indica uma série de formatos para cada termo contido no argumento $A \ldots$. O número de argumentos não pode exceder 10.

- Analogamente, para o predicado `print`, temos:
  - `print(`*FD*`,` *T*`)` $\Rightarrow$ Escreve um termo *T* no arquivo *FD*.
  - `println(`*FD*`,` *T*`)` $\Rightarrow$ Escreve um termo *T* no arquivo *FD*, e pula uma linha ao final do termo.
  - `printf(`*FD*`,` *F*`,` *A*`...)` $\Rightarrow$ Este predicado é usado para escrita formatada para um arquivo *FD*, onde *F* indica uma série de formatos para cada termo contido no argumento *A*.... O número de argumentos não pode exceder 10.
- Caso queira escrever para `stdout`, o nome do *FD*, pode ser omitido.

Tabela de Formatação para Escrita

Apenas os mais importantes, há outros como: hexadecimal, notação científica, etc. Ver no apêndice do Guia do Usuário.

Especificador	**Saída**
`%%`	Sinal de Porcentagem
`%c`	Caráctere
`%d %i`	Número Inteiro Com Sinal
`%f`	Número Real
`%n`	Nova Linha
`%s`	*String*
`%u`	Número Inteiro Sem Sinal
`%w`	Termo **qualquer**

Comparação entre `write` e `print`

Dados ⇒	"abc"	[a,b,c]	'a@b'
`write`	[a,b,c]	[a,b,c]	'a@b'
`writef`	[a,b,c] (%s)	abc (%w)	'a@b' (%w)
`print`	abc	abc	a@b
`printf`	abc (%s)	abc (%w)	a@b (%w)

Condicionais

```
1 main =>
2     X = read_int(),
3     if(X <= 100)then
4         println("X e menor que 100")
5     else
6         println("X nao e menor que 100")
7     end.
8
```

Exemplos – Repetições

```
1 main =>
2     X = read_int(),
3     println(x=X),
4     while(X != 0)
5         X := X - 1,
6         println(x=X)
7     end
8 .
9
```

```
1 main =>
2     X = read_int(),
3     Y = X..X*3,
4     foreach(A in Y)
5         println(A)
6     end.
7
```

Exemplos – Construindo Listas e Vetores

```
import util. % use split
main =>
        le_vetor_01(X1),
        printf("\nVETOR LIDO: %w ", X1),
        le_vetor_02(X2),
        printf("\nVETOR LIDO: %w ", X2),
        le_lista_01(Y),
        printf("\nLISTA LIDA: %w ", Y),
        le_lista_02(W),
        printf("\nLISTA LIDA 2: %w " , W) .
```

- Este exemplo reúne muitos conceitos desta seção.
- https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/input_output_exemplos/leitura_vetores_listas.pi

Exemplo – Leitura de Vetores

```
le_vetor_01 ( V ) =>
  printf("\nDIGITE tamanho da entrada: "),
  Tam = read_int(),
  V = new_array( Tam ), % cria um vetor
  printf("\nDIGITE os %d VALORES do vetor:", Tam),
  foreach (I in 1..Tam)
        V[I] = read_int()
  end,
  printf("\nVETOR: %w ", V).

le_vetor_02 ( V ) =>
  printf("\nLendo um vetor qualquer de inteiros na linha: "),
  V = { to_int(W) : W in read_line().split() }.
  % OU
  %L = [ to_int(W) : W in read_line().split()],
  %V = to_array( L ).
```

Exemplo – Leitura de Listas

```
le_lista_01 ( L ) =>
  printf("\nLendo lista de inteiros na linha: "),
  L = [ to_int(W) : W in read_line().split()].

le_lista_02 (List) =>
    printf("\nLista inteiros e 0 encerra: "),
    L := [] ,
    E := read_int() ,
    while (E != 0)
        L := [E|L],
        E := read_int()
    end,
    List = L .
```

Volte neste exemplo após a seção de Listas.

Saída – via main

```
$ picat leitura_vetores_listas.pi
DIGITE tamanho da entrada: 3
DIGITE os 3 VALORES do vetor: 3 4 5
VETOR LIDO: {3,4,5}
Lendo um vetor qualquer de inteiros na linha: 9 8 7 6
VETOR LIDO: {9,8,7,6}
Lendo lista de inteiros na linha: 1 2 3 4
LISTA LIDA: [1,2,3,4]
Lista inteiros e 0 encerra: 1 2 3 7 0 1 2 3 5
LISTA LIDA 2: [7,3,2,1]
.... removi algumas linhas em branco
```

Reflexões

- Esta seção avança na sintaxe do Picat e precisa ser praticada

Reflexões

- Esta seção avança na sintaxe do Picat e precisa ser praticada
- Como este conteúdo se assemelha as LPs clássicas, como exercício, voce está apto a fazer alguns algoritmos de outras linguagens.

Reflexões

- Esta seção avança na sintaxe do Picat e precisa ser praticada
- Como este conteúdo se assemelha as LPs clássicas, como exercício, voce está apto a fazer alguns algoritmos de outras linguagens.
- Se antes o Prolog era complicado para *entradas* e *saídas*, com Picat, tudo ficou semelhante as demais linguagens imperativas

Reflexões

- Esta seção avança na sintaxe do Picat e precisa ser praticada
- Como este conteúdo se assemelha as LPs clássicas, como exercício, voce está apto a fazer alguns algoritmos de outras linguagens.
- Se antes o Prolog era complicado para *entradas* e *saídas*, com Picat, tudo ficou semelhante as demais linguagens imperativas
- **Cuidado**: as funções de *entradas* e *saídas*, e outras do sistema como *time*, etc, **nunca** falham e nem aceitam *backtracking* definidas para elas. Em caso de falha do predicado que as contém, estas são **silenciosas**, apresentando um simples **no** ou **false**!

Reflexões

- Esta seção avança na sintaxe do Picat e precisa ser praticada
- Como este conteúdo se assemelha as LPs clássicas, como exercício, voce está apto a fazer alguns algoritmos de outras linguagens.
- Se antes o Prolog era complicado para *entradas* e *saídas*, com Picat, tudo ficou semelhante as demais linguagens imperativas
- **Cuidado**: as funções de *entradas* e *saídas*, e outras do sistema como *time*, etc, **nunca** falham e nem aceitam *backtracking* definidas para elas. Em caso de falha do predicado que as contém, estas são **silenciosas**, apresentando um simples **no** ou **false**!
- Felizmente os erros e problemas de sintaxe são prontamente reportados

Reflexões

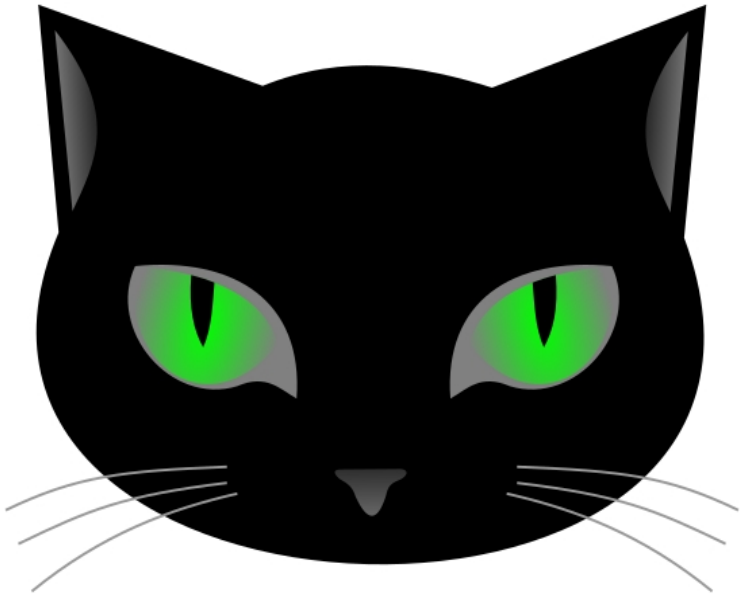
- Esta seção avança na sintaxe do Picat e precisa ser praticada
- Como este conteúdo se assemelha as LPs clássicas, como exercício, voce está apto a fazer alguns algoritmos de outras linguagens.
- Se antes o Prolog era complicado para *entradas* e *saídas*, com Picat, tudo ficou semelhante as demais linguagens imperativas
- **Cuidado**: as funções de *entradas* e *saídas*, e outras do sistema como *time*, etc, **nunca** falham e nem aceitam *backtracking* definidas para elas. Em caso de falha do predicado que as contém, estas são **silenciosas**, apresentando um simples **no** ou **false**!
- Felizmente os erros e problemas de sintaxe são prontamente reportados
- Em `https://github.com/claudiosa/CCS/tree/master/picat/input_output_exemplos` tem vários exemplos avançados de entradas e saídas

Reflexões

- Esta seção avança na sintaxe do Picat e precisa ser praticada
- Como este conteúdo se assemelha as LPs clássicas, como exercício, voce está apto a fazer alguns algoritmos de outras linguagens.
- Se antes o Prolog era complicado para *entradas* e *saídas*, com Picat, tudo ficou semelhante as demais linguagens imperativas
- **Cuidado**: as funções de *entradas* e *saídas*, e outras do sistema como *time*, etc, **nunca** falham e nem aceitam *backtracking* definidas para elas. Em caso de falha do predicado que as contém, estas são **silenciosas**, apresentando um simples **no** ou **false**!
- Felizmente os erros e problemas de sintaxe são prontamente reportados
- Em `https://github.com/claudiosa/CCS/tree/master/picat/input_output_exemplos` tem vários exemplos avançados de entradas e saídas
- Mãos à obra!

Recursão

- Contextualizar a recursão
- Princípios
- 03 exemplos
- *Backtracking*



Recursão

- A *recursão* é um importante conceito da matemática e presente em muitas linguagens de programação. Exemplo: LISP, Haskell, etc

Recursão

- A *recursão* é um importante conceito da matemática e presente em muitas linguagens de programação. Exemplo: LISP, Haskell, etc
- Permite expressar conceitos complexos em uma sintaxe abstrata, mas simples de ler.

Recursão

- A *recursão* é um importante conceito da matemática e presente em muitas linguagens de programação. Exemplo: LISP, Haskell, etc
- Permite expressar conceitos complexos em uma sintaxe abstrata, mas simples de ler.
- Uma regra é dita recursiva quando ela faz auto-referência.

Recursão

- A *recursão* é um importante conceito da matemática e presente em muitas linguagens de programação. Exemplo: LISP, Haskell, etc
- Permite expressar conceitos complexos em uma sintaxe abstrata, mas simples de ler.
- Uma regra é dita recursiva quando ela faz auto-referência.
- Em Picat, a recursão pode ser usada sob uma notação em *lógica* ou *funcional*

Recursão

- A *recursão* é um importante conceito da matemática e presente em muitas linguagens de programação. Exemplo: LISP, Haskell, etc
- Permite expressar conceitos complexos em uma sintaxe abstrata, mas simples de ler.
- Uma regra é dita recursiva quando ela faz auto-referência.
- Em Picat, a recursão pode ser usada sob uma notação em *lógica* ou *funcional*
- A funcional apresenta muita clareza ao código!

Somatório dos *N* naturais

O somatório dos *n* primeiros números naturais é recursivamente definido como a soma de todos *n-1* números, mais o termo *n*. Ou seja:

$$S(n) = \begin{cases} 1 & \text{para } n = 1 \\ S(n-1) + n & \text{para } n \geqslant 2 \text{ e } n \in \mathbb{N} \end{cases}$$

Ou seja:

$$S(n) = \underbrace{1 + 2 + 3 + ... + (n-1)}_{S(n-1)} + n$$

Fatorial

O Fatorial de um número n é definido recursivamente pela multiplicação do fatorial do termo $n-1$ por n. O fatorial só pode ser calculado para números positivos. Adicionalmente, o fatorial de 0 é igual a 1 por definição.

$$Fat(n) = \begin{cases} 1 & \text{para } n = 0 \\ Fat(n-1).n & \text{para } n \geqslant 1 \text{ e } n \in \mathbb{N} \end{cases}$$

Portanto:

$$Fat(n) = \underbrace{1 * 2 * 3 \ldots\ldots (n-1)}_{Fat(n-1)} \quad . \; n$$

Sequência Fibonacci

A sequência Fibonacci é um número calculado a partir da soma dos dois últimos números anteriores a este. Ou seja, o $n - esimo$ termo da sequência Fibonacci é definido como a soma dos termos $n-1$ e $n-2$. Por definição: os dois primeiros termos, $n = 0$ e $n = 1$ são respectivamente, 0 e 1.

$$Fib(n) = \begin{cases} 0 & \text{para } n = 0 \\ 1 & \text{para } n = 1 \\ Fib(n-1) + Fib(n-2) & \text{para } n \geqslant 1 \text{ e } n \in \mathbb{N} \end{cases}$$

Conceitos de Recursividade via Exemplos – IV

- Podemos perceber algo em comum entre estas três definições matemáticas. Todas tem uma ou mais condições que sempre tem o mesmo valor de retorno, ou seja, todas tem uma *regra de aterramento*.

Conceitos de Recursividade via Exemplos – IV

- Podemos perceber algo em comum entre estas três definições matemáticas. Todas tem uma ou mais condições que sempre tem o mesmo valor de retorno, ou seja, todas tem uma *regra de aterramento*.
- Uma condição de *aterramento* é uma condição onde a chamada recursiva da regra acaba (pára ou termina).

Conceitos de Recursividade via Exemplos – IV

- Podemos perceber algo em comum entre estas três definições matemáticas. Todas tem uma ou mais condições que sempre tem o mesmo valor de retorno, ou seja, todas tem uma *regra de aterramento*.
- Uma condição de *aterramento* é uma condição onde a chamada recursiva da regra acaba (pára ou termina).
- Caso uma regra não tenha uma ou mais *regras de aterramento*, pode ocorrer uma recursão infinita deste regra (infinitas chamadas recursivas sobre a mesma regra provocando um *estouro* da pilha de execução).

Exemplos

Numa visão funcional, estas definições matemáticas podem ser transcritas em Picat como:

```
1 soma_0_N(0) = 0.
2 soma_0_N(1) = 1.
3 soma_0_N(N) = N + soma_0_N(N-1).
```

```
1 fatorial(0) = 1.
2 fatorial(1) = 1.
3 fatorial(N) = N * fatorial(N-1).
```

```
1 fiboNacci(0) = 0.
2 fiboNacci(1) = 1.
3 fiboNacci(N) = fiboNacci(N-1) + fiboNacci(N-2).
```

Numa visão funcional, estas definições matemáticas podem ser transcritas em Picat como:

```
1  main =>
2          writeln( fat = fatorial ( 8 ) ) ,
3          writeln( fib = fiboNacci ( 9 ) ) ,
4          writeln( soma = soma_0_N (10) )  .
5
6  ..............................................
7
8  $ picat recursao_ex_02.pi
9  fat = 40320
10 fib = 34
11 soma = 55
12 $
```

- Caso a definição do fatorial fosse modificada para:

$$Fat(n) = \quad Fat(n-1) * n, \quad \forall n \in \mathbb{N} \text{ ou } \forall n \geq 0$$

Recursão Infinita

- Caso a definição do fatorial fosse modificada para:

$$Fat(n) = \quad Fat(n-1) * n, \quad \forall n \in \mathbb{N} \text{ ou } \forall n \geq 0$$

- Teríamos um caso de *recursão infinita*, pois a regra Fatorial continuaria a ser chamada com $n < 0$
- Nesse caso haveria um erro, pois estaria tentando executar algo indefinido.

Exercício

Para os exemplos anteriores, reescreva-os as formulações sob uma visão *lógica* e *procedural*.

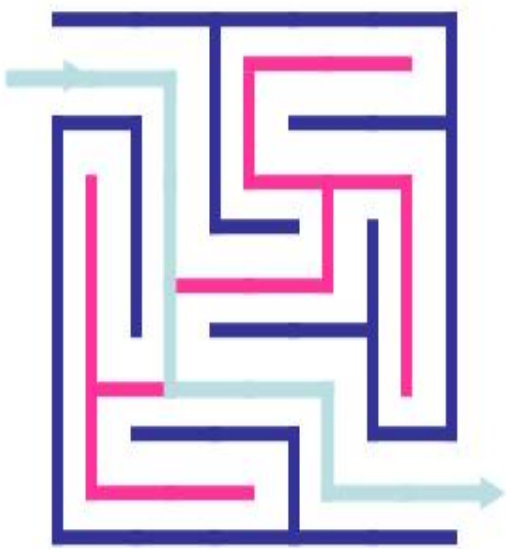
- O mecanismo de *backtracking* é bem conhecido por algumas linguagens de programação

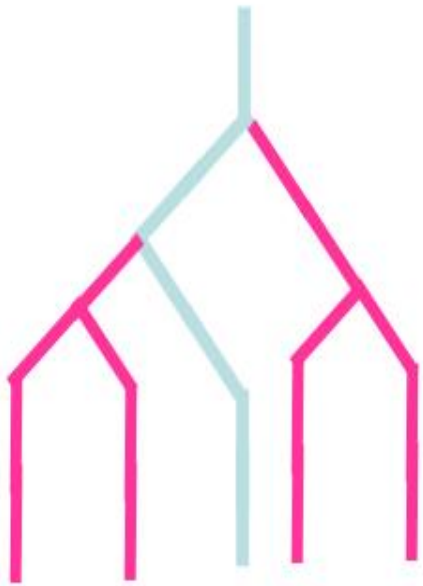
- O mecanismo de *backtracking* é bem conhecido por algumas linguagens de programação
- Em Picat, o *backtracking* é controlável e é habilitado pelo símbolo ?=> no escopo da regra.

Ilustrando o *Backtracking* no Labirinto

Backtracking Implementation

Backtracking is a modified depth-first search of the solution-space tree. In the case of the maze the start location is the root of a tree, that branches at each point in the maze where there is a choice of direction.



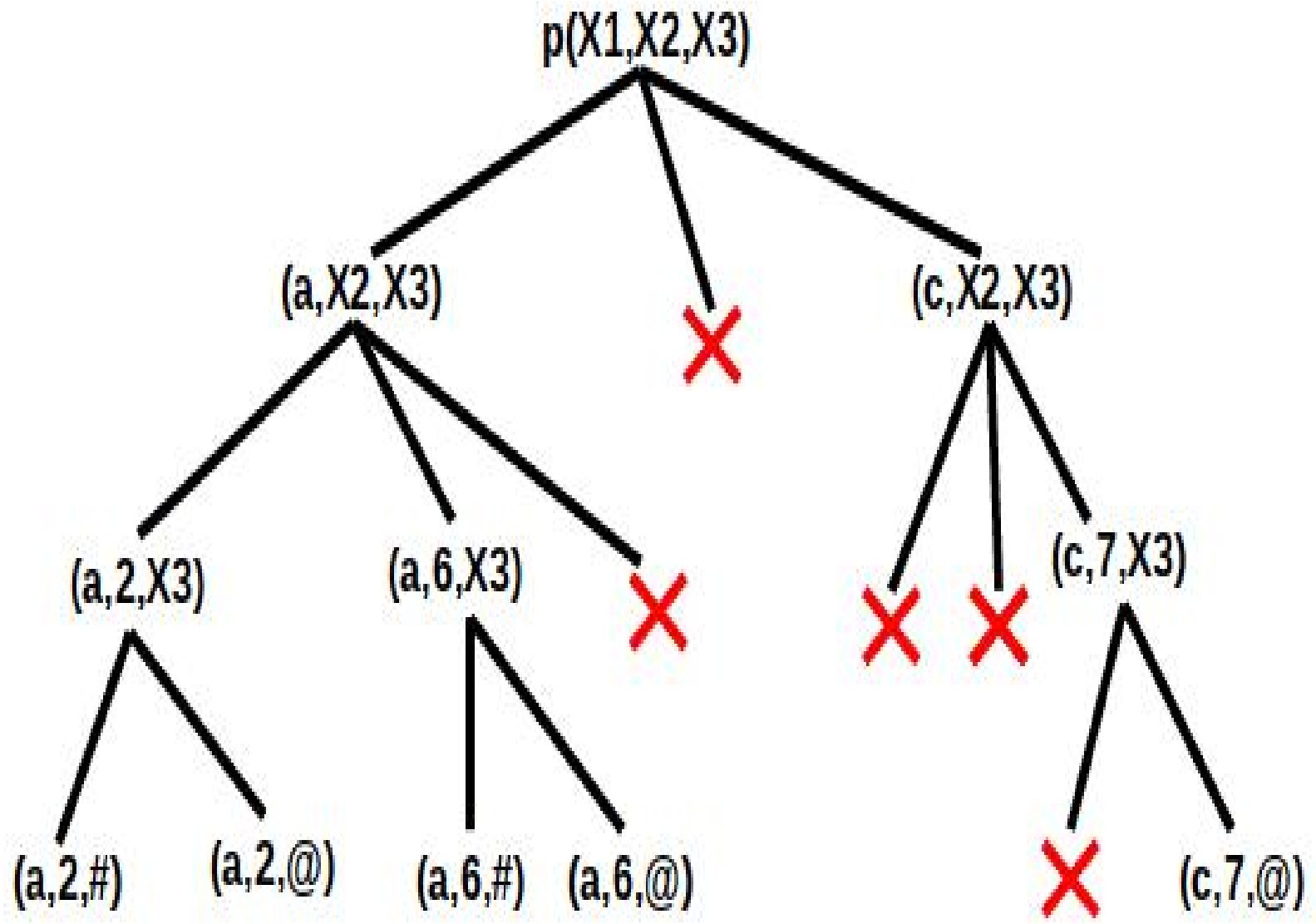


Basicamente o procedimento do *Backtracking* é definido por:

1. Inicia-se por um casamento de um predicado *backtrackable* p com um outro predicado p.
2. Segue-se a execução da regra p, executando a instância das variáveis da esquerda para direita. **Exemplo** (ilustrativo): `p(X1,X2,X3, ....., Xn) ?=> q1(X1), q2(X2), ...., qn(Xn).`
3. Caso ocorra uma falha durante a execução da regra p, o compilador busca re-instanciar as variáveis do corpo de p que falharem. Esta tentativa segue uma ordem: $q1(X1) \rightarrow q2(X2) \rightarrow .... \rightarrow qn(Xn)$, até a variável Xn

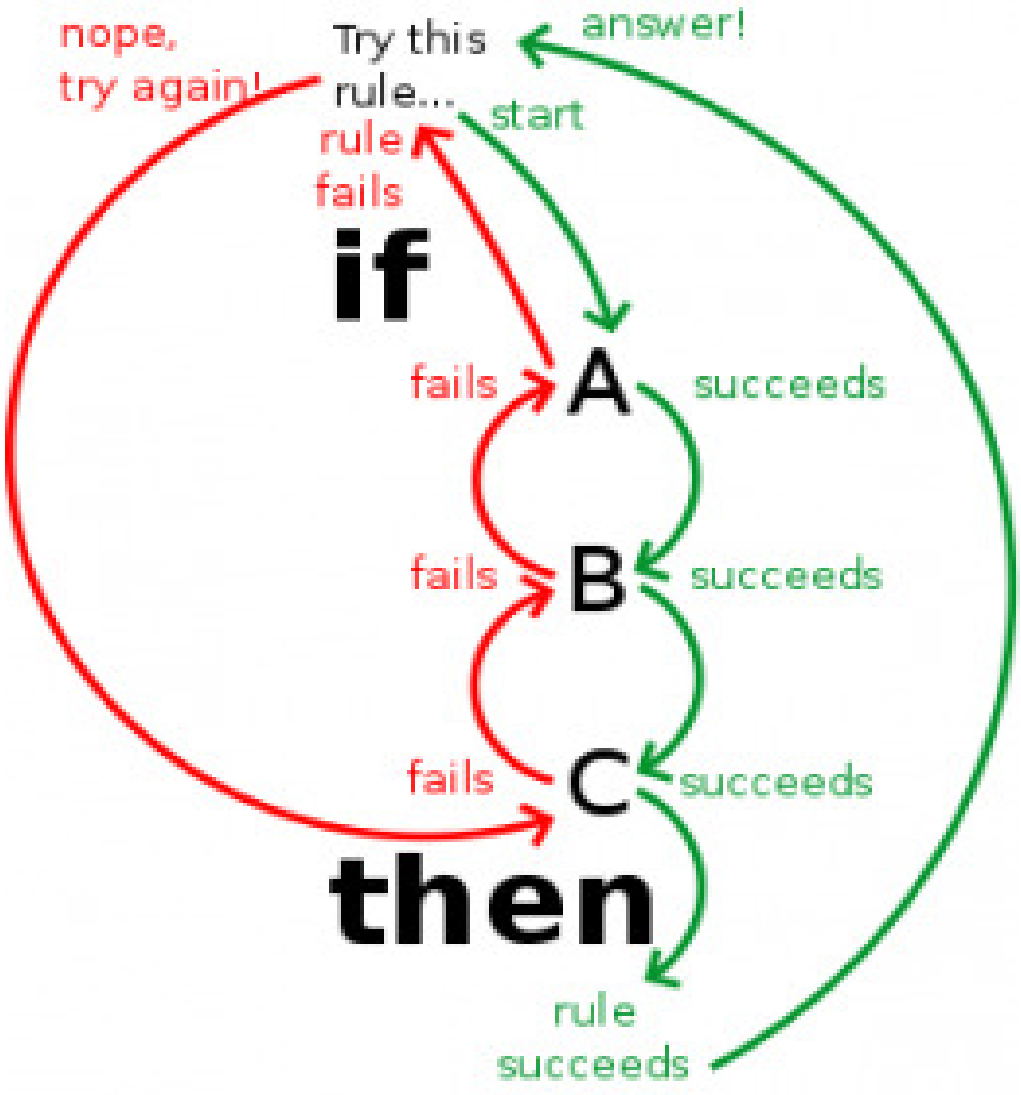
4. Caso *Xn* seja instanciada com sucesso, tem-se uma resposta consistente para *p*
5. No caso de uma falha completa na regra corrente *p*, segue-se para uma próxima regra *p* (`p ....?=> ...`), a qual é avaliada com novas instâncias as suas variáveis.
6. Este processo é completo (exaustivo) e se repete até não for mais possível a reinstanciação de variáveis, ou ocorrer uma falha durante a execução.

Ilustra o *Backtracking* – Árvore de Busca



Exercício: descubra os domínios possíveis de `X1`, `X2` e `X3`

Ilustra a Operacionalidade do *Backtracking*



Exemplo 01 – Árvore Geneológica – I

Código: .../picat/uso_ancestral_recursao.pi

```
1  index (-,-) (+,-) (-,+)
2  ancestral(ana,maria).
3  ancestral(pedro,maria).
4  ancestral(maria,paula).
5  ancestral(paula,lucas).
6  ancestral(lucas, eduarda).
7
8  index (-)
9  mulher(ana).
10 mulher(maria).
11 mulher(paula).
12 mulher(eduarda).
13 homem(pedro).
14 homem(lucas).
15
16 ..................................................continua
```

Exemplo 01 – Árvore Geneológica – II

```
1  ..................................................
2  mae(X,Y) => ancestral(X,Y), mulher(X).
3  pai(X,Y) => ancestral(X,Y), homem(X).
4  avos(X,Y) => ancestral(X,Z), ancestral(Z,Y).
5
6  descende_de(X,Y) ?=> ancestral(Y,X).
7  descende_de(X,Y) => ancestral(Y,Z), descende_de(X,Z).
8
9  main ?=>
10       descende_de(X,Y),
11       prinitf("\n => %w descende de %w" , X,Y),
12       false.
13 main =>  true.
```

Refletindo sobre o Exemplo

- Uma chamada do tipo $mae(maria, X)$, seria como perguntar ao compilador "*Maria é mãe de quem ?*".
- Nesse caso o compilador testa possíveis valores que pudessem ser unificados com X satisfazendo a regra $mae(maria, X)$.
- Ou seja, seria como se estivéssemos perguntando:
  - "Maria é mãe de Ana ?".
  - "Maria é mãe de Paula ?".
  - "Maria é mãe de Pedro ?".

Exemplo 02 – Números – I

Código: .../picat/backtracking_ex_02.pi

```
% $ picat backtracking_ex_02.pi
% cl('backtracking_ex_02').
%%% FATOS ...
index(-)  % fatos instanciados como retorno
    p(1).  p(3).   p(5).

index(-)  % fatos instanciados como retorno
    q(7).  q(4).  q(13).

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
algum_num(X, Y, Z) ?=> % ? esta regra tem backtracking
      p(X),
      q(Y),
      Z = 3,
      ((X + Y) mod Z) == 0.

algum_num(X, Y, Z) ?=>  % ? esta regra tem backtracking
      p(X),
      q(Y),
      Z = 4,
      ((X + Y) mod Z) == 0.
..................................... continua
```

Exemplo 02 – Números – II

```
.........................................
algum_num(X, Y, Z) =>  % esta regra NAO tem backtracking
      p(X),
      q(Y),
      Z = 5,
      ((X + Y) mod Z) == 0.

% CUIDAR AQUI
%algum_num(_, _, _)  =>
%     printf("\n NAO HA MAIS MULTIPLOS de 3, 4 ou 5").
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%n%%%%%%%%%%%%%%%%% %%%%%%%%%%%%%%
main ?=>  % main com backtracking
   algum_num( X, Y, Z),
   imp(X,Y,Z),
   false.     % força TODAS respostas

main => imp_tracejados(40).
```

Exemplo 02 – Saída

```
$ picat backtracking_ex_02.pi

 X:5  Y:7  X+Y:12 é MULTIPLO de:3
 X:5  Y:4  X+Y:9 é MULTIPLO de:3
 X:5  Y:13  X+Y:18 é MULTIPLO de:3
 X:1  Y:7  X+Y:8 é MULTIPLO de:4
 X:3  Y:13  X+Y:16 é MULTIPLO de:4
 X:5  Y:7  X+Y:12 é MULTIPLO de:4
 X:1  Y:4  X+Y:5 é MULTIPLO de:5
 X:3  Y:7  X+Y:10 é MULTIPLO de:5
========================================
$
```

Cuidar em confundir **0** (zero) com **O**. Perdi horas no código acima.

Reflexões

- A recursão é o paradigma das linguagens declarativas como Haskell, Prolog, Picat, ... etc

Reflexões

- A recursão é o paradigma das linguagens declarativas como Haskell, Prolog, Picat, ... etc
- As regras recursivas são construídas com uma ou mais *regras aterradas*, que **sempre vem antes** das demais regras recursivas, as quais podem ou não terem o *backtracking* habilitados (?=>)

Reflexões

- A recursão é o paradigma das linguagens declarativas como Haskell, Prolog, Picat, ... etc
- As regras recursivas são construídas com uma ou mais *regras aterradas*, que **sempre vem antes** das demais regras recursivas, as quais podem ou não terem o *backtracking* habilitados (?=>)
- A avaliação destas regras **são sempre da esquerda para direita**, ocorrendo o *backtracking* em caso de falha ou de uma nova resposta

Reflexões

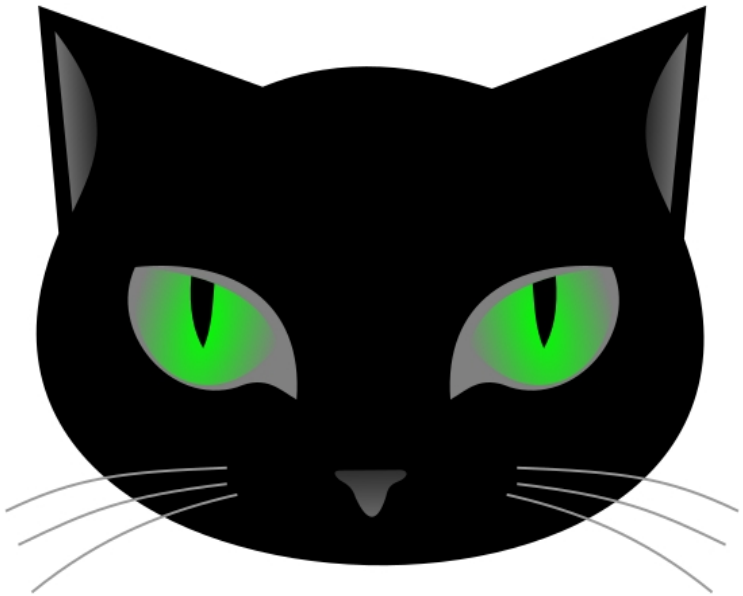
- A recursão é o paradigma das linguagens declarativas como Haskell, Prolog, Picat, ... etc
- As regras recursivas são construídas com uma ou mais *regras aterradas*, que **sempre vem antes** das demais regras recursivas, as quais podem ou não terem o *backtracking* habilitados (?=>)
- A avaliação destas regras **são sempre da esquerda para direita**, ocorrendo o *backtracking* em caso de falha ou de uma nova resposta
- As regras recursivas com *backtracking* habilitados (?=>), apenas para regras predicativas. As funções não admitem *backtracking*!

Reflexões

- A recursão é o paradigma das linguagens declarativas como Haskell, Prolog, Picat, ... etc
- As regras recursivas são construídas com uma ou mais *regras aterradas*, que **sempre vem antes** das demais regras recursivas, as quais podem ou não terem o *backtracking* habilitados (?=>)
- A avaliação destas regras **são sempre da esquerda para direita**, ocorrendo o *backtracking* em caso de falha ou de uma nova resposta
- As regras recursivas com *backtracking* habilitados (?=>), apenas para regras predicativas. As funções não admitem *backtracking*!
- A metodologia destas regras e sua construção, seguem esquemas mais avançados da programação declarativa!

Listas

- Definição de listas
- Representação
- Operadores
- Geração de listas
- Exemplos



- Requisito: conceito de recursividade, *aterramento* etc, dominados!

- Requisito: conceito de recursividade, *aterramento* etc, dominados!
- Os conceitos são os próximos os das LPs convencionais

- Requisito: conceito de recursividade, *aterramento* etc, dominados!
- Os conceitos são os próximos os das LPs convencionais
- Essencialmente vamos computar sob uma árvore binária (cada nó sempre tem duas ramificações)

- Requisito: conceito de recursividade, *aterramento* etc, dominados!
- Os conceitos são os próximos os das LPs convencionais
- Essencialmente vamos computar sob uma árvore binária (cada nó sempre tem duas ramificações)
- Lembrando que uma estrutura binária de árvore tem uma equivalência com uma árvore n-ária (ver livro de Estrutura de Dados)

- Requisito: conceito de recursividade, *aterramento* etc, dominados!
- Os conceitos são os próximos os das LPs convencionais
- Essencialmente vamos computar sob uma árvore binária (cada nó sempre tem duas ramificações)
- Lembrando que uma estrutura binária de árvore tem uma equivalência com uma árvore n-ária (ver livro de Estrutura de Dados)
- Logo, listas são estruturas flexíveis e poderosas!

Ilustrando uma Lista em Formato Binário

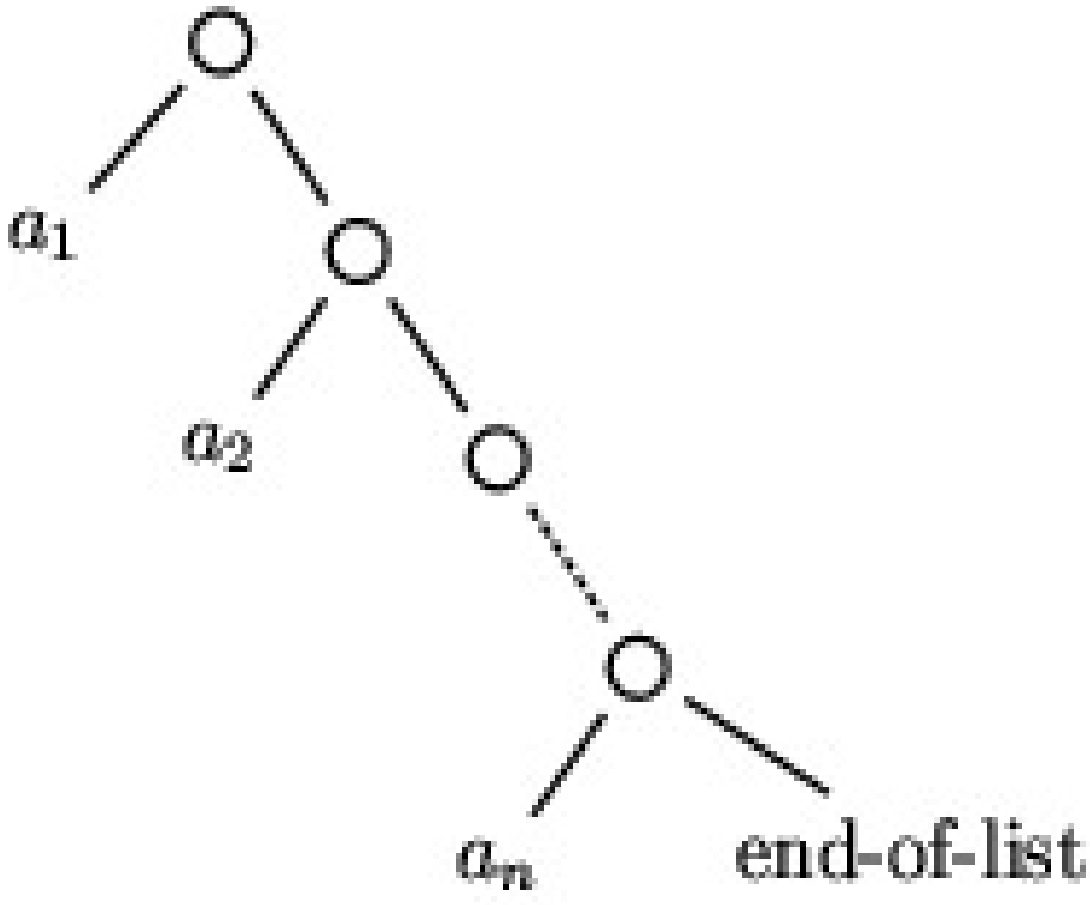


Figura 3: Uma estrutura Lista – Homogênea

Ilustrando Listas e o Operador '|' (ou ':' da figura)

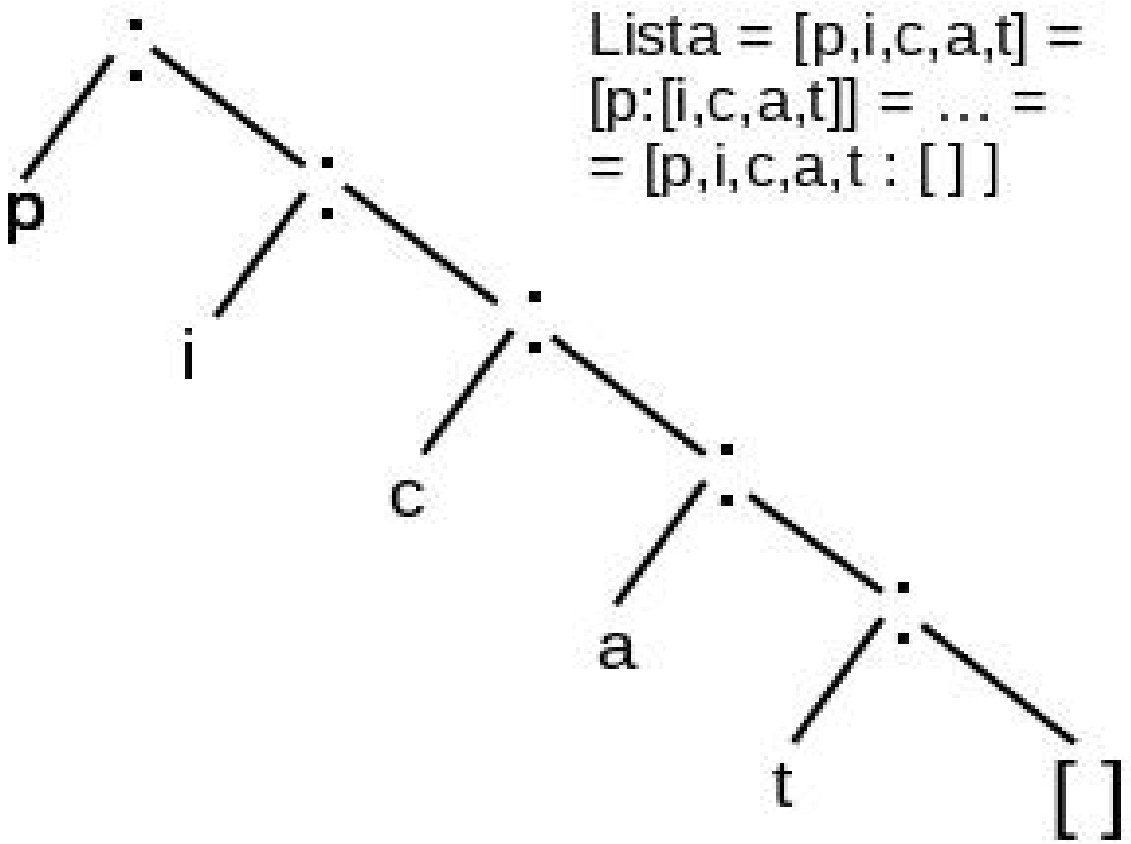


Figura 4: Listas são inerentemente **recursivas**!

Exemplos de Listas

lista:	`[a,b,c,d]`
cabeça:	`a`
cauda:	`[b,c,d]`
lista:	`[[a,b],c,[d,e,f],g]`
cabeça:	`[a,b]`
cauda:	`[c,[d,e,f],g]`
lista:	`[[A11,A12],[A21,A22]]`
cabeça:	`[A11,A12]`
cauda:	`[[A21,A22]]`

Definições iniciais (e recursivas)

- Uma lista é uma sequência de termos (objetos)

Notação:

- O símbolo "[" é usado para descrever o início de uma lista, e "]" para o final da mesma;
- Exemplo: seja a lista [a, b, c, d], logo um predicado cujo argumento seja algumas letras, tem-se uma lista do tipo:
  - letras([a, b, c, d])
  - Onde 'a' é o *cabeça* (primeiro elemento) da lista
  - e [b, c, d]é uma *sub-lista* que é uma lista!
- Os elementos de uma lista são lidos da esquerda para direita;
- A "*sub-lista*" [b, c, d]é conhecida como resto ou "*cauda*" da lista;
- Esta sub-lista é uma lista e toda definição segue-se recursivamente.

Operador "|":

- "*Como vamos distinguir de onde se encontra a cabeça da cauda da lista?*"
- Com as listas novos símbolos foram introduzidos, isto é, além dos delimitadores [...], há um novo operador que **separa** ou **define** quem é a elemento cabeça da lista e cauda.
- Este operador é conhecido como "*pipe*" (ou *barra vertical*), simbolizado por "|", que separa o lado esquerdo da direita da lista.
- Esta separação é necessário para se realizar os *casamentos de padrões* nas linguagens lógicas.

Exemplos de *casamentos*:

```
[ a, b, c, d ] = X
[ X | b, c, d ]  =  [ a, b, c, d ]
[ a | b, c, d ]  =  [ a, b, c, d ]
[ a , b | c, d ]  =  [ a, b, c, d ]
[ a , b , c | d ]  =  [ a, b, c, d ]
[ a , b , c , d | [] ]  =  [ a, b, c, d ]
[] = X
[ [ a | b , c , d] ] = [ [ a , b , c , d ] ]
[  a | b , c , [ d ] ] = [  a , b , c , [ d ] ]
[  _ | b , c , [d ] ] = [  a , b , c , [ d ] ]
[  a | Y ] = [  a , b , c ,  d ]
[  a | _ ] = [  a , b , c ,  d ]
[  a , b | c , d ] = [  X , Y | Z ]
```

Contra-exemplos de ***casamentos***:

```
[ a , b | [c, d] ]  !=  [ a, b, c, d ]
[ [ a , b , c , d] ]  !=  [ a, b, c, d ]
[  a , b , [ c ] , d, e ]  !=  [ a, b, c, d, e ]
[ [ [ a ] | b , c , d] ] != [ [ a , b , c , d] ]
```

Sintaxe das Listas VI

- Estes casamentos de termos de uma lista são também conhecidos por *matching*
- Devido ao fato de listas modelarem qualquer estrutura de dados, invariavelmente, seu uso é extensivo há problemas em geral (dos simples a complexos)
- Porém, alguns cuidados no uso de predicados com *backtracking*. Acompanhe os exemplos.
- Os próximos exemplos encontram-se no arquivo: `../picat/listas.pi`

Exemplos sobre Listas (e Implementações)

1. Comprimento de uma lista: retorna um valor numérico

Exemplos sobre Listas (e Implementações)

1. Comprimento de uma lista: retorna um valor numérico
2. Se um elemento x pertence a lista: retorna um valor binário (*true* ou *false*)

Exemplos sobre Listas (e Implementações)

1. Comprimento de uma lista: retorna um valor numérico
2. Se um elemento x pertence a lista: retorna um valor binário (*true* ou *false*)
3. Adicionar um elemento x em uma lista: retorna uma nova lista, o x inserido nesta lista, se x já estiver presente, não insira. Em resumo: insere x em L sem repetição.

Exemplos sobre Listas (e Implementações)

1. Comprimento de uma lista: retorna um valor numérico
2. Se um elemento x pertence a lista: retorna um valor binário (*true* ou *false*)
3. Adicionar um elemento x em uma lista: retorna uma nova lista, o x inserido nesta lista, se x já estiver presente, não insira. Em resumo: insere x em L sem repetição.
4. Concatena duas listas: retorna uma terceira lista

Em resumo: 4 métodos clássicos!

Exemplo 01: encontrar o comprimento de uma lista I

- O comprimento de uma lista é o comprimento de sua **sub-lista**, mais **um**
- O comprimento de uma lista vazia ([]) é zero.

Em Picat, sob uma visão funcional, este enunciado é escrito por:

```
comprimento_02( [ ] ) = 0.
comprimento_02([ _ | L ]) = N  =>
                N = 1 + comprimento_02( L ).
```

Exemplo 01: encontrar o comprimento de uma lista II

Em Picat, sob uma visão lógica, este predicado pode ser construído como:

```
comprimento_01([],N) ?=> N = 0.
%%% em PROLOG, apenas comprimento_01([],0). PORQUÊ?
comprimento_01([_|L],N)  =>
                comprimento_01( L , Parcial ),
                N = 1 + Parcial.
```

Exemplo 01: encontrar o comprimento de uma lista III

Um *mapa de memória* é dado por:

	Regra	X	T	N	N = N+1
compto([a,b,c,d],N)	#2	a	[b,c,d]	3 →	3+1=4
compto([b,c,d],N)	#2	b	[c,d]	2 →	↖ 2+1
compto([c,d],N)	#2	c	[d]	1 →	↖ 1+1
compto([d],N)	#2	d	[]	0 →	↖ 0+1
compto([],N)	#1	–	–	–	↖ 0

Exemplo 02: verificar a pertinência de um objeto na lista I

- Verifica se um dado objeto pertence há uma lista
- Um método clássico – muito usado
- Tem embutido no Picat: o *menber*

Em Picat, sob uma visão funcional, esta função é escrita por:

```
pertence_02( _ , [ ]) = false.
pertence_02( A, [A|_]) = true.
% CUIDAR ... em funcoes nao hah ? em ?=> ...
% sem backtracking em funcoes
pertence_02(A, [B|L]) = X =>
                A != B,
                X = pertence_02(A,L).
```

Exemplo 02: verificar a pertinência de um objeto na lista II

Em Picat, sob uma visão lógica, este predicado pode ser construído como:

```
pertence_01( A, [A|_]) ?=> true.
% Again, backtracking CONTROLADO ... diferente do Prolog
pertence_01(A,[B|L])  =>
                A != B ,
                pertence_01(A,L).
```

Exemplo 03: adicionar um elemento em uma lista I

- Um objeto é adicionado no início da lista (sem repetição) caso este já esteja contido na lista, a lista original é a retornada:

Em Picat, sob uma visão funcional, esta função é escrita por:

```
add_X_lista_02(X, [ ]) = [X].
add_X_lista_02(X, Y) = Z =>
          pertence_02(X, Y) = true,
          Z = Y ;
          Z = [ X | Y ].
```

Exemplo 03: adicionar um elemento em uma lista II

Em Picat, sob uma visão lógica, este predicado pode ser construído como:

```
add_X_lista_01(X, [ ], Z )  ?=> Z = [X].
add_X_lista_01(X, Y, Z) ?=>
          pertence_01(X, Y),
          Z = Y .
add_X_lista_01(X, Y, Z) =>
          Z = [ X | Y ].
```

Exemplo 04: união de duas listas I

- O método de união ou concatenação entre duas listas, resultando em uma terceira lista
- Este predicado é conhecido como *append* ou *concatena*. O *append* está pronto na biblioteca default do Picat
- Há uma versão simplificada: `L3 = L1 ++ L2`

Em Picat, sob uma visão funcional, esta função é escrita por:

```
uniao_02( [], X ) = X.
uniao_02( [X|L1], L2 ) = L3 =>
                              L3 = [X | uniao_02( L1, L2 )].
```

Exemplo 04: união de duas listas II

Em Picat, sob uma visão lógica, este predicado pode ser construído como:

```
uniao_01( [] , X, Y ) ?=> Y = X.
uniao_01( A , L2, R  ) =>  A = [X|L1] ,
                           R = [X|L3] ,
                           uniao_01( L1, L2, L3 ).
```

Geração de Listas – *list comprehension*

- O conceito de *list comprehension* veio da programação funcional
- Basicamente serve para criarmos ou gerarmos listas

Geração de Listas – *list comprehension*

- O conceito de *list comprehension* veio da programação funcional
- Basicamente serve para criarmos ou gerarmos listas
- Bastante útil e pode ser usada em qualquer parte de um código

Geração de Listas – *list comprehension*

Um *list comprehension* tem o seguinte formato na criação de listas:

$$[T \ : \ E_1 \ \texttt{in} \ D_1, \ Cond_1, \ \ldots, \ E_n \ \texttt{in} \ D_n, \ Cond_n]$$

- T é uma termo (uma expressão num caso genérico)
- E_i é um padrão de iteração
- D_i é uma expressão de um valor composto, em geral um intervalo de domínio
- Opcionalmente, condições $Cond_1, \ldots, Cond_n$ são chamados de *termos*
- Esta geração de lista tem a seguinte interpretação: *toda tupla de valores* $E_1 \in D_1, \ldots, E_n \in D_n$, *se as condições* $Cond_i$ *forem verdades, então o valor do termo* T *é adicionado na lista em construção*

Um vetor ou matrizes também pode ser construídos com um *array comprehension* e tem o seguinte formato:

$$\{T \ : \quad E_1 \ \texttt{in} \ D_1, \ Cond_1, \ \ldots, \ E_n \ \texttt{in} \ D_n, \ Cond_n\}$$

Geração de Listas – *list comprehension*

Um vetor ou matrizes também pode ser construídos com um *array comprehension* e tem o seguinte formato:

$$\{T \texttt{ : } E_1 \texttt{ in } D_1\texttt{, } Cond_1\texttt{, ..., } E_n \texttt{ in } D_n\texttt{, } Cond_n\}$$

Isto é o mesmo como

$$\texttt{to\_array([}T \texttt{ : } E_1 \texttt{ in } D_1\texttt{, } Cond_1\texttt{, ..., } E_n \texttt{ in } D_n\texttt{, } Cond_n\texttt{])}$$

Exemplos de *list comprehension*

```
main => Status = command("clear") ,
printf("==================================== %d", Status),
    L0 = [I :  I in 10..20],
    L1 = [I :  I in 10..2..20],
    L2 = [I :  I in 1..20, I>10, I<20],
    L3 = [(A,I) : A in [a,b], I in 1..10, I mod 2 == 0],
    L4 = [(I,J,K) :  I in 1..2, J in 3..7, K in 1..10, I+J < K],
    printf("\n L0 : %w " , L0),
    printf("\n L1 : %w " , L1),
    printf("\n L2 : %w " , L2),
    printf("\n L3 : %w " , L3),
    printf("\n L4 : %w " , L4),
    printf("\n FIM\n").

%  $ picat geracao_listas.pi
```

Saída: *list comprehension*

```
======================================== 0
 L0 : [10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20]
 L1 : [10,12,14,16,18,20]
 L2 : [11,12,13,14,15,16,17,18,19]
 L3 : [(a,2),(a,4),(a,6),(a,8),(a,10),(b,2),(b,4),(b,6),(b,8),(b,10)]
 L4 : [(1,3,5),(1,3,6),(1,3,7),(1,3,8),(1,3,9),(1,3,10),(1,4,6),
 (1,4,7),(1,4,8),(1,4,9),(1,4,10),(1,5,7),(1,5,8),(1,5,9),(1,5,10),(1,6
 (1,6,9),(1,6,10),(1,7,9),(1,7,10),(2,3,6),(2,3,7),(2,3,8),(2,3,9),(2,3
 (2,4,7),(2,4,8),(2,4,9),(2,4,10),(2,5,8),(2,5,9),(2,5,10),
 (2,6,9),(2,6,10),(2,7,10)]
 FIM
```

L4 ... *cortada*

Concluindo Listas

- Há muitos predicados e funções prontas sobre listas nos módulos do Picat

Concluindo Listas

- Há muitos predicados e funções prontas sobre listas nos módulos do Picat
- Contudo, se aprende sobre listas, fazendo **muitos** métodos

Concluindo Listas

- Há muitos predicados e funções prontas sobre listas nos módulos do Picat
- Contudo, se aprende sobre listas, fazendo **muitos** métodos
- A recursividade em sua modelagem, define a metodologia de se *programar em lógica*

Concluindo Listas

- Há muitos predicados e funções prontas sobre listas nos módulos do Picat
- Contudo, se aprende sobre listas, fazendo **muitos** métodos
- A recursividade em sua modelagem, define a metodologia de se *programar em lógica*
- Exercitar-se para aprender os detalhes!

Concluindo Listas

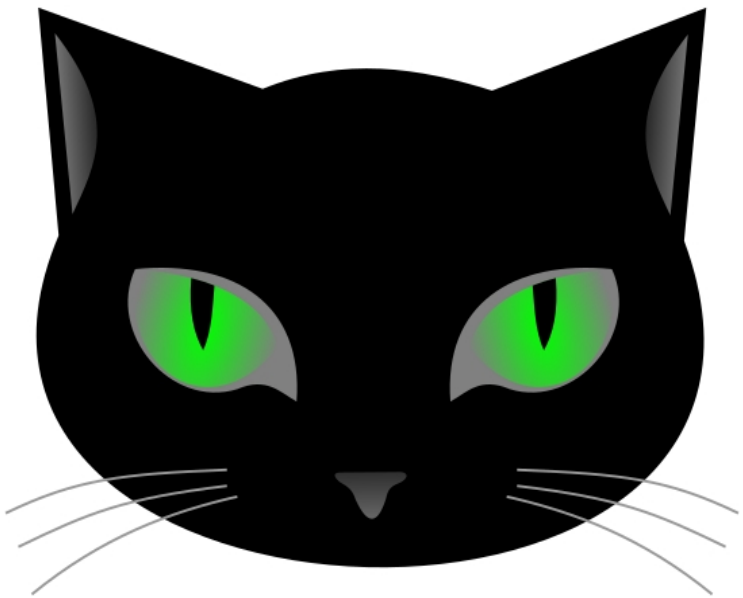
- Há muitos predicados e funções prontas sobre listas nos módulos do Picat
- Contudo, se aprende sobre listas, fazendo **muitos** métodos
- A recursividade em sua modelagem, define a metodologia de se *programar em lógica*
- Exercitar-se para aprender os detalhes!
- Usar as listas como estrutura base em problemas complexos

Concluindo Listas

- Há muitos predicados e funções prontas sobre listas nos módulos do Picat
- Contudo, se aprende sobre listas, fazendo **muitos** métodos
- A recursividade em sua modelagem, define a metodologia de se *programar em lógica*
- Exercitar-se para aprender os detalhes!
- Usar as listas como estrutura base em problemas complexos
- Próxima na aula: buscas (**uso extensivo de listas**)

Buscas

- O que é uma *busca*?
- Problemas $\Rightarrow$ buscar ...
- Buscas em estruturas quaisquer
- Listas são o suficiente!
- Núcleo das buscas
- Exemplo



- Requisito: conceitos de listas e recursividade dominados!

- Requisito: conceitos de listas e recursividade dominados!
- Além destes: noções sobre grafos, árvores, nós, etc

- Requisito: conceitos de listas e recursividade dominados!
- Além destes: noções sobre grafos, árvores, nós, etc
- Solucionar problemas implicar em percorrer estados (um caminho) que levem há um estado–solução

- Requisito: conceitos de listas e recursividade dominados!
- Além destes: noções sobre grafos, árvores, nós, etc
- Solucionar problemas implicar em percorrer estados (um caminho) que levem há um estado–solução
- Grosseiramente: **estados de problemas $\Leftrightarrow$ estruturas abstratas**

- Requisito: conceitos de listas e recursividade dominados!
- Além destes: noções sobre grafos, árvores, nós, etc
- Solucionar problemas implicar em percorrer estados (um caminho) que levem há um estado–solução
- Grosseiramente: **estados de problemas $\Leftrightarrow$ estruturas abstratas**
- Pois, problemas em geral se apresentam como uma conexão complexa tipo um *grafo*, e a varredura sob este grafo é sistemática sob uma *árvore de busca*

- Requisito: conceitos de listas e recursividade dominados!
- Além destes: noções sobre grafos, árvores, nós, etc
- Solucionar problemas implicar em percorrer estados (um caminho) que levem há um estado–solução
- Grosseiramente: **estados de problemas $\Leftrightarrow$ estruturas abstratas**
- Pois, problemas em geral se apresentam como uma conexão complexa tipo um *grafo*, e a varredura sob este grafo é sistemática sob uma *árvore de busca*
- Então, computar listas em Picat é uma estratégia de resolver problemas!

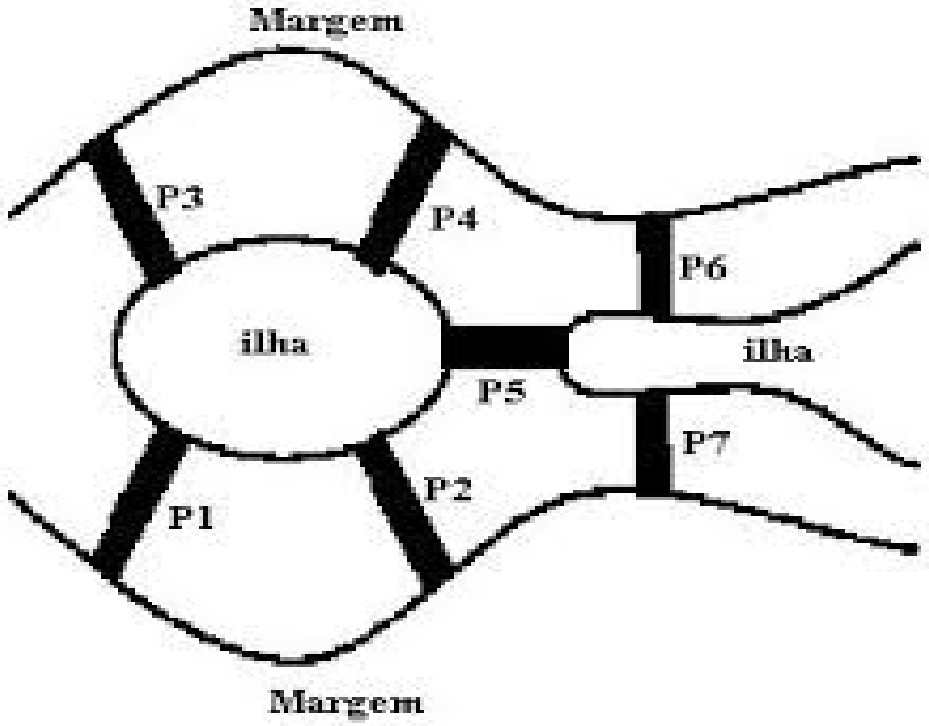


Figura 5: Ciclo Euleriano – Problema das Pontes de Königsberg

Ciclo Euleriano II

- No século 18 havia na cidade de Königsberg (antiga Prússia) um conjunto de sete pontes (identificadas pelas letras de P1 até P7 na figura ao lado) que cruzavam o rio Prególia. Elas conectavam duas ilhas entre si e as ilhas com as margens esquerda e direita.
- Os habitantes daquela cidade perguntavam-se se era possível cruzar as sete pontes numa caminhada contínua sem que se passasse duas vezes por qualquer uma das pontes.
- Embora intrigante, este problema foi atacado por Leonard Euler (1736) e demonstrou que isto não era possível para um grafo qualquer
- Curiosamente, este problema é *fácil* de resolver. Euler demonstrou uma relação entre vértices e arestas para que isto fosse possível.

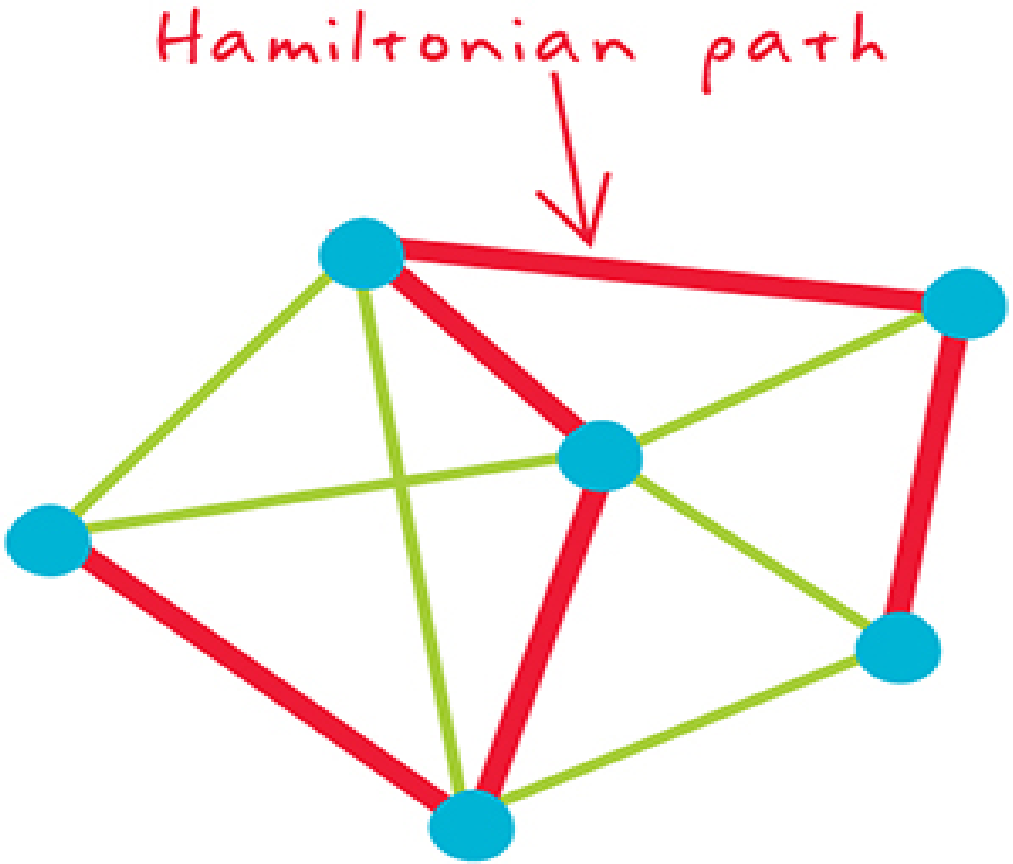


Figura 6: Caminho Hamiltoniano – Há um caminho que passe por todas cidades uma única vez?

Caminho Hamiltoniano II

- **Diferente** do ciclo Euleriano, o caminho Hamiltoniano, origem e destino são diferentes
- Todos os nós precisam ser visitados uma única vez sem repetição
- Num grafo pode haver muitos caminhos Hamiltonianos, mas, pode não existir nenhum!
- Ao contrário do ciclo Euleriano, este problema, computacionalmente é *difícil* de resolver!
- Vamos usar o caminho Hamiltoniano como exemplo, para construir um algoritmo ingênuo, mas que funciona bem!

Problemas, Estados, Grafos e Árvores de Buscas I

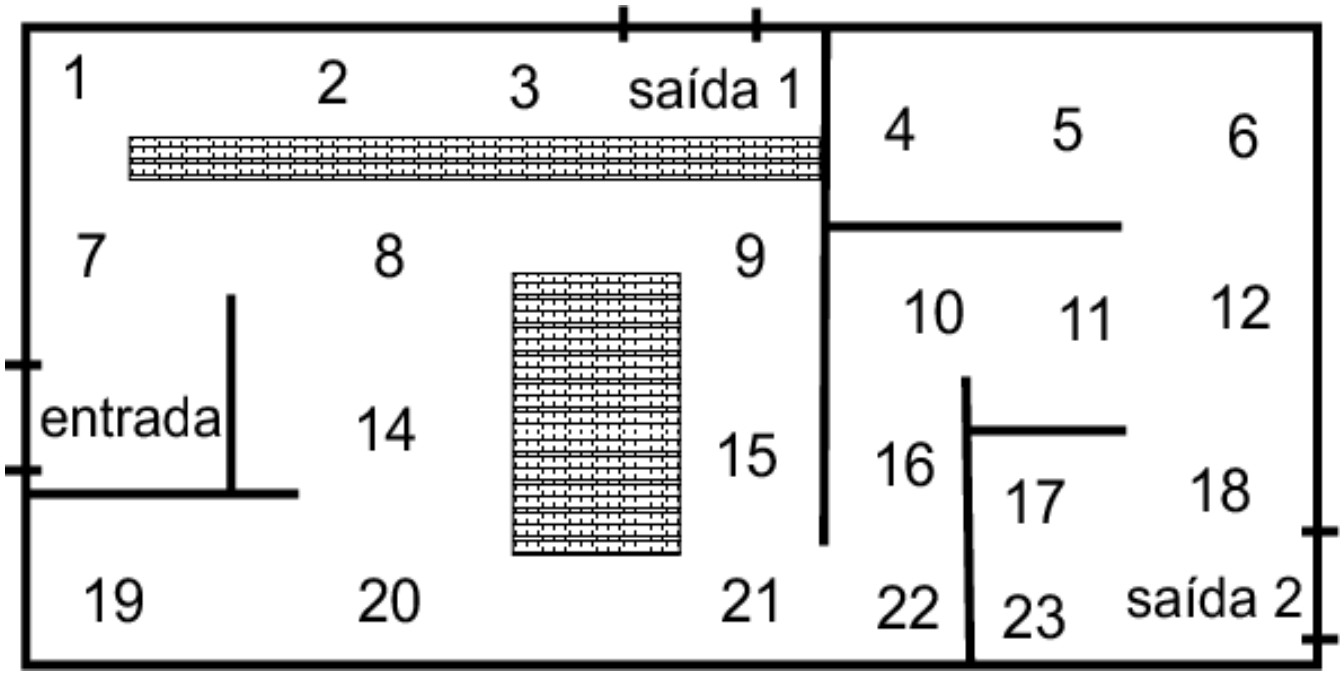
Contextualizando estes termos:

- Em geral, problemas podem ser vistos como *fotografias instantâneas* de uma situação, isto é, **um estado discreto**
- Uma *sucessão* destes estados, compõem *um caminho* de um estado *i* ao estado *j*
- Assim, estes *estados* são representados pelos *nós dos grafos*, e a ligação entre estes, são resultados de *uma ação*, mudança ou evolução do problema
- Há um estado particular chamado *inicial*, vários outros de estados *intermediários*, e outros estados *finais*
- Se o problema tiver várias soluções, o mesmo apresenta vários caminhos do estado inicial ao final.

Problemas, Estados, Grafos e Árvores de Buscas II

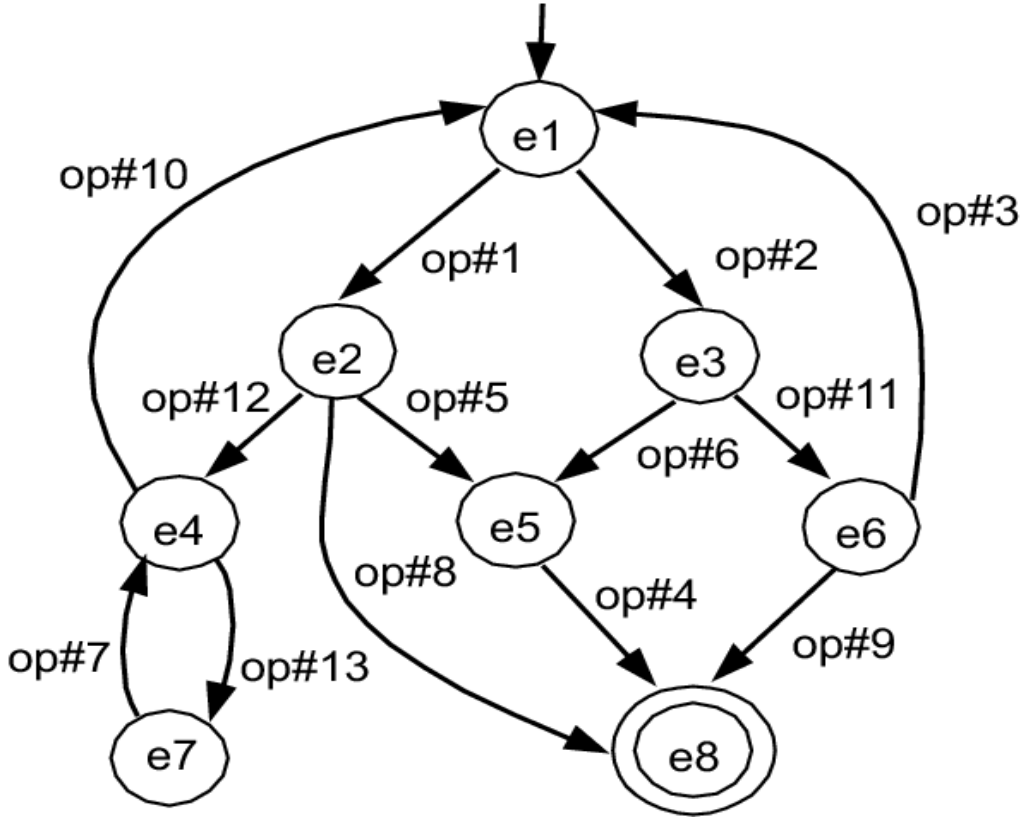
- Assim uma sucessão ou transição válida entre estados, é conhecido como uma *solução* ou *prova* do problema
- Essencialmente vamos varrer uma estrutura entre estados ou nós, de modo sistemático até encontrarmos uma solução aceitável/desejável.
- Logo, vamos empregar alguns conceitos da teoria dos grafos, em modelar problemas e resolvê-los por um esquema de busca computacional

Problema do Robô no Labirinto



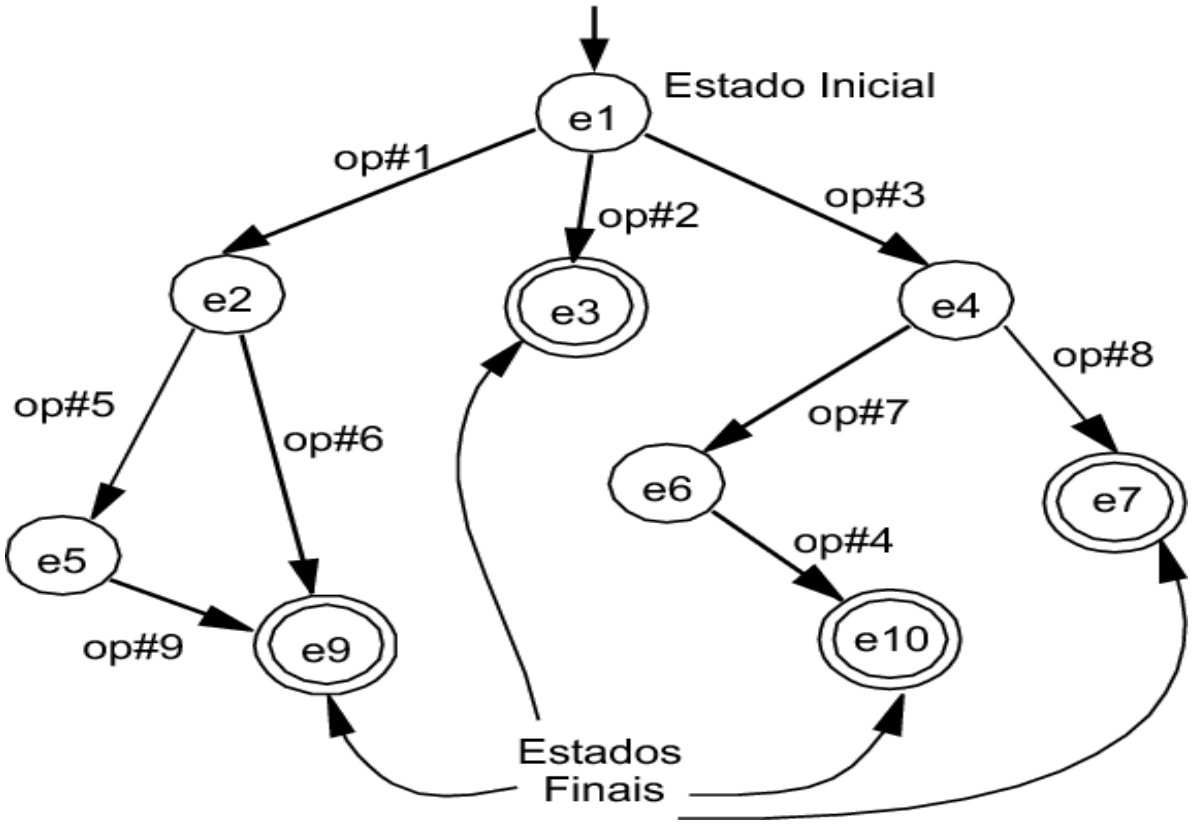
Imagine qualquer problema: uma busca na WEB, atomicidade de transações de BD, máquina de café, carro autônomo, etc

Problemas de Grafos se Transformam em Árvores de Buscas



Resumindo, os problemas são modelados em estruturas complexas, tais como grafos, mas o processo de solução se mantém: **realizar uma busca, tal como uma estrutura de uma árvore (listas)** !

Problemas de Grafos se Transformam em Árvores de Buscas



Assim, a idéia é percorrer os **ramos destas árvores**, de maneira sistemática. Um **caminho** da raiz há um nó terminal de interesse, este é uma solução do problema. Logo, tudo se resume em manipular muitas **listas**!

Pseudo-código já em Picat

```
resolve(P) =>
      inicio(Start),
      busca(Start,[Start],Qsol),
      imprime_saida(Qsol,P).

busca(S,P,P) ?=>  objetivo(S).     % objetivo alcancado : FIN
busca(S,Visited,P) =>
     proximo_estado(S,Nxt),        % gera um proximo estado
     estado_seguro(Nxt),           % verifica se este estado
     sem_loop(Nxt,Visited),        % verifica se está em loop
     busca(Nxt,[Nxt|Visited],P).   % continue a busca recursi
```

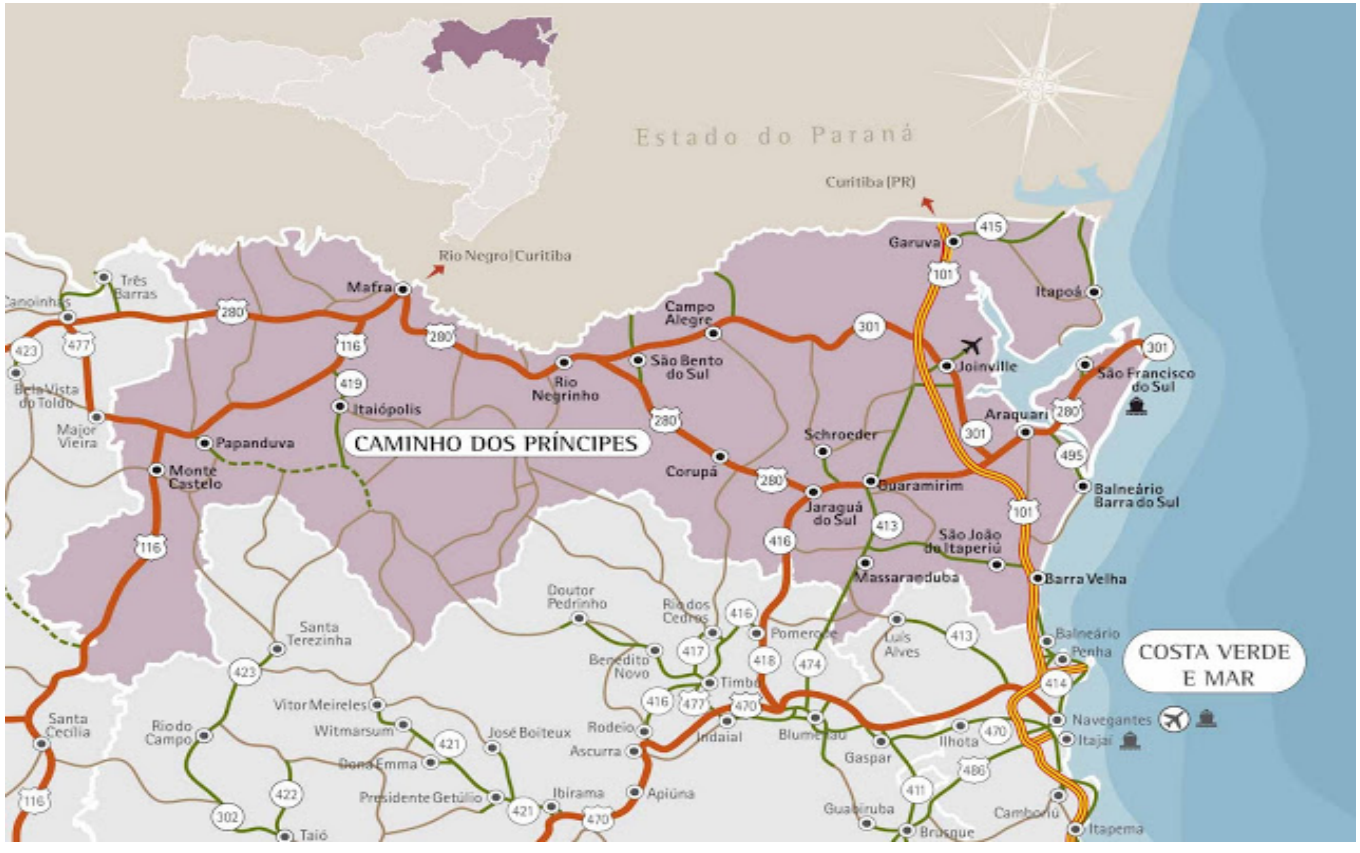
```
sem_loop(Nxt,Visited) :-
      \+member(Nxt,Visited).

proximo_estado(S,Nxt) =>   < fill in here >.
estado_seguro(Nxt) =>     < fill in here >.
sem_loop(Nxt,Visited) =>  < fill in here >.

inicio(...).
objetivo(...).
```

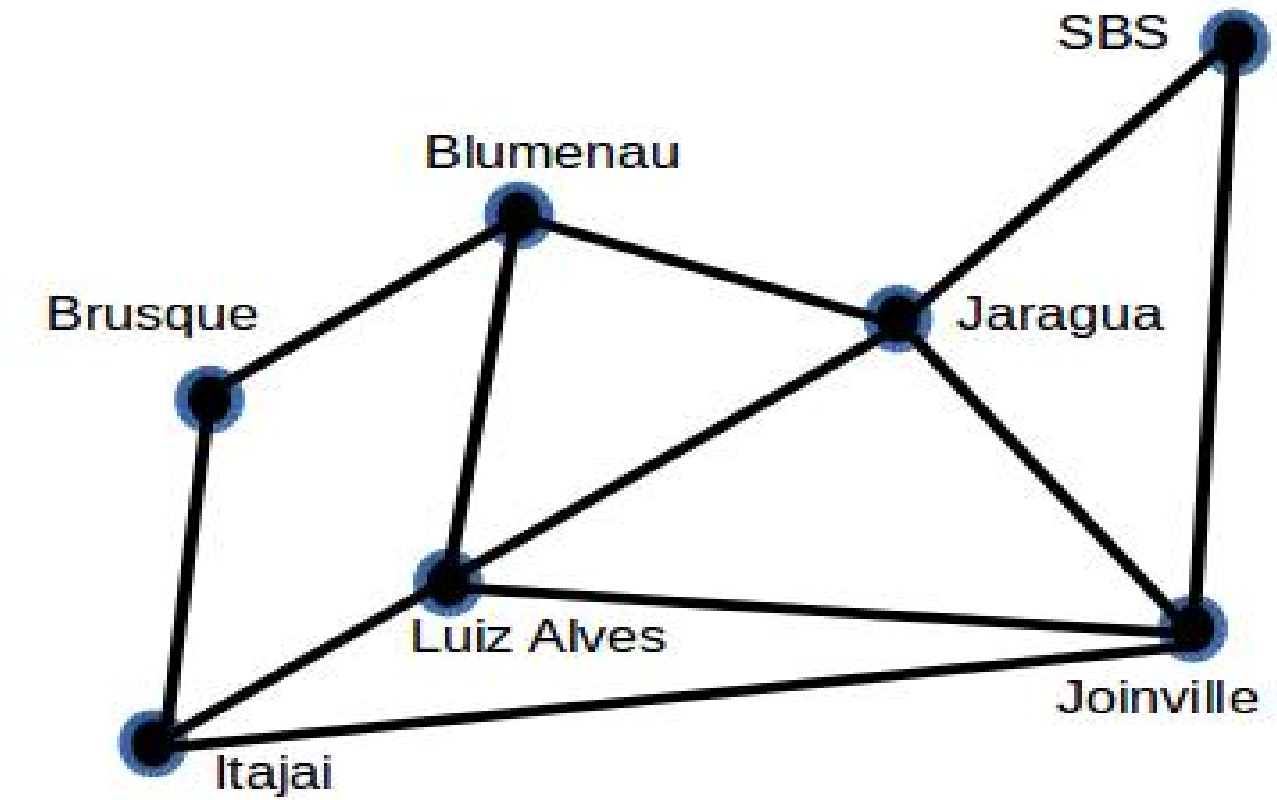
Vamos reescrever este pseudo-código em um problema!

Caminho Hamiltoniano Aplicado



Seja um viajante que sai cedo de Joinville, e chegar a noite em Blumenau, passando por algumas destas cidades uma única vez!

Cidades Escolhidas pelo Viajante



Modelagem do Problema – *O nosso viajante do Vale do Itajaí* I

- Em nosso problema temos 7 cidades pré-escolhidas
- A lista de cidades são:

```
index(-) %% lista de todas cidade do mapa
as_cidades( [ brusque, blumenau, itajai, luiz_alves,
              jaragua, sao_bento, joinville ] ).
```

- Duas cidades em particular:

```
index(-)
destino( blumenau ).

index(-)
origem( joinville ).
```

- As estradas transitáveis entre as cidades definem o nosso mapa, consequentemente um grafo entre cidades:

Modelagem do Problema – *O nosso viajante do Vale do Itajaí* II

```
%% MAPA da região
index(-,-)
arco(joinville, sao_bento)   .
arco(joinville, itajai)      .
arco(joinville, jaragua)      .
arco(joinville, luiz_alves)      .
arco(jaragua, sao_bento)     .
arco(jaragua, blumenau)      .
arco(jaragua, luiz_alves)    .
arco(itajai, luiz_alves)     .
arco(blumenau, luiz_alves)     .
arco(blumenau, itajai)       .
arco(brusque, itajai)        .
arco(brusque, blumenau)      .
```

- As estradas entre as cidades são bidirecionais. Se há estrada para ir da cidade X a cidade Y então na outra direção é verdadeiro. Em regras isto é escrito por:

Modelagem do Problema – *O nosso viajante do Vale do Itajaí* III

```
/* BI-DIRECIONALIDADE DOS ARCOS */
move_no(X,Y) ?=> arco(X,Y).
move_no(X,Y)  => arco(Y,X).
```

- Claro, este problema é pequeno e construindo o grafo dá para constatar que existe mais uma solução para o nosso viajante
- Para resolver este problema vamos utilizar uma **busca em profundidade**
- Esta **busca em profundidade** (do inglês. *depth first search – DFS*), encontra-se inserida no contexto *buscas em geral*, visto anteriormente.

O *Miolo* ou Núcleo da Busca

```
busca_DFS ( [ No_corrente | Caminho] , L_sol) ?=>
      destino(No_final),        %%% condicao de parada 1
      No_corrente == No_final,
      L_sol = [ No_corrente | Caminho ],
      as_cidades(L_Todas_Cidades),    %%% condicao de parada 2
      %% TODAS CIDADES FORAM VISITADAS
      length (L_sol) ==  length(L_Todas_Cidades),
      write(L_sol),
      printf(" \n UMA SOLUCAO ....: OK\n ==>").

busca_DFS (  [NoH | Caminho], Solucao) =>
      %%% explorar um novo movimento ou um novo noh
      move_no(NoH , Novo_NoH),
      %% testar se este novo noh nao foi visitado ainda
      %% ou novo_NOH eh permitido
      not( member(Novo_NoH, [NoH|Caminho]) ),
      busca_DFS(  [Novo_NoH , NoH | Caminho ] , Solucao).
```

O Código Completo

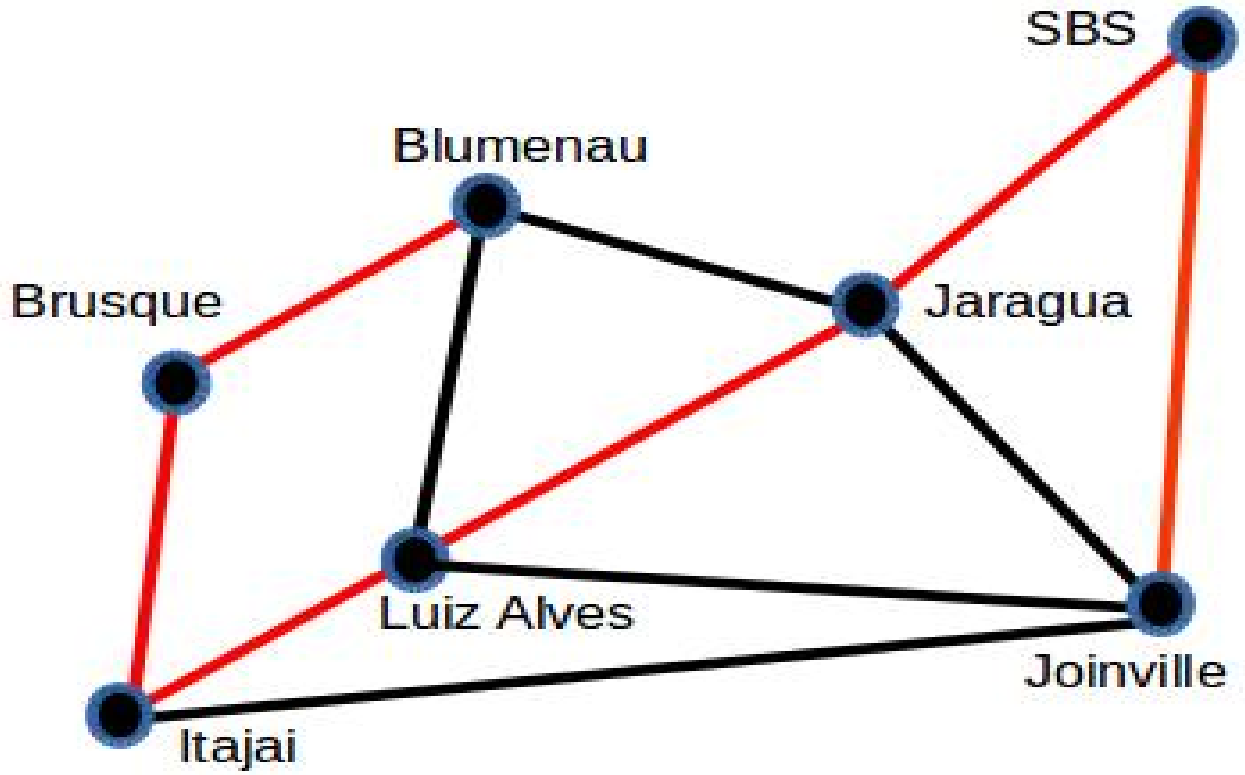
- Acompanhar as explicações do código de: `https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/hamiltoniano_DFS.pi`
- Muitos elementos da linguagem neste código
- Confira a execução

Saída

```
$ picat hamiltoniano_DFS.pi
.............................
[blumenau,brusque,itajai,luiz_alves,jaragua,sao_bento,joinville]
 UMA SOLUCAO ....: OK
 ==>joinville : sao_bento : jaragua : luiz_alves : itajai : brusque
 : blumenau :
 Cidade Inicial: joinville
 Cidade Final: blumenau
 Total de cidades visitadas: 7
 CPU time 0.000000 em SEGUNDOS
 OVERALL PICAT CPU time 0.013000 em SEGUNDOS
 Backtrackings total 0
 ========================================
 [ccs@gerzat picat]$
```

Existe uma função chamada **findall**, cujo valor de retorno é uma lista com todas soluções possíveis de um dado predicado!

Uma Solução



Concluindo Buscas

- A recursividade na modelagem das buscas, define **uma metodologia** de se *programar em lógica* e resolver problemas

Concluindo Buscas

- A recursividade na modelagem das buscas, define **uma metodologia** de se *programar em lógica* e resolver problemas
- A área de buscas é ampla e apresenta muitas variações. Apresentamos nesta seção um **núcleo mágico**, que pode ser utilizado em muitas outras estrategias–métodos de buscas.

Concluindo Buscas

- A recursividade na modelagem das buscas, define **uma metodologia** de se *programar em lógica* e resolver problemas
- A área de buscas é ampla e apresenta muitas variações. Apresentamos nesta seção um **núcleo mágico**, que pode ser utilizado em muitas outras estrategias–métodos de buscas.
- Praticamente todos os métodos de buscas fazem o uso extensivo das **listas** em problemas complexos

Concluindo Buscas

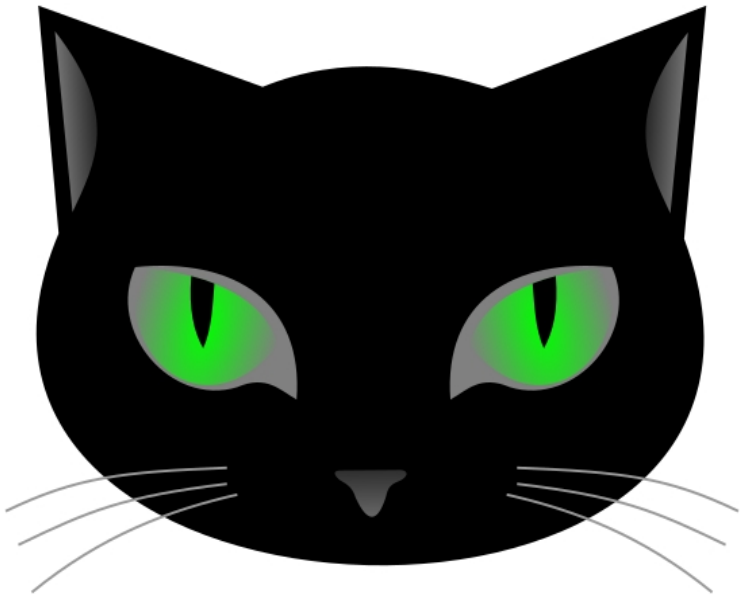
- A recursividade na modelagem das buscas, define **uma metodologia** de se *programar em lógica* e resolver problemas
- A área de buscas é ampla e apresenta muitas variações. Apresentamos nesta seção um **núcleo mágico**, que pode ser utilizado em muitas outras estrategias–métodos de buscas.
- Praticamente todos os métodos de buscas fazem o uso extensivo das **listas** em problemas complexos
- Aos problemas complexos, há outras técnicas de programação para resolvê-los.

Concluindo Buscas

- A recursividade na modelagem das buscas, define **uma metodologia** de se *programar em lógica* e resolver problemas
- A área de buscas é ampla e apresenta muitas variações. Apresentamos nesta seção um **núcleo mágico**, que pode ser utilizado em muitas outras estrategias–métodos de buscas.
- Praticamente todos os métodos de buscas fazem o uso extensivo das **listas** em problemas complexos
- Aos problemas complexos, há outras técnicas de programação para resolvê-los.
- Assunto das próximas seções: PD, Planejamento e PR

Programação Dinâmica

- O que é a PD?
- Características
- Importância
- Exemplo



- A recursão embora elegante, esta é ineficiente. Ver a árvore de expansão de Fibonacci.

Programação Dinâmica (PD) – I

- A recursão embora elegante, esta é ineficiente. Ver a árvore de expansão de Fibonacci.
- Uma poderosa *técnica de programação* que contorna a complexidade de certos problemas exponenciais

- A recursão embora elegante, esta é ineficiente. Ver a árvore de expansão de Fibonacci.
- Uma poderosa *técnica de programação* que contorna a complexidade de certos problemas exponenciais
- O problema **deve** apresentar uma **regra de recorrência**, a qual torna-se uma estratégia para se **armazenar sequencialmente** resultados temporários/intermediários

Programação Dinâmica (PD) – I

- A recursão embora elegante, esta é ineficiente. Ver a árvore de expansão de Fibonacci.
- Uma poderosa *técnica de programação* que contorna a complexidade de certos problemas exponenciais
- O problema **deve** apresentar uma **regra de recorrência**, a qual torna-se uma estratégia para se **armazenar sequencialmente** resultados temporários/intermediários
- Estes cálculos de *instâncias menores* são armazenados numa **tabela dinâmica**

Programação Dinâmica (PD) – I

- A recursão embora elegante, esta é ineficiente. Ver a árvore de expansão de Fibonacci.
- Uma poderosa *técnica de programação* que contorna a complexidade de certos problemas exponenciais
- O problema **deve** apresentar uma **regra de recorrência**, a qual torna-se uma estratégia para se **armazenar sequencialmente** resultados temporários/intermediários
- Estes cálculos de *instâncias menores* são armazenados numa **tabela dinâmica**
- Esta *técnica de programação* utiliza uma *tabela dinâmica* nos cálculos intermediários, evitando a repetição do que já foi calculado anteriormente, é conhecida como: Programação Dinâmica, ou simplesmente: **PD**

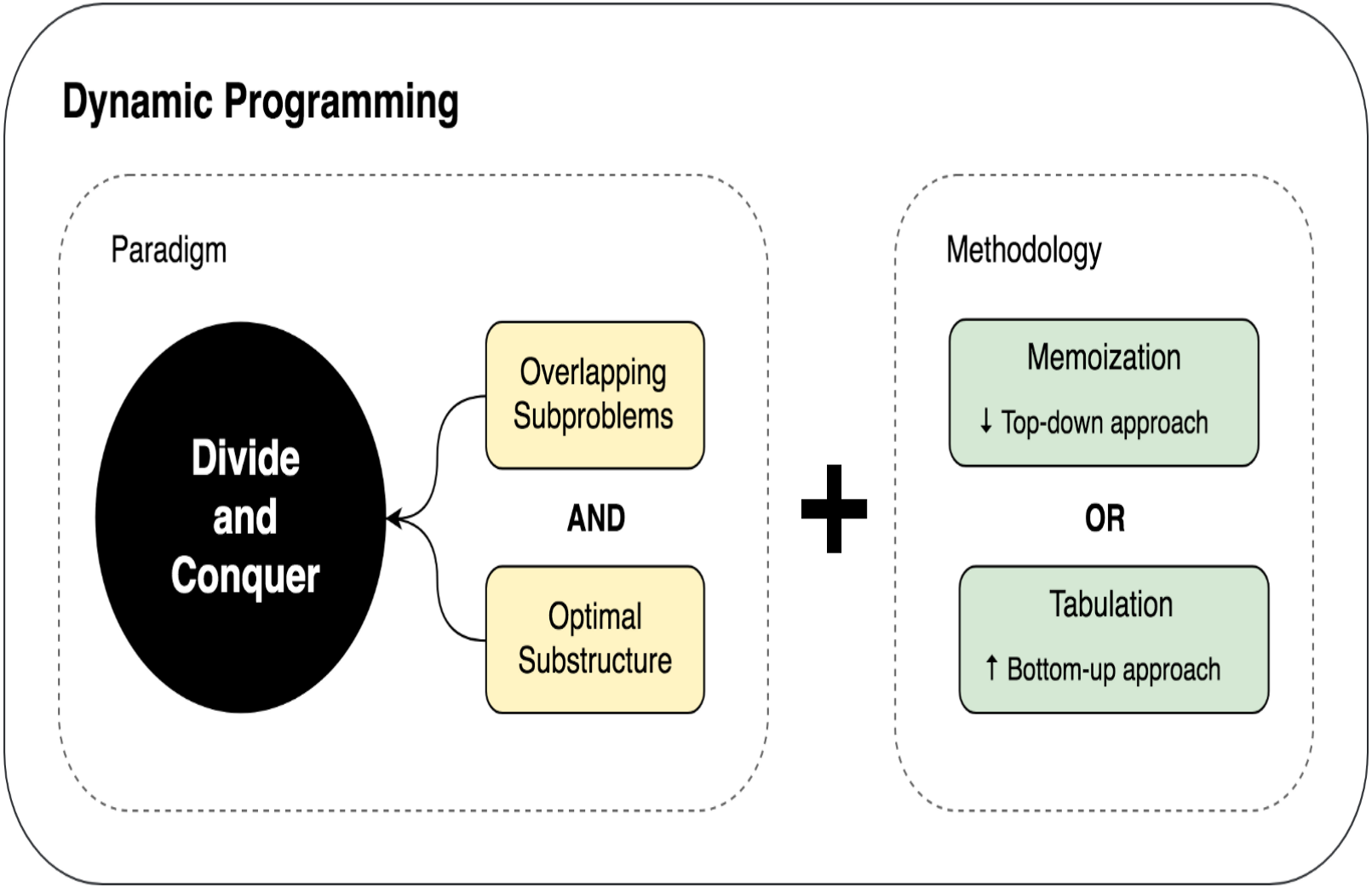


Figura 7: Conceitos da Programação Dinâmica – (PD) – Resumos

Requisitos para PD:

Requisitos para PD:

- **Subestrutura ótima**: um cálculo incremental, tal que os melhores sejam encontrados e armazenados para posterior reuso.
  Exemplo:
  1. $fat(0) = 1$
  2. $fat(1) = 1$

  Estes são os melhores resultados até então, pois o problema apresenta em seu interior soluções ótimas para subproblemas.

- **Sobreposição de problemas menores (subproblemas)**: de modo recorrente, possamos construir uma tabela para armazenar as soluções dos subproblemas, afim de evitar que elas sejam recalculadas.
  Exemplo:
  $fat(7) \rightarrow fat(6) \rightarrow ...fat(0)$ (*top-down*)
  $fat(0) \rightarrow fat(1) \rightarrow ...fat(7)$ (*botton-up*)
  onde esta sobreposição é descrita por:
  $fat(N) = N.fat(N-1)$

Aproximadamente, a PD é uma recursão apoiada por uma tabela de cálculos intermediários

Dica: `https://www.ime.usp.br/~pf/analise_de_algoritmos/aulas/dynamic-programming.html`

Programação Dinâmica (PD) – V

- Como Picat usa a recursão, na programação em lógica, nada mais natural do que esta ter a PD disponível

Programação Dinâmica (PD) – V

- Como Picat usa a recursão, na programação em lógica, nada mais natural do que esta ter a PD disponível
- O comando que cria uma tabela para um determinado predicado é o ***table***

Programação Dinâmica (PD) – V

- Como Picat usa a recursão, na programação em lógica, nada mais natural do que esta ter a PD disponível
- O comando que cria uma tabela para um determinado predicado é o ***table***
- O *table* é um dos elementos fortes do planejador do Picat (módulo *planner*)

Programação Dinâmica (PD) – V

- Como Picat usa a recursão, na programação em lógica, nada mais natural do que esta ter a PD disponível
- O comando que cria uma tabela para um determinado predicado é o ***table***
- O *table* é um dos elementos fortes do planejador do Picat (módulo *planner*)
- Assim a PD, faz a complexidade ser espacial devido o uso de memória em seus cálculos intermediários

Programação Dinâmica (PD) – V

- Como Picat usa a recursão, na programação em lógica, nada mais natural do que esta ter a PD disponível
- O comando que cria uma tabela para um determinado predicado é o ***table***
- O *table* é um dos elementos fortes do planejador do Picat (módulo *planner*)
- Assim a PD, faz a complexidade ser espacial devido o uso de memória em seus cálculos intermediários
- O exemplo escolhido para ilustrar a PD em Picat, veio do texto *Modeling and Solving AI Problems in Picat*, de Roman Barták e Neng-Fa

Exemplo de Uso da Programação Dinâmica – (PD)

- Seja o binômio $(x + y)^n$, conhecido como *Binômio de Newton*

Exemplo de Uso da Programação Dinâmica – (PD)

- Seja o binômio $(x+y)^n$, conhecido como *Binômio de Newton*
- Casos particulares são:
- $(x+y)^0 = 1$
- $(x+y)^1 = x+y$
- $(x+y)^2 = x^2 + 2xy + y^2$

Exemplo de Uso da Programação Dinâmica – (PD)

- Seja o binômio $(x+y)^n$, conhecido como *Binômio de Newton*
- Casos particulares são:
- $(x+y)^0 = 1$
- $(x+y)^1 = x+y$
- $(x+y)^2 = x^2 + 2xy + y^2$
- $(x+y)^2 = x^2y^0 + 2x^1y^1 + x^0y^2$
- $(x+y)^3 = x^3y^0 + 3x^2y^1 + 3x^1y^2 + x^0y^3$
- $(x+y)^4 = x^4y^0 + 4x^3y^1 + 6x^2y^2 + 4x^1y^3 + x^0y^4$.
- .....

Exemplo de Uso da Programação Dinâmica – (PD)

- Seja o binômio $(x+y)^n$, conhecido como *Binômio de Newton*
- Casos particulares são:
- $(x+y)^0 = 1$
- $(x+y)^1 = x+y$
- $(x+y)^2 = x^2 + 2xy + y^2$
- $(x+y)^2 = x^2y^0 + 2x^1y^1 + x^0y^2$
- $(x+y)^3 = x^3y^0 + 3x^2y^1 + 3x^1y^2 + x^0y^3$
- $(x+y)^4 = x^4y^0 + 4x^3y^1 + 6x^2y^2 + 4x^1y^3 + x^0y^4$.
- .....
- Como obter estes coeficientes polinômios?

Exemplo de Uso da Programação Dinâmica – (PD)

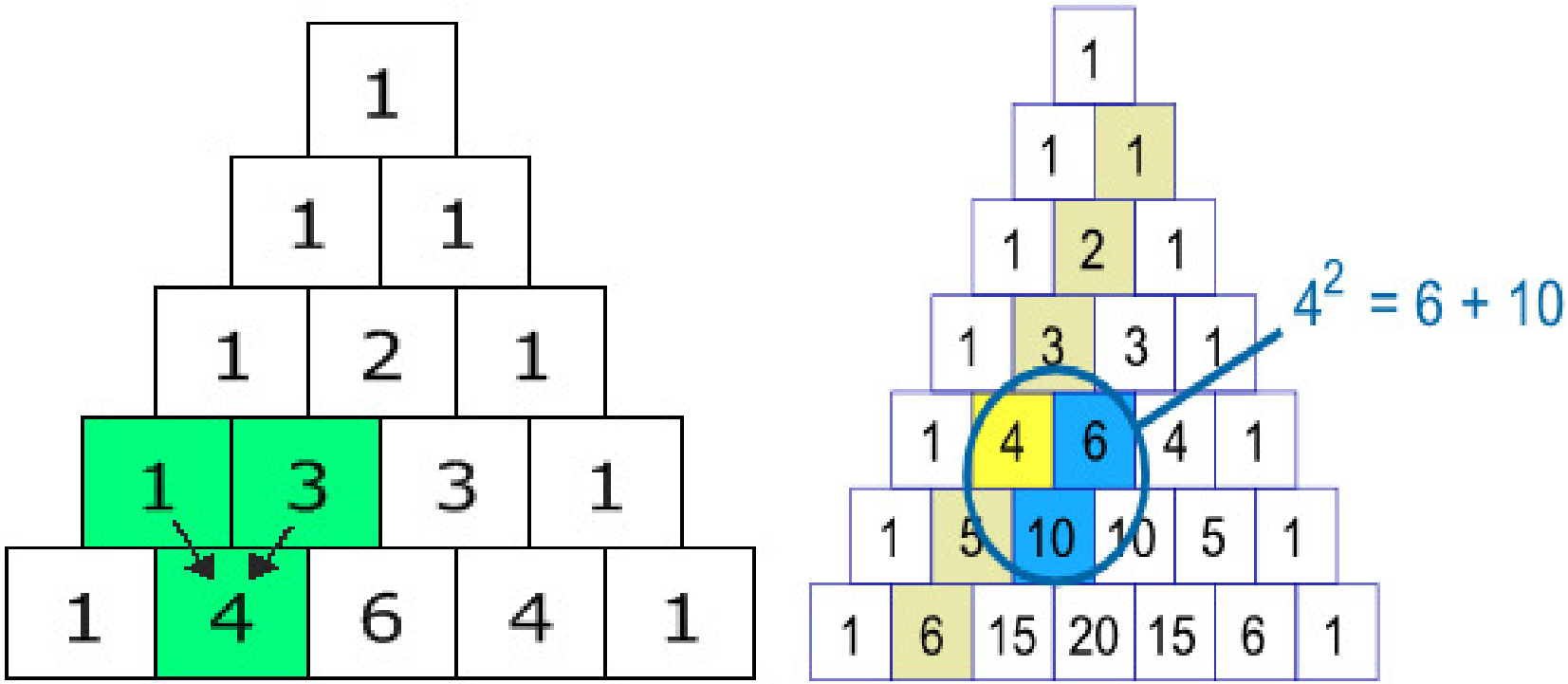


Figura 8: O triângulo de Pascal – suas propriedades

Exemplo de Uso da Programação Dinâmica – (PD)

A Triangulo de Pascal

N	p 0	1	2	3	4	5	6
0	$\binom{0}{0}$						
1	$\binom{1}{0}$	$\binom{1}{1}$					
2	$\binom{2}{0}$	$\binom{2}{1}$	$\binom{2}{2}$				
3	$\binom{3}{0}$	$\binom{3}{1}$	$\binom{3}{2}$	$\binom{3}{3}$			
4	$\binom{4}{0}$	$\binom{4}{1}$	$\binom{4}{2}$	$\binom{4}{3}$	$\binom{4}{4}$		
5	$\binom{5}{0}$	$\binom{5}{1}$	$\binom{5}{2}$	$\binom{5}{3}$	$\binom{5}{4}$	$\binom{5}{5}$	
6	$\binom{6}{0}$	$\binom{6}{1}$	$\binom{6}{2}$	$\binom{6}{3}$	$\binom{6}{4}$	$\binom{6}{5}$	$\binom{6}{6}$

1						
1	1					
1	2	1				
1	3	3	1			
1	4	6	4	1		
1	5	10	10	5	1	
1	6	15	20	15	6	1

Figura 9: O triângulo de Pascal – Coeficientes Binomiais

Volte a Stiffel: 194

- O *coeficiente binomial*, também chamado de *número binomial*, de um número n, na classe k, consiste no número de combinações de n termos, k a k.

- O *coeficiente binomial*, também chamado de *número binomial*, de um número n, na classe k, consiste no número de combinações de n termos, k a k.
- O número binomial de um número n, na classe k, pode ser escrito como:

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} = \frac{n(n-1)(n-2)\cdots(n-k+1)}{k!}$$

- Alternativa ao cálculo do fatorial, tem-se a relação de Stiffel:

$$\binom{n}{k} = \binom{n-1}{k-1} + \binom{n-1}{k}$$

- Alternativa ao cálculo do fatorial, tem-se a relação de Stiffel:

$$\binom{n}{k} = \binom{n-1}{k-1} + \binom{n-1}{k}$$

- O coeficiente binomial é muito utilizado no Triângulo de Pascal, onde o termo na linha n e coluna k é dado por: $\binom{n-1}{k-1}$

- Alternativa ao cálculo do fatorial, tem-se a relação de Stiffel:

$$\binom{n}{k} = \binom{n-1}{k-1} + \binom{n-1}{k}$$

- O coeficiente binomial é muito utilizado no Triângulo de Pascal, onde o termo na linha n e coluna k é dado por: $\binom{n-1}{k-1}$
- Complementado a relação de Stiffel, tem-se ainda:
  - $\binom{n}{0} = 1$ com $k = 0$
  - $\binom{n}{n} = 1$ com $k = n$
- Veja o triângulo novamente: 192

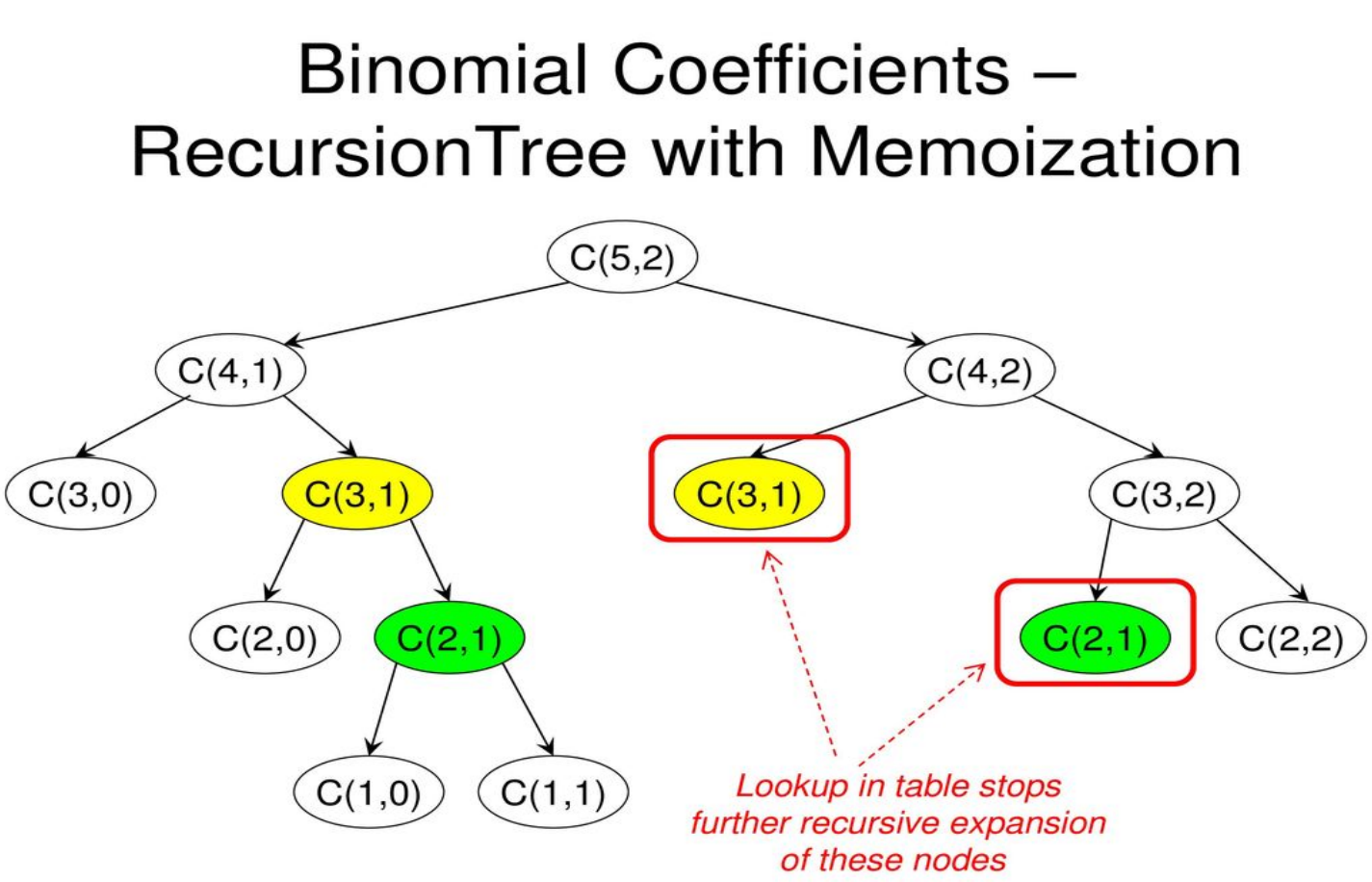


Figura 10: A árvore expandida de busca – *memoization*

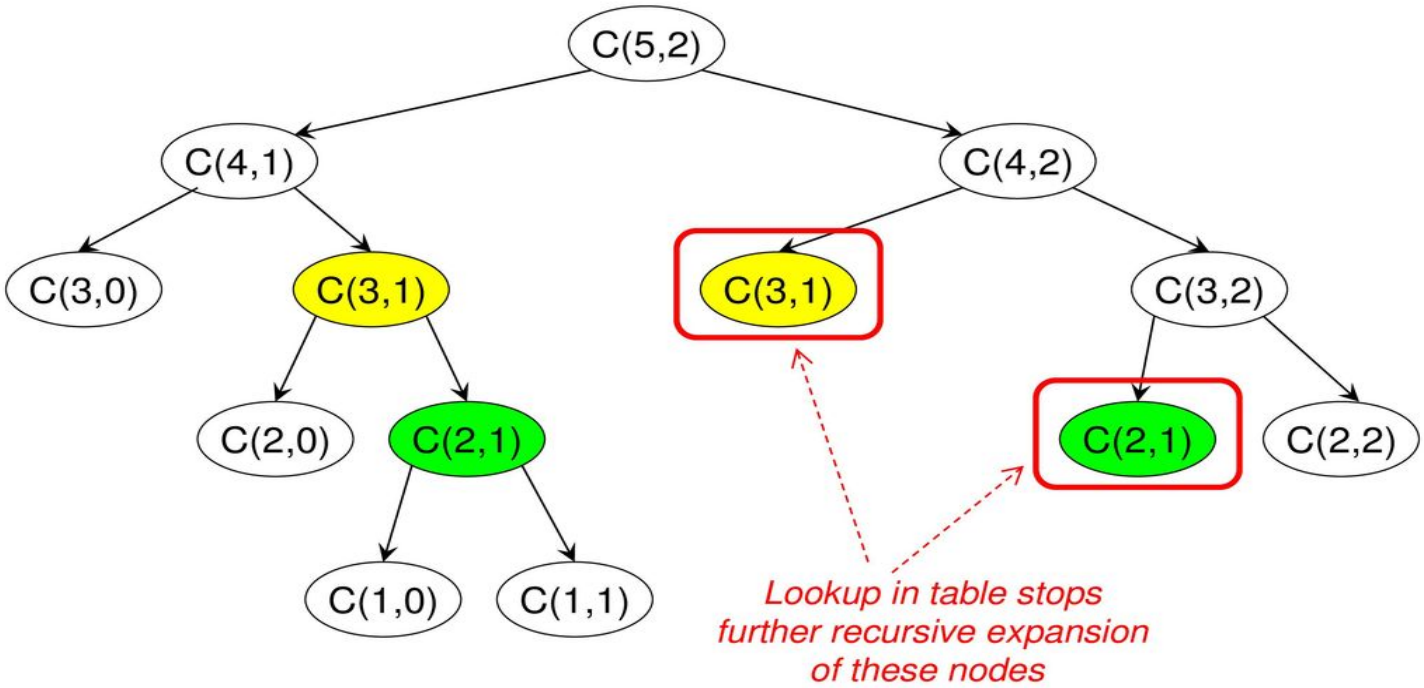


Figura 10: A árvore expandida de busca – *memoization*

A fórmula de Stiffel é recorrente e diretamente escrita em Picat.

Código em Partes

```
import datetime.   %%% para o statistics
import util.

table
c(_, 0) = 1.
c(N, N) = 1.
c(N,K) = c(N-1, K-1) + c(N-1, K).
```

- Relembrando: $\binom{n}{k} = \binom{n-1}{k-1} + \binom{n-1}{k}$
- Esta fórmula é semelhante com a sequência de Fibonacci, vista na seção de recursividade, mas aqui temos 2 argumentos em `c(N,K)`

Código em Partes

```
main  ?=>
    statistics(runtime,_), % faz uma marca do 1o. statistics
    N = 10, %% ateh uns 30 ... são números grandes ... fatorial
     foreach(I in 0  .. N)
        foreach(J in 0  ..  I)
             printf("  %d", c(I,J))
         end,
        printf(" \n"),
      end,
    statistics(runtime, [T_Picat_ON, T_final]),
    T = (T_final) / 1000.0, %%% está em milisegundos
    printf("\n CPU time %f em SEGUNDOS ", T),
    printf("\n OVERALL PICAT CPU time %f em SEGUNDOS ", T_Picat_ON/1000
    printf(" \n ========================================\n ")
    %%% , fail descomente para multiplas solucoes
    .
main => printf("\n Para uma solução .... !!!!" ) .
```

Código Completo

- Acompanhar as explicações do código de: `https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/coeficiente_binomial_PD.pi`
- Confira a execução

Saída

```
[ccs@gerzat picat]$ picat coeficiente_binomial_PD.pi
  1
  1   1
  1   2   1
  1   3   3   1
  1   4   6   4   1
  1   5   10   10   5   1
  1   6   15   20   15   6   1
  1   7   21   35   35   21   7   1
  1   8   28   56   70   56   28   8   1
  1   9   36   84   126   126   84   36   9   1
  1   10   45   120   210   252   210   120   45   10   1

 CPU time 0.000000 em SEGUNDOS
 OVERALL PICAT CPU time 0.009000 em SEGUNDOS
 ========================================
```

Reflexões sobre PD

- Há outros métodos para se resolver estes problemas

Reflexões sobre PD

- Há outros métodos para se resolver estes problemas
- O comando *table* é a base do módulo *planner*, usado para resolver problemas de planejamento

Reflexões sobre PD

- Há outros métodos para se resolver estes problemas
- O comando *table* é a base do módulo *planner*, usado para resolver problemas de planejamento
- A PD é uma estratégia de programação bem poderosa

Reflexões sobre PD

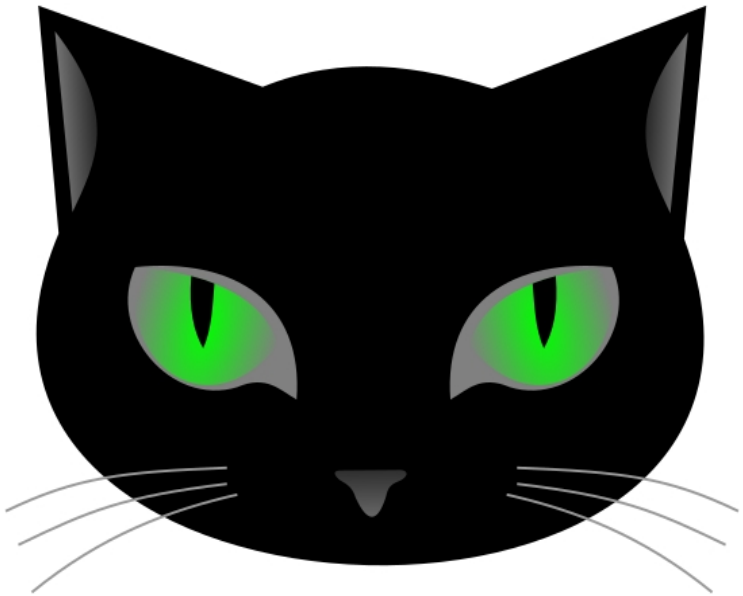
- Há outros métodos para se resolver estes problemas
- O comando *table* é a base do módulo *planner*, usado para resolver problemas de planejamento
- A PD é uma estratégia de programação bem poderosa
- Uso: sub-sequência máxima, menor distância entre 2 pontos num grafo, problema da mochila, soma de sub-conjuntos etc

Reflexões sobre PD

- Há outros métodos para se resolver estes problemas
- O comando *table* é a base do módulo *planner*, usado para resolver problemas de planejamento
- A PD é uma estratégia de programação bem poderosa
- Uso: sub-sequência máxima, menor distância entre 2 pontos num grafo, problema da mochila, soma de sub-conjuntos etc
- Assunto das próximas seções: Planejamento e PR

Planejamento

- O que é Planejamento?
- Importância da área
- Muitas definições
- Exemplo



Planejamento

- Requisitos: recursividade, listas e PD

Planejamento

- Requisitos: recursividade, listas e PD
- Além destes: conceitos grafos, árvores de busca, nós, etc

Planejamento

- Requisitos: recursividade, listas e PD
- Além destes: conceitos grafos, árvores de busca, nós, etc
- *Planejamento* é um **termo amplo e em vários domínios**

Planejamento

- Requisitos: recursividade, listas e PD
- Além destes: conceitos grafos, árvores de busca, nós, etc
- *Planejamento* é um **termo amplo e em vários domínios**
- O que **não** é o nosso contexto de *planejamento*?
  Exemplo: planejamento estratégico das empresas, planejar como distribuir os dividendos da empresa, orçamento familiar, etc

Planejamento

- Requisitos: recursividade, listas e PD
- Além destes: conceitos grafos, árvores de busca, nós, etc
- *Planejamento* é um **termo amplo e em vários domínios**
- O que **não** é o nosso contexto de *planejamento*?
  Exemplo: planejamento estratégico das empresas, planejar como distribuir os dividendos da empresa, orçamento familiar, etc
- O que é o nosso contexto de *planejamento*?

Planejamento

- Requisitos: recursividade, listas e PD
- Além destes: conceitos grafos, árvores de busca, nós, etc
- *Planejamento* é um **termo amplo e em vários domínios**
- O que **não** é o nosso contexto de *planejamento*?
  Exemplo: planejamento estratégico das empresas, planejar como distribuir os dividendos da empresa, orçamento familiar, etc
- O que é o nosso contexto de *planejamento*? Questões que envolvam um ambiente, um agente (um programa, um robô, etc), sensores, e ações que modifiquem estados.
  Exemplo clássico: robótica em geral

- Problemas em geral necessitam de um **plano** para serem solucionados, assim, há uma visão que encontrar um plano para um problema $\Rightarrow$ ter uma solução!

- Problemas em geral necessitam de um **plano** para serem solucionados, assim, há uma visão que encontrar um plano para um problema $\Rightarrow$ ter uma solução!
- Em resumo, a área de planejamento é bem complexa, antiga na área da IA e robótica (1970 – STRIPS), efervescente, e de muito interesse na indústria.

- Problemas em geral necessitam de um **plano** para serem solucionados, assim, há uma visão que encontrar um plano para um problema $\Rightarrow$ ter uma solução!
- Em resumo, a área de planejamento é bem complexa, antiga na área da IA e robótica (1970 – STRIPS), efervescente, e de muito interesse na indústria.
- Várias abordagens sobre a visão clássica da IA. Mas temos evoluções significativas ...

- Problemas em geral necessitam de um **plano** para serem solucionados, assim, há uma visão que encontrar um plano para um problema $\Rightarrow$ ter uma solução!
- Em resumo, a área de planejamento é bem complexa, antiga na área da IA e robótica (1970 – STRIPS), efervescente, e de muito interesse na indústria.
- Várias abordagens sobre a visão clássica da IA. Mas temos evoluções significativas ...
- PDDL (*Planning Domain Definition Language*): unanimidade (ou próxima a esta) entre os pesquisadores de planejamento, como linguagem descritora de problemas de planejamento.

- Problemas em geral necessitam de um **plano** para serem solucionados, assim, há uma visão que encontrar um plano para um problema $\Rightarrow$ ter uma solução!
- Em resumo, a área de planejamento é bem complexa, antiga na área da IA e robótica (1970 – STRIPS), efervescente, e de muito interesse na indústria.
- Várias abordagens sobre a visão clássica da IA. Mas temos evoluções significativas ...
- PDDL (*Planning Domain Definition Language*): unanimidade (ou próxima a esta) entre os pesquisadores de planejamento, como linguagem descritora de problemas de planejamento.
- Vários problemas ainda sem solução, pois a complexidade é exponencial

Definições

- Plano: seqüência ordenada de ações

Definições

- Plano: seqüência ordenada de ações
  - problema: escalar o Everest, comprar um abacate, leite e uma furadeira (nesta ordem)

- Plano: seqüência ordenada de ações
  - problema: escalar o Everest, comprar um abacate, leite e uma furadeira (nesta ordem)
  - plano: ir ao supermercado, ir à seção de frutas, pegar as bananas, ir à seção de leite, pegar uma caixa de leite, ir ao caixa, pagar tudo, ir a uma loja de ferramentas, ..., voltar para casa.

Definições

- Plano: seqüência ordenada de ações
  - problema: escalar o Everest, comprar um abacate, leite e uma furadeira (nesta ordem)
  - plano: ir ao supermercado, ir à seção de frutas, pegar as bananas, ir à seção de leite, pegar uma caixa de leite, ir ao caixa, pagar tudo, ir a uma loja de ferramentas, ..., voltar para casa.
- Um Planejador: Combina conhecimento de um ambiente, um agente e suas ações possíveis, entradas (luz, cor, cheiro, sensor, etc), um estado corrente e/ou inicial, e com isto resolve de problemas planejar sequência de ações, que mudam de estados a cada ação, até atingir um estado final.

Exemplos do que é planejamento ...

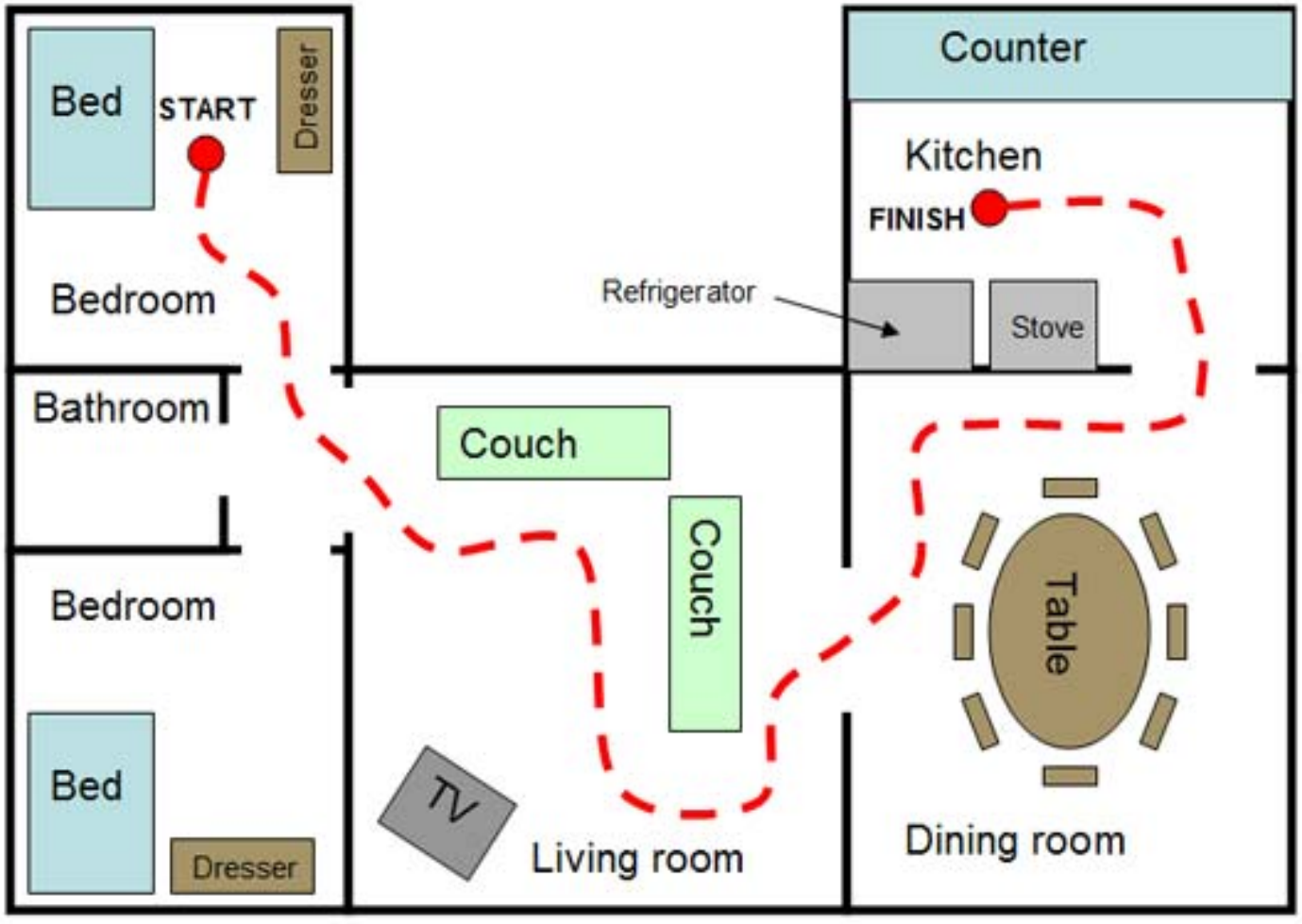


Figura 11: *A fome no meio da noite!*

Exemplos do que é planejamento ...

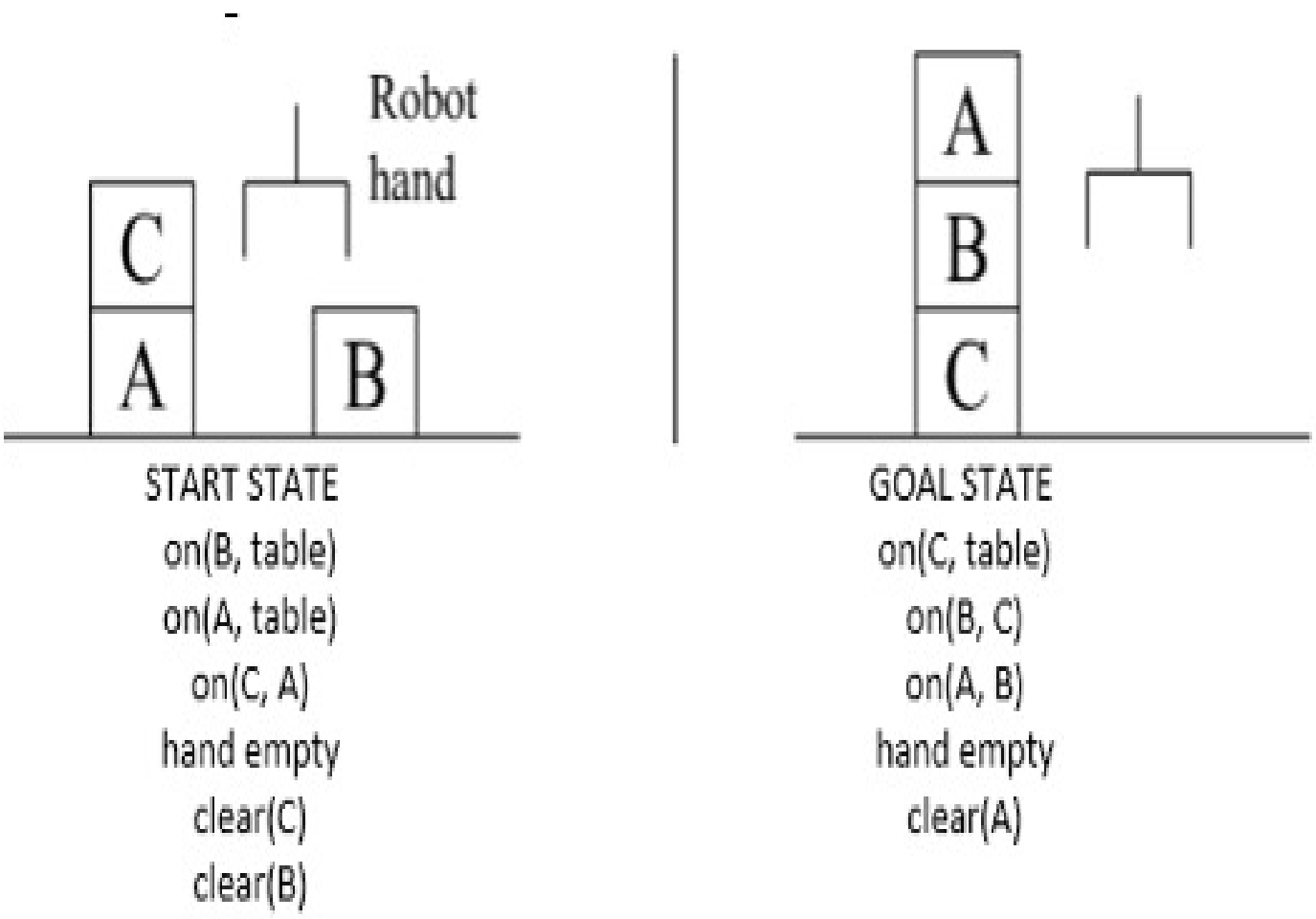


Figura 12: O *mundo dos blocos*

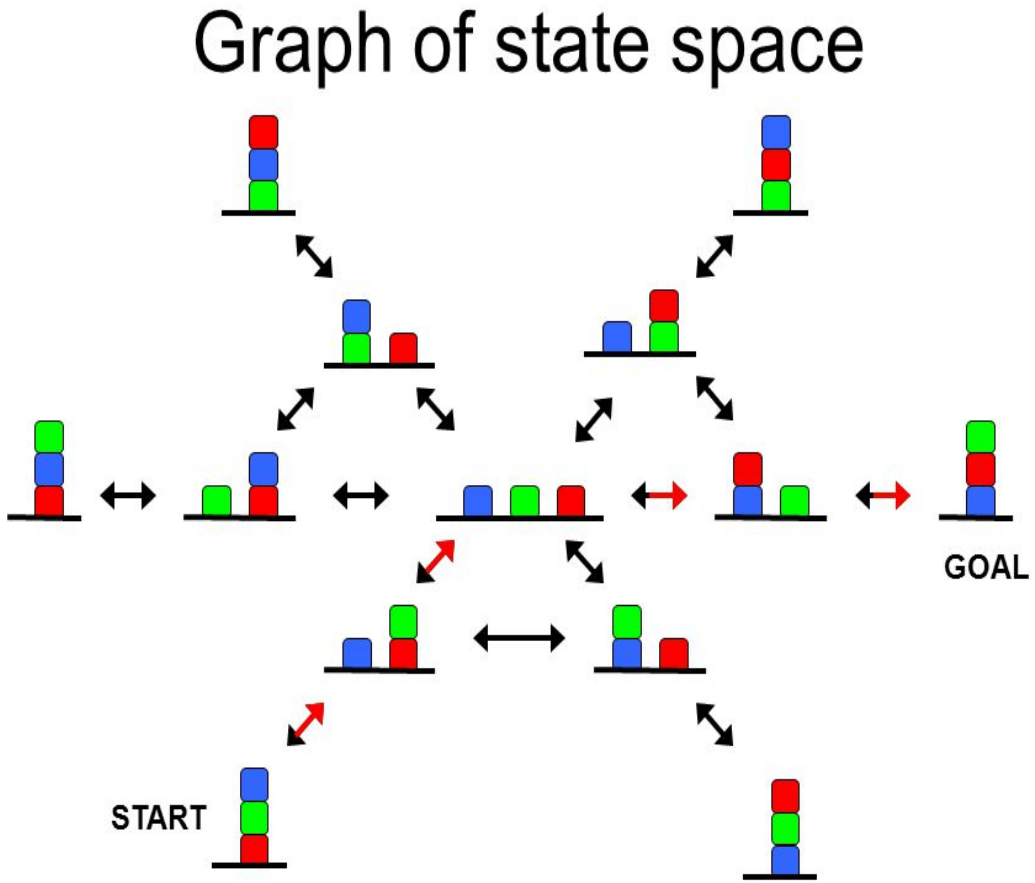


Figura 13: O espaço de estados do *mundo dos blocos* × ações

Elementos de um Planejador – Vocabulário I

- Plano: uma sequência ordenada de ações, criada incrementalmente a partir do estado inicial
  Ex. posições das peças de um jogo

$$S_1 < S_2 < ... < S_n$$

- Ambiente: onde um programa–agente vai receber entradas em um determinado estado e atuar com uma ação apropriada
- Estados: descrição completa de possíveis estados atingíveis
  Problema: quanto aos estados não-previstos, inacessíveis?
- Estado inicial: um estado particular onde nosso programa–agente inicia a sua busca
- Objetivos: estados desejados que o programa–agente precisa alcançar, isto é, um dos *estados finais* desejados

Elementos de um Planejador – Vocabulário II

- Percepções: cheiro, brisa, luz, choque, som, posições ou coordenadas, vizinhanças, etc
- Ações: provocam modificações entre os estados corrente e sucessor
  Exemplos: avançar para próxima célula, girar 90 graus à direita ou à esquerda pegar um objeto, atirar na direção do alvo, etc
- Operadores: vocabulário ou repertório de atuações atômicas do que o agente pode fazer.
  Exemplos: $pegar(X)$, $mover\_de(X, Y)$, $levantar(X)$, $livre(X)$, etc
- Uma eventual confusão: **uma ação é um conjunto de um ou mais operadores**, e ainda, **a ação é condicional**. A ação só é disparada se as condições de pré-requisitos forem satisfeitas.

Elementos de um Planejador – Vocabulário III

- Heurística: alguma função que indica o progresso sobre os estados não visitados e sua convergência para uma finalização do plano

Figura 14: Um quebra-cabeça (2×3 ou 3×2) *simplificado* do conhecido 3×3

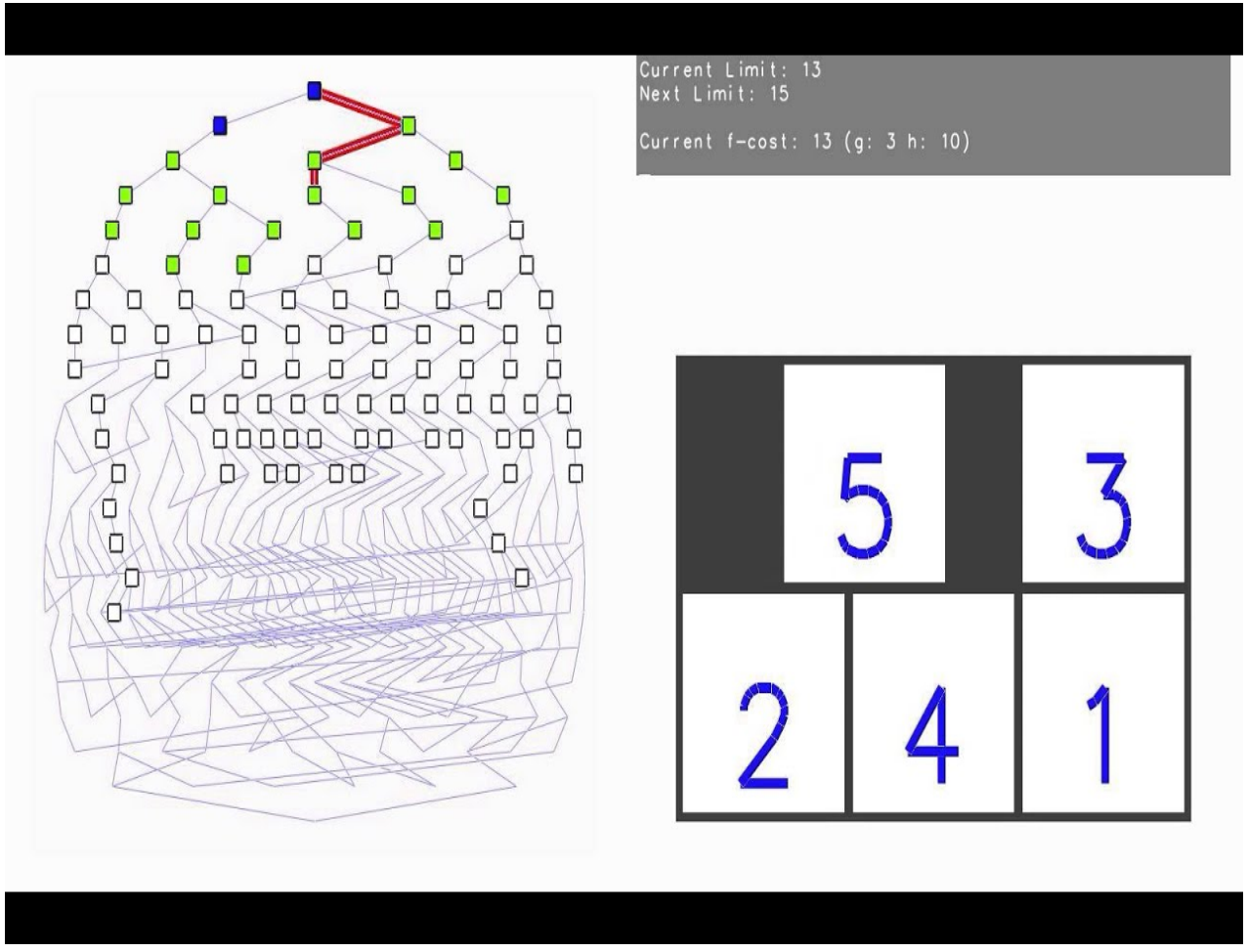


Figura 15: Sim, *simplificado* mas não muito!

Partes do código comentado I

```
/*
A  B  C
D  E  F
*/

%%%%%%%%
%   1 5 %
% 4 3 2 %
%%%%%%%%

import datetime.
import planner.
```

Atenção quanto a modelagem do problema, as 3 primeiras posicões da lista correspondem a linha superior (A .. C), e as 3 últimas, a linha inferior (D .. F).

Partes do código comentado II

```
index(-)
estado_inicial( [0,1,5,4,3,2]  ).
%%%%%%%%%%%%%==> A,B,C,D,E,F

%% funcao final do planner
final( [1,2,3,4,5,0] ) => true .
%%%%==> A,B,C,D,E,F
%% pode ter uma condicional de parada
```

Partes do código comentado III

```
% Up <-> Down
/* Descrevendo as possiveis acoes para o planner */
action([A,B,C, D,E,F], S1, Acao, Custo_Acao ) ?=>
    Custo_Acao = 1,
    ( A == 0 ),  %% conj. condicoes
    S1 = [D,B,C, 0,E,F],
    Acao = ($up(D),S1). %%a acao + estado modificado

action([A,B,C, D,E,F], S1, Acao, Custo_Acao ) ?=>
    Custo_Acao = 1,
    (A == 0 ),  %% conj. condicoes
    S1 = [0,B,C, A,E,F],
    Acao = ($dow(A),S1). %%a acao + estado modificado
.....................................................
```

Partes do código comentado IV

```
% Left <-> Right
action([A,B,C, D,E,F], S1, Acao, Custo_Acao ) ?=>
    Custo_Acao = 1,
    (A == 0),  %% conj. condicoes
    S1 = [B,0,C, D,E,F],
    Acao = ($left(B), S1). %%a acao + estado modificado

action([A,B,C, D,E,F], S1, Acao, Custo_Acao ) ?=>
    Custo_Acao = 1,
    (B == 0),  %% conj. condicoes
    S1 = [0,A,C, D,E,F],
    Acao = ($right(A), S1). %%a acao + estado modificado
.....................................................
```

Partes do código comentado V

```
main  ?=>
    estado_inicial( Q ),
    best_plan_unbounded( Q , Sol_Acoes),
    println(sol = Sol_Acoes),

    printf("\n Estado Inicial: "),
    w_Quadro( Q ),
    w_L_Estado( Sol_Acoes ),
    Total := length(Sol_Acoes) ,
    Num_Movts := (Total -1) ,
    printf("\n Inicial  (estado): %w ", Q),
    printf("\n Total de acoes: %d", Total),
    printf(" \n ========================================\n ")
    %%% fail ou false: descomente para multiplas solucoes
    .
 main => printf("\n Para uma solução .... !!!!" ) .
```

O código

- Acompanhar as explicações do código de: `https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/puzzle_2x3_planner.pi`
- Confira a execução

Parte da Saída I

```
[ccs@gerzat picat]$ picat puzzle_2x3_planner.pi
sol = [(left(1),[1,0,5,4,3,2]),(left(5),[1,5,0,4,3,2]),
(up(2),[1,5,2,4,3,0]),(right(3),[1,5,2,4,0,3]),(dow(5),[1,0,2,4,5,3]),
(left(2),[1,2,0,4,5,3]),(up(3),[1,2,3,4,5,0])]

 Estado Inicial:
 0 1 5
 4 3 2

Acao: left(1)
 1 0 5
 4 3 2

Acao: left(5)
 1 5 0
 4 3 2
```

Parte da Saída II

```
.................................
Acao: left(2)
 1 2 0
 4 5 3

Acao: up(3)
 1 2 3
 4 5 0

 Inicial  (estado): [0,1,5,4,3,2]
 Total de acoes: 7
 ========================================
```

O módulo do *planner* do Picat

- O que efetivamente voce precisa saber

O módulo do *planner* do Picat

- O que efetivamente voce precisa saber
- Importar um módulo
  `import planner.`

O módulo do *planner* do Picat

- O que efetivamente voce precisa saber
- Importar um módulo
  `import planner.`
- O predicado: *final*

```
final(S,Plan,Cost) => Plan=[], Cost=0, final(S).
```

O módulo do *planner* do Picat

- O que efetivamente voce precisa saber
- Importar um módulo
  `import planner.`
- O predicado: *final*
  `final(S,Plan,Cost) => Plan=[], Cost=0, final(S).`
- O predicado *action*
  `action(S,NextS,Action,ActionCost)`

O módulo do *planner* do Picat

- A **eficiência** do planner do Picat se dá devido a sua combinação de técnicas: busca em profundidade (e variações) e Programação Dinâmica (PD) (uso do *tabling*)

O módulo do *planner* do Picat

- A **eficiência** do planner do Picat se dá devido a sua combinação de técnicas: busca em profundidade (e variações) e Programação Dinâmica (PD) (uso do *tabling*)
- O núcleo de busca dos planejadores disponíveis no Picat são de 2 tipos:
  1. Usam um busca em profundidade com limites (*Depth-Bounded Search*)
  2. Usam um busca em profundidade ilimitada de recursos (*Depth-Unbounded Search*)
- Contudo, estes 2 tipos apresentam muitas variações e opções:

O módulo do *planner* do Picat

- A **eficiência** do planner do Picat se dá devido a sua combinação de técnicas: busca em profundidade (e variações) e Programação Dinâmica (PD) (uso do *tabling*)
- O núcleo de busca dos planejadores disponíveis no Picat são de 2 tipos:
  1. Usam um busca em profundidade com limites (*Depth-Bounded Search*)
  2. Usam um busca em profundidade ilimitada de recursos (*Depth-Unbounded Search*)
- Contudo, estes 2 tipos apresentam muitas variações e opções: Sem escapatória $\Rightarrow$ consultar o manual do Picat (*User Guide to Picat*)
- No exemplo aqui apresentado:
  `best_plan_unbounded(S,Plan)`

- Planejamento resolve uma classe ampla de problemas
  Havendo necessidade de **descobrir sequências ações** $\Leftrightarrow$ Planejamento

Reflexões

- Planejamento resolve uma classe ampla de problemas
  Havendo necessidade de **descobrir sequências ações** $\Leftrightarrow$ Planejamento
- Em geral, estes problemas são importantes na indústria

Reflexões

- Planejamento resolve uma classe ampla de problemas
  Havendo necessidade de **descobrir sequências ações** $\Leftrightarrow$ Planejamento
- Em geral, estes problemas são importantes na indústria
- Os modelos escritos em PDDL (*Planning Domain Definition Language*) facilmente portáveis para Picat

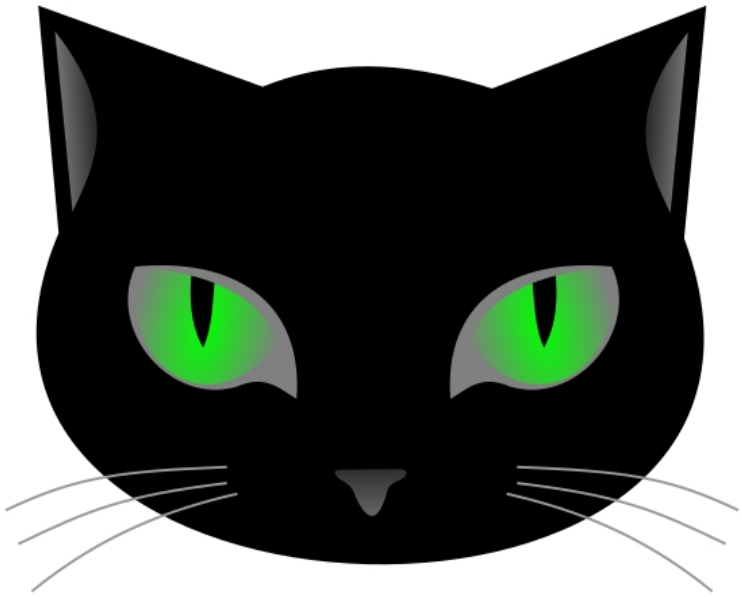
Reflexões

- Planejamento resolve uma classe ampla de problemas
  Havendo necessidade de **descobrir sequências ações** $\Leftrightarrow$ Planejamento
- Em geral, estes problemas são importantes na indústria
- Os modelos escritos em PDDL (*Planning Domain Definition Language*) facilmente portáveis para Picat
- Sob um uso mais restrito, um modelo em PDDL é executado diretamente em Picat

Reflexões

- Planejamento resolve uma classe ampla de problemas
  Havendo necessidade de **descobrir sequências ações** $\Leftrightarrow$ Planejamento
- Em geral, estes problemas são importantes na indústria
- Os modelos escritos em PDDL (*Planning Domain Definition Language*) facilmente portáveis para Picat
- Sob um uso mais restrito, um modelo em PDDL é executado diretamente em Picat
- Na próxima seção uma outra técnica de resolver problemas: **PR**

- Conceituar a PR
- Princípios
- **03 exemplos $\Rightarrow$ 234**
- 03 técnicas
- Aprendizagem da PR via estudos de casos
- Vamos dividir esta seção (Exemplos: 234)



Programação por Restrições (PR) – I

- A Programação por Restrições (PR) é conhecida por *Constraint Programming* ou simplesmente **CP**

Programação por Restrições (PR) – I

- A Programação por Restrições (PR) é conhecida por *Constraint Programming* ou simplesmente **CP**
- Uma poderosa teoria (e técnica) que contorna a complexidade de certos problemas exponenciais

Programação por Restrições (PR) – I

- A Programação por Restrições (PR) é conhecida por *Constraint Programming* ou simplesmente **CP**
- Uma poderosa teoria (e técnica) que contorna a complexidade de certos problemas exponenciais
- A **PR** encontrava-se inicialmente dentro da IA e PO, mas como várias outras áreas, tornaram-se fortes e autônomas. Atualmente uma área de pesquisa bem forte em alguns países.

Programação por Restrições (PR) – I

- A Programação por Restrições (PR) é conhecida por *Constraint Programming* ou simplesmente **CP**
- Uma poderosa teoria (e técnica) que contorna a complexidade de certos problemas exponenciais
- A **PR** encontrava-se inicialmente dentro da IA e PO, mas como várias outras áreas, tornaram-se fortes e autônomas. Atualmente uma área de pesquisa bem forte em alguns países.
- Nesta seção, temos 3 exemplos ilustrar conceitos da **PR**

- *Aproximadamente* o algoritmo da **PR** é dado:

Programação por Restrições (PR) – II

- *Aproximadamente* o algoritmo da **PR** é dado:
  1. Avaliar algebricamente os domínios das variáveis com suas restrições
  2. Intercala iterativamente a propagação de restrições com um algoritmo de busca
  3. A cada variável instanciada, o processo é repetido sobre as demais variáveis, reduzindo progressivamente o espaço de busca
  4. Volte ao passo inicial até que os domínios permaneçam estáticos e que as variáveis apresentem instâncias consistentes

Programação por Restrições (PR) – II

- *Aproximadamente* o algoritmo da **PR** é dado:
  1. Avaliar algebricamente os domínios das variáveis com suas restrições
  2. Intercala iterativamente a propagação de restrições com um algoritmo de busca
  3. A cada variável instanciada, o processo é repetido sobre as demais variáveis, reduzindo progressivamente o espaço de busca
  4. Volte ao passo inicial até que os domínios permaneçam estáticos e que as variáveis apresentem instâncias consistentes
- Este núcleo é uma busca por constantes otimizações

Programação por Restrições (PR) – II

- *Aproximadamente* o algoritmo da **PR** é dado:
  1. Avaliar algebricamente os domínios das variáveis com suas restrições
  2. Intercala iterativamente a propagação de restrições com um algoritmo de busca
  3. A cada variável instanciada, o processo é repetido sobre as demais variáveis, reduzindo progressivamente o espaço de busca
  4. Volte ao passo inicial até que os domínios permaneçam estáticos e que as variáveis apresentem instâncias consistentes
- Este núcleo é uma busca por constantes otimizações
- Uma das virtudes da PR: a legibilidade e clareza de suas soluções, conhecidos como **modelos**

Programação por Restrições (PR) – III

- Problemas combinatoriais com domínio nos inteiros são bons candidatos a serem resolvidos por PR

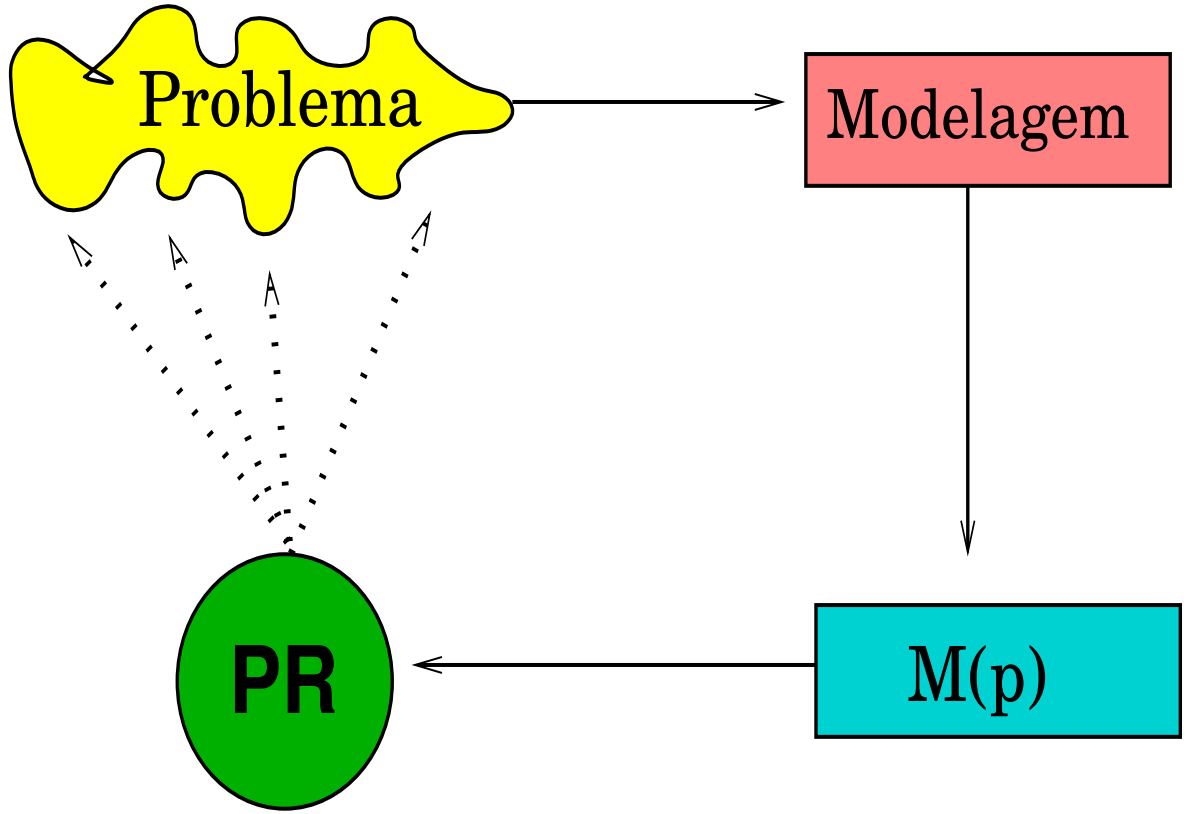
Programação por Restrições (PR) – III

- Problemas combinatoriais com domínio nos inteiros são bons candidatos a serem resolvidos por PR
- Quando temos problemas que precisamos conhecer **todas** as respostas, não apenas a melhor resposta

Programação por Restrições (PR) – III

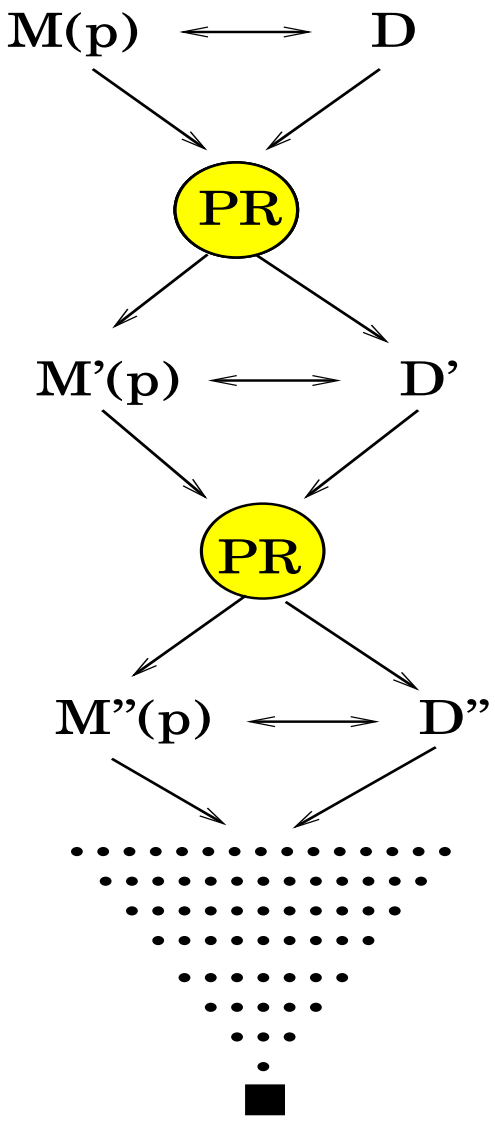
- Problemas combinatoriais com domínio nos inteiros são bons candidatos a serem resolvidos por PR
- Quando temos problemas que precisamos conhecer **todas** as respostas, não apenas a melhor resposta
- Quando necessitamos de respostas *precisas* e não apenas as aproximadas. Há um custo computacional a ser pago aqui!

Metodologia da Construção de Modelos



Um modelo

Fluxo de Cálculo da PR



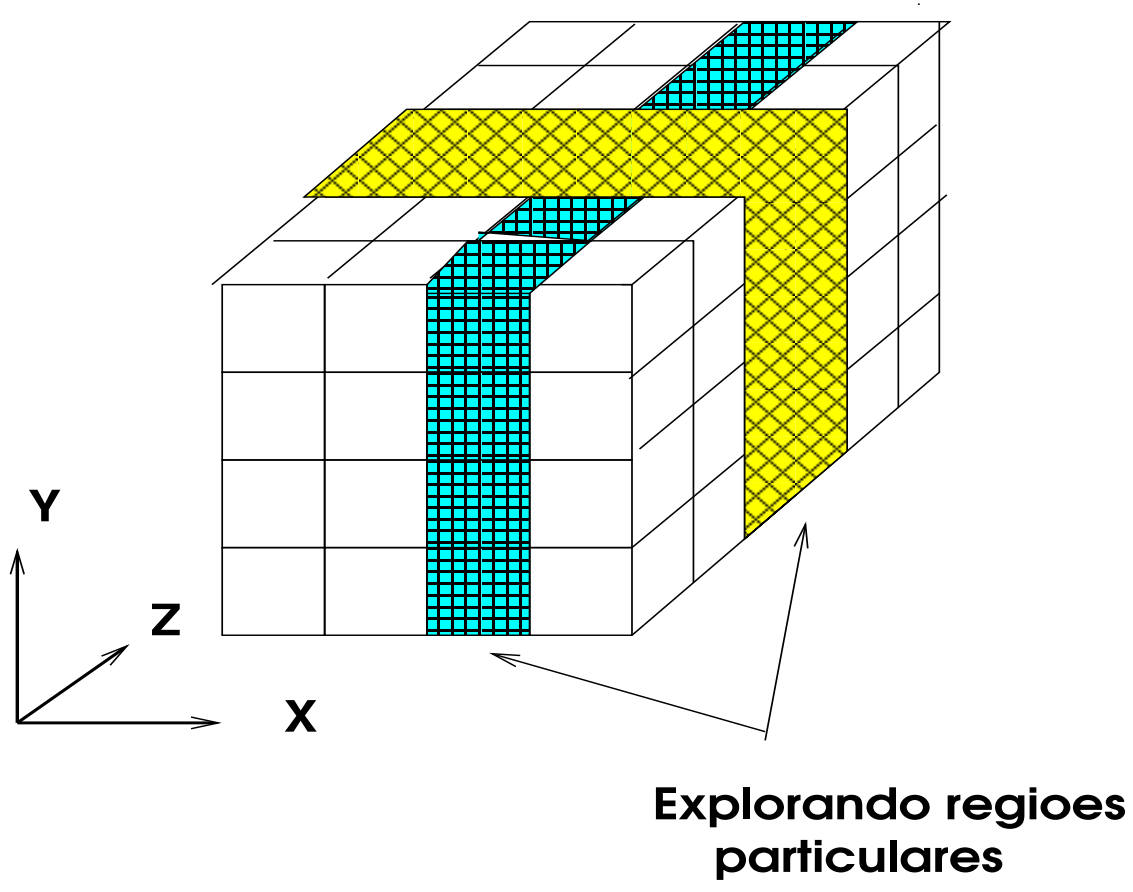


Figura 16: Realizar buscas com regiões reduzidas – promissoras (regiões factíveis de soluções)

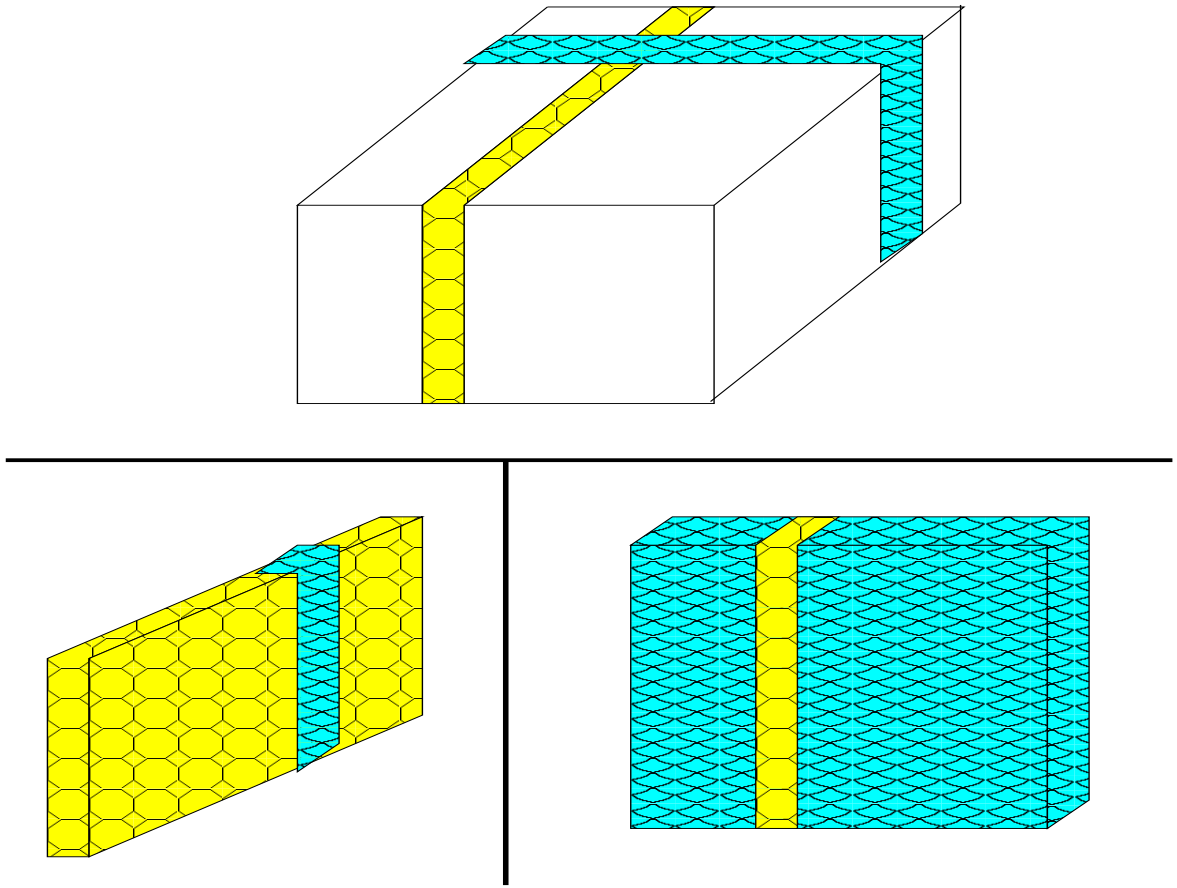


Figura 17: Redução de um CP em outros sub-problemas CPs equivalentes

A PR tem os seguintes elementos:

A PR tem os seguintes elementos:

- Um conjunto de **variáveis**: X_1, X_2, X_3, ..., X_n

A PR tem os seguintes elementos:

- Um conjunto de **variáveis**: X_1, X_2, X_3, ..., X_n
- Um conjunto de **domínios** dessas variáveis: D_{X_1}, D_{X_2}, D_{X_3}, ..., D_{X_n}

A PR tem os seguintes elementos:

- Um conjunto de **variáveis**: X_1, X_2, X_3, ..., X_n
- Um conjunto de **domínios** dessas variáveis: D_{X_1}, D_{X_2}, D_{X_3}, ..., D_{X_n}
- Finalmente, as **restrições**, que são relações n-árias entre estas variáveis

A PR tem os seguintes elementos:

- Um conjunto de **variáveis**: X_1, X_2, X_3, ..., X_n
- Um conjunto de **domínios** dessas variáveis: D_{X_1}, D_{X_2}, D_{X_3}, ..., D_{X_n}
- Finalmente, as **restrições**, que são relações n-árias entre estas variáveis
- Exemplo: $D_{X_1} = D_{X_2} = \{3, 4\}$ e $X_1 \neq X_2$

- Para o exemplo anterior um código em Picat é dado por:

- Para o exemplo anterior um código em Picat é dado por:
  - `[X1, X2] :: 3..4`
  - `X1 #!= X2`

- Para o exemplo anterior um código em Picat é dado por:
  - `[X1, X2] :: 3..4`
  - `X1 #!= X2`
- Em resumo, as relações da PR tem o símbolo '#'

- Para o exemplo anterior um código em Picat é dado por:
  - `[X1, X2] :: 3..4`
  - `X1 #!= X2`
- Em resumo, as relações da PR tem o símbolo '#'
- Para tornar toda esta sintaxe da PR disponível, Picat tem um módulo para suporte da PR:
  `import cp`

Exemplos

1. Soma de dois números primos (problema *ad-hoc*) $\Rightarrow$ 235

Exemplos

1. Soma de dois números primos (problema *ad-hoc*) $\Rightarrow$ 235
2. Escala (simplificada) de consultórios médicos (uso de matriz) $\Rightarrow$ 243

Exemplos

1. Soma de dois números primos (problema *ad-hoc*) $\Rightarrow$ 235
2. Escala (simplificada) de consultórios médicos (uso de matriz) $\Rightarrow$ 243
3. Caixeiro-viajante (uso de matriz binária de decisão) – diferente da solução do Hakank, aqui discutida $\Rightarrow$ 256

- **Basicamente, 3 problemas distintos!**
- **Volte ao início da seção $\Rightarrow$ 224**

Exemplo – 01 – Soma de Números Primos

- Dado um número par qualquer, N_{PAR}, encontre dois de números primos, N_1 e N_2, diferentes entre si, que somados deêm este número par.

Exemplo – 01 – Soma de Números Primos

- Dado um número par qualquer, N_{PAR}, encontre dois de números primos, N_1 e N_2, diferentes entre si, que somados deêm este número par.
- Exemplo:
  Seja o PAR $= 18$
  Uma solução:
  $N_1 = 7$ e $N_2 = 11$
  pois
  $N_1 + N_2 = 18$

- N_1 e N_2 assumem valores no domínio dos números primos. Logo, é importante ter os números primos prontos!

Modelagem do Problema

- N_1 e N_2 assumem valores no domínio dos números primos. Logo, é importante ter os números primos prontos!
- A soma destes números é o par fornecido como entrada, N_{PAR}: $N_1 + N_2 = N_{PAR}$

Modelagem do Problema

- N_1 e N_2 assumem valores no domínio dos números primos. Logo, é importante ter os números primos prontos!
- A soma destes números é o par fornecido como entrada, N_{PAR}: $N_1 + N_2 = N_{PAR}$
- N_1 e N_2 são diferentes entre si $N_1 \neq N_2$

Modelagem do Problema

- N_1 e N_2 assumem valores no domínio dos números primos.
  Logo, é importante ter os números primos prontos!
- A soma destes números é o par fornecido como entrada, N_{PAR}:
  $N_1 + N_2 = N_{PAR}$
- N_1 e N_2 são diferentes entre si
  $N_1 \neq N_2$
- Como são inteiros: $N_1 < N_{PAR}$ e $N_2 < N_{PAR}$
  Sim, é óbvio, mas isto faz uma redução significativa de domínio!

Código Completo

- Acompanhar as explicações do código de: `https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/soma_N1_N2_primos_CP.pi`
- Confira a execução e testes

Código em Partes

```
modelo =>
    PAR = 382,
    Variaveis = [N1,N2],
    % Gerando um domino soh de primos
    % L_dom = [I : I in 1..1000, eh_primo(I) == true],   %OU
    L_dom = [I : I in 1..1000, prime(I)],
    Variaveis :: L_dom,
```

Código em Partes

```
modelo =>
    PAR = 382,
    Variaveis = [N1,N2],
    % Gerando um domino soh de primos
    % L_dom = [I : I in 1..1000, eh_primo(I) == true],   %OU
    L_dom = [I : I in 1..1000, prime(I)],
    Variaveis :: L_dom,
```

- Uma ótima estratégia: sair com um **domínio de números candidatos**!

Código em Partes

```
modelo =>
    PAR = 382,
    Variaveis = [N1,N2],
    % Gerando um domino soh de primos
    % L_dom = [I : I in 1..1000, eh_primo(I) == true],   %OU
    L_dom = [I : I in 1..1000, prime(I)],
    Variaveis :: L_dom,
```

- Uma ótima estratégia: sair com um **domínio de números candidatos**!
- O par da entrada: **382**
- Quanto maior este valor, maior o número de soluções?

```
    % RESTRICOES
    N1 #!= N2,
    N1 #< PAR,
    N2 #< PAR,
    N1 + N2 #= PAR,

% A BUSCA
solve([ff], Variaveis),
  % UMA SAIDA
printf("\n  N1: %d\t N2: %d", N1,N2),
printf("\n.....................................")
.
```

Código em Partes

```
import cp.

% main => modelo .
% main ?=> modelo, fail.
% main =>  true.

main =>
    L = findall(_, $modelo),
    writef("\n Total de solucoes:  %d \n", length(L)) .
```

Saída – I

```
Picat> cl('soma_N1_N2_primos_CP').
Compiling:: soma_N1_N2_primos_CP.pi
** Warning  : redefine_preimported_symbol(math): prime / 1
soma_N1_N2_primos_CP.pi compiled in 7 milliseconds
loading...

yes

Picat> main.

  N1: 3  N2: 379
.....................................
  N1: 23  N2: 359
.....................................
  N1: 29  N2: 353
.....................................
```

Saída – II

```
 ....................................
  N1: 353  N2: 29
....................................
  N1: 359  N2: 23
....................................
  N1: 379  N2: 3
....................................
 Total de solucoes:  18

yes

Picat>
```

Exemplo – 02 – Escala de Consultórios

- Seja um Posto Atendimento Médico, um PA, com 4 consultórios e 7 especialidades médicas

Exemplo – 02 – Escala de Consultórios

- Seja um Posto Atendimento Médico, um PA, com 4 consultórios e 7 especialidades médicas
- O problema é distribuir estes médicos nestes 4 consultórios tal que alguns requisitos sejam atendidos (restrições satisfeitas)

Exemplo – 02 – Escala de Consultórios

- Seja um Posto Atendimento Médico, um PA, com 4 consultórios e 7 especialidades médicas
- O problema é distribuir estes médicos nestes 4 consultórios tal que alguns requisitos sejam atendidos (restrições satisfeitas)
- A abordagem aqui é ingênua e sem muitos critérios

- Vamos usar uma matriz bi-dimensional para representar o problema. Linhas $\leftrightarrow$ consultórios (1 a 4), e as colunas $\leftrightarrow$ dias da semana (1 a 5)

Modelagem do Problema

- Vamos usar uma matriz bi-dimensional para representar o problema. Linhas $\leftrightarrow$ consultórios (1 a 4), e as colunas $\leftrightarrow$ dias da semana (1 a 5)
- Esta matriz será preenchida com valores/códigos de 1 a 7, de acordo com a especialidade médica.

Modelagem do Problema

- Vamos usar uma matriz bi-dimensional para representar o problema. Linhas $\leftrightarrow$ consultórios (1 a 4), e as colunas $\leftrightarrow$ dias da semana (1 a 5)
- Esta matriz será preenchida com valores/códigos de 1 a 7, de acordo com a especialidade médica.
- Assim o domínio da matriz `Quadro` (4×5) será preenchida com um destes códigos.

Modelagem do Problema

- Vamos usar uma matriz bi-dimensional para representar o problema. Linhas $\leftrightarrow$ consultórios (1 a 4), e as colunas $\leftrightarrow$ dias da semana (1 a 5)
- Esta matriz será preenchida com valores/códigos de 1 a 7, de acordo com a especialidade médica.
- Assim o domínio da matriz `Quadro` (4×5) será preenchida com um destes códigos.
- Vamos utilizar restrições globais: `member` e `all_different`

Modelagem do Problema

- Vamos usar uma matriz bi-dimensional para representar o problema. Linhas $\leftrightarrow$ consultórios (1 a 4), e as colunas $\leftrightarrow$ dias da semana (1 a 5)
- Esta matriz será preenchida com valores/códigos de 1 a 7, de acordo com a especialidade médica.
- Assim o domínio da matriz `Quadro` (4×5) será preenchida com um destes códigos.
- Vamos utilizar restrições globais: `member` e `all_different`
- As restrições globais se aplicam sobre um conjunto de variáveis.

Matriz de Atribuição

	2a.	3a.	4a.	5a.	6a.
1a. Sala	[1..7]	[1..7]	[1..7]	[1..7]	[1..7]
2a. Sala	[1..7]	...	...	...	...
3a. Sala	[1..7]	...	...	...	...
4a. Sala	[1..7]	...	...	...	...

O domínio de valores: `1..7` (7 especialidades médicas)

- A fase de busca e propagação do comando `solve(Critérios, Variáveis)`, há dezenas de combinações possíveis: consultar o guia do usuário

- A fase de busca e propagação do comando `solve(Critérios, Variáveis)`, há dezenas de combinações possíveis: consultar o guia do usuário
- Tem-se os predicados extras ... são muitos, todos os da CP

- A fase de busca e propagação do comando `solve(Critérios, Variáveis)`, há dezenas de combinações possíveis: consultar o guia do usuário
- Tem-se os predicados extras ... são muitos, todos os da CP
- Finalmente, exemplos sofisticados– de PR com PICAT: `http://www.hakank.org/picat/` – ***My Picat page*** – por Hakan Kjellerstrand

Código Completo

- Acompanhar as explicações do código de: `https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/horario_medico_CP.pi`
- Confira a execução e testes

Código em Partes

```
modelo =>
    Dias = 5, % segunda= 1, ...., sexta-feira = 5
    Consultorio = 4,
    L_dom = [ oftalmo, otorrino, pediatra,  gineco,
%                1         2          3         4
              cardio, dermato, clin_geral ],
%               5        6         7
   Quadro = new_array(Consultorio, Dias ), %% Lin x Col
   Quadro :: 1 .. L_dom.len , %% operador len . "eh colado"
...
```

Código em Partes

```
    %% O medico 2 NUNCA trabalha no consultorio 1
    foreach ( J in 1 .. Dias )
        Quadro[1,J] #!= 2
    end,

    %% O medico 5 NUNCA trabalha no consultorio 4
    foreach ( J in 1 .. Dias )
        Quadro[4,J] #!= 5
    end,
...
```

Código em Partes

```
%% O Clin Geral deve vir o maior numero de dias ...
%% Esta restricao eh matematicamente é HARD
 foreach ( I in 1 .. Consultorio )
   member(7,[Quadro[I,J] : J in 1..Dias])
 end,

%% Ninguém trabalha no mesmo consultorio em dias seguidos
foreach ( J in 1 .. Dias )
    all_different( [Quadro[I,J] : I in 1..Consultorio] )
end,

%% Ninguém trabalha no mesmo dia em mais de um consultorio
 foreach ( I in 1 .. Consultorio )
    all_different( [Quadro[I,J] : J in 1..Dias] )
 end,
...
```

Código em Partes

```
% A BUSCA
solve([ff], Quadro),
  % UMA SAIDA

   printf("\n Uma escolha:"),
   print_matrix( Quadro ),
   print_matrix_NAMES( Quadro , L_dom ),
 printf(".............................\n") .
```

Código em Partes

```
print_matrix_NAMES( M, Lista ) =>
 L = M.length,
 C = M[1].length,
  nl,
   foreach(I in 1  .. L)
     foreach(J in 1  ..  C)
      printf(":%w \t" , print_n_lista( M[I,J], Lista) )
     % printf("(%d,%d): %w " , I, J, M[I,J] ) -- FINE
     end,
     nl
   end.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
print_n_lista( _, [] ) =  [].
print_n_lista( 1, [A|_] ) = A.
print_n_lista( N, [_|B] ) = print_n_lista( (N-1), B ) .
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

Saída - I

```
Picat> cl('horario_medico_CP.pi').
Compiling:: horario_medico_CP.pi
horario_medico_CP.pi compiled in 10 milliseconds
loading...

yes

Picat> main

 Uma escolha:
7 1 3 4 5
4 7 2 3 1
1 3 7 5 2
3 2 1 7 4
```

Saída - II

```
:clin_geral :oftalmo :pediatra :gineco :cardio
:gineco :clin_geral :otorrino :pediatra :oftalmo
:oftalmo :pediatra :clin_geral :cardio :otorrino
:pediatra :otorrino :oftalmo :clin_geral :gineco
.....................................
yes
```

Saída - III

```
$ time(picat horario_medico_CP.pi )

 Uma escolha:
7 1 3 4 5
4 7 2 3 1
1 3 7 5 2
3 2 1 7 4

:clin_geral  :oftalmo  :pediatra  :gineco  :cardio
:gineco  :clin_geral  :otorrino  :pediatra  :oftalmo
:oftalmo  :pediatra  :clin_geral  :cardio  :otorrino
:pediatra  :otorrino  :oftalmo  :clin_geral  :gineco
.....................................
real 0m0,023s
user 0m0,007s
sys 0m0,013s
[ccs@gerzat picat]$
```

Exemplo – 03 – Caixeiro-Viajante

- Este é um exemplo clássico $\Rightarrow$ um NP-Completo $\Rightarrow$ boas soluções apenas com Colônia de Formigas (técnica da Computação Evolucionária)

Exemplo – 03 – Caixeiro-Viajante

- Este é um exemplo clássico $\Rightarrow$ um NP-Completo $\Rightarrow$ boas soluções apenas com Colônia de Formigas (técnica da Computação Evolucionária)
- Neste exemplo do Problema do Caixeiro-Viajante (do inglês: TSP – *Travelling Salesman Problem*) são discutido com **dois modelos da PR**, destacando as virtudes de cada um:
  1. **1o. Modelo**: usa restrições globais: `element` e `circuit`
  2. **2o. Modelo**: usa variáveis de decisão binária (uma matriz binária: $N \times N$)

Exemplo – 03 – Caixeiro-Viajante

- Este é um exemplo clássico $\Rightarrow$ um NP-Completo $\Rightarrow$ boas soluções apenas com Colônia de Formigas (técnica da Computação Evolucionária)
- Neste exemplo do Problema do Caixeiro-Viajante (do inglês: TSP – *Travelling Salesman Problem*) são discutido com **dois modelos da PR**, destacando as virtudes de cada um:
  1. **1o. Modelo**: usa restrições globais: `element` e `circuit`
  2. **2o. Modelo**: usa variáveis de decisão binária (uma matriz binária: $N \times N$)
- Tecnicamente, o TSP tem muitas aplicações similares!

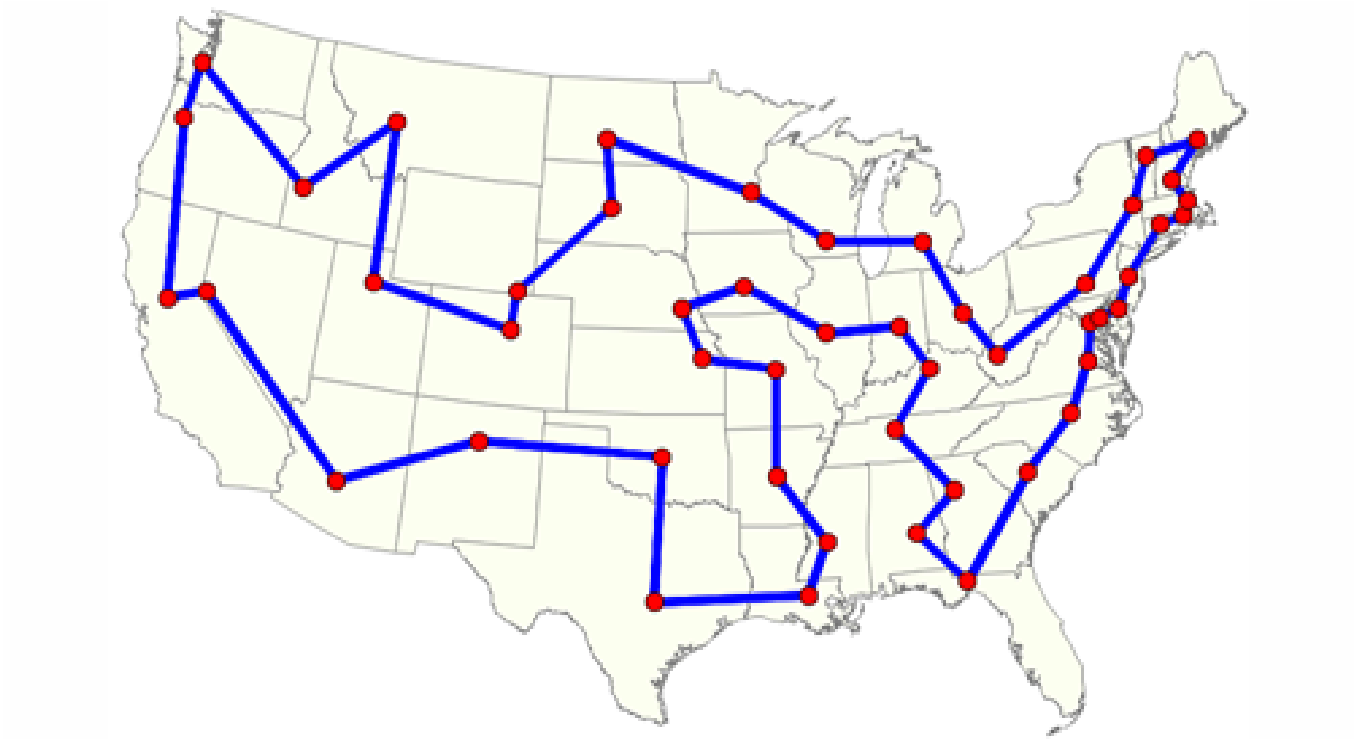


Figura 18: Passar por algumas cidades uma única vez e retornar a cidade de origem

Modelagem – Comentários

- Usaremos a modelagem matemática de uma *matriz binária de decisão*

Modelagem – Comentários

- Usaremos a modelagem matemática de uma *matriz binária de decisão*
- Esta abordagem é bem conhecida, porém, eficiente para alguns tipos de problemas

Modelagem – Comentários

- Usaremos a modelagem matemática de uma *matriz binária de decisão*
- Esta abordagem é bem conhecida, porém, eficiente para alguns tipos de problemas
- Idéia da *matriz binária de decisão*: N cidades, logo, há possíveis conexões entre elas

	1	2	...	(N-1)	N
1	0/1	0/1	...	0/1	0/1
2	0/1	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
(N-1)	0/1	...	...	...	...
N	0/1	...	...	...	0/1

Tabela 3: Matriz de Decisão Binária: $N \times N$

- Uma matriz a ser preenchida com 0's e 1's
- Esta matriz pode ter um domínio n-ário
- **1**: selecionado e **0**: não-selecionado

- **Restrições Globais**: afetam todo modelo ou boa parte deste

- **Restrições Globais**: afetam todo modelo ou boa parte deste
- Algumas conhecidas: `member` e `all_different`

- **Restrições Globais**: afetam todo modelo ou boa parte deste
- Algumas conhecidas: `member` e `all_different`
- Para este modelo, duas novas: `element` e `circuit`

Restrição global: *element*

```
element_ex(Vars)  =>
    X :: 1..4, %% NUM de indices da lista
    element(X , [22, 33, 44, 55], Index),
    Vars = [X , Index],
    solve(Vars).
```

Restrição global: *element*

```
exe04 =>
    Todas_Sol = findall(Uma_Sol , $element_ex(Uma_Sol)),
    foreach( X in Todas_Sol )
      printf("\n Sol %w", X)
    end,
    printf("\n Total de SOL: %d", Todas_Sol.len).
```

Restrição global: *element*

```
exe04 =>
    Todas_Sol = findall(Uma_Sol , $element_ex(Uma_Sol)),
    foreach( X in Todas_Sol )
      printf("\n Sol %w", X)
    end,
    printf("\n Total de SOL: %d", Todas_Sol.len).
```

Saída:

```
Sol [1,22]
Sol [2,33]
Sol [3,44]
Sol [4,55]
Total de SOL: 4
```

Restrição global: *circuit*

```
circ_ex(L) =>
    L = [X1,X2,X3,X4],
    L :: 1..4, %% NUM de indices da lista
    circuit(L),
    solve(L).
```

Restrição global: *circuit*

```
exe02 =>
    Todas_Sol = findall( Uma_Sol , $circ_ex(Uma_Sol)),
    foreach( X in Todas_Sol )
      printf("\n Sol %w", X)
    end,
    printf("\n Total de SOL: %d", Todas_Sol.len).
```

Restrição global: *circuit*

```
exe02 =>
    Todas_Sol = findall( Uma_Sol , $circ_ex(Uma_Sol)),
    foreach( X in Todas_Sol )
      printf("\n Sol %w", X)
    end,
    printf("\n Total de SOL: %d", Todas_Sol.len).
```

Saída:

```
Sol [2,3,4,1]
Sol [2,4,1,3]
Sol [3,1,4,2]
Sol [3,4,2,1]
Sol [4,1,2,3]
Sol [4,3,1,2]
Total de SOL: 6
```

Código Completo

- Acompanhar as explicações do $1^{o.}$ modelo: `https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/tsp_ESTUDO_hakan.pi`
- Acompanhar as explicações do $2^{o.}$ modelo: `https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/tsp_CP.pi`
- Confira a execução e testes

1º. Modelo para o TSP – Nilsson e Hakan

```
% Original formulation from Nilsson cited above.
% Codificado por HAKAN e CCS
tsp_test(nilsson, Cidades, Custo) =>
   Cidades   = [X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7],
   %% a matriz adjacencia - do mapa - 7 cidades
   element(X1,[ 0, 4, 8,10, 7,14,15],C1),
   element(X2,[ 4, 0, 7, 7,10,12, 5],C2),
   element(X3,[ 8, 7, 0, 4, 6, 8,10],C3),
   element(X4,[10, 7, 4, 0, 2, 5, 8],C4),
   element(X5,[ 7,10, 6, 2, 0, 6, 7],C5),
   element(X6,[14,12, 8, 5, 6, 0, 5],C6),
   element(X7,[15, 5,10, 8, 7, 5, 0],C7),
   Custo #= C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7 ,
   circuit( Cidades ) ,
   solve([$min(Custo)], Cidades).
```

Saída

```
$ picat tsp_ESTUDO_hakan.pi
Cidades: [2,7,1,3,4,5,6] Custo: 34
 A viagem:
Da cidade 1 --> 2 custa: 4  Acumulado: 4
Da cidade 2 --> 7 custa: 5  Acumulado: 9
Da cidade 7 --> 6 custa: 5  Acumulado: 14
Da cidade 6 --> 5 custa: 6  Acumulado: 20
Da cidade 5 --> 4 custa: 2  Acumulado: 22
Da cidade 4 --> 3 custa: 4  Acumulado: 26
Da cidade 3 --> 1 custa: 8  Acumulado: 34
```

Saída

```
$ picat tsp_ESTUDO_hakan.pi
Cidades: [2,7,1,3,4,5,6] Custo: 34
 A viagem:
Da cidade 1 --> 2 custa: 4  Acumulado: 4
Da cidade 2 --> 7 custa: 5  Acumulado: 9
Da cidade 7 --> 6 custa: 5  Acumulado: 14
Da cidade 6 --> 5 custa: 6  Acumulado: 20
Da cidade 5 --> 4 custa: 2  Acumulado: 22
Da cidade 4 --> 3 custa: 4  Acumulado: 26
Da cidade 3 --> 1 custa: 8  Acumulado: 34
```

- A importância deste modelo: facilmente se entende o TSP

Saída

```
$ picat tsp_ESTUDO_hakan.pi
Cidades: [2,7,1,3,4,5,6] Custo: 34
 A viagem:
Da cidade 1 --> 2 custa: 4  Acumulado: 4
Da cidade 2 --> 7 custa: 5  Acumulado: 9
Da cidade 7 --> 6 custa: 5  Acumulado: 14
Da cidade 6 --> 5 custa: 6  Acumulado: 20
Da cidade 5 --> 4 custa: 2  Acumulado: 22
Da cidade 4 --> 3 custa: 4  Acumulado: 26
Da cidade 3 --> 1 custa: 8  Acumulado: 34
```

- A importância deste modelo: facilmente se entende o TSP
- Hakan fez uma versão genérica para este modelo, de bom desempenho!

Saída

```
$ picat tsp_ESTUDO_hakan.pi
Cidades: [2,7,1,3,4,5,6] Custo: 34
 A viagem:
Da cidade 1 --> 2 custa: 4  Acumulado: 4
Da cidade 2 --> 7 custa: 5  Acumulado: 9
Da cidade 7 --> 6 custa: 5  Acumulado: 14
Da cidade 6 --> 5 custa: 6  Acumulado: 20
Da cidade 5 --> 4 custa: 2  Acumulado: 22
Da cidade 4 --> 3 custa: 4  Acumulado: 26
Da cidade 3 --> 1 custa: 8  Acumulado: 34
```

- A importância deste modelo: facilmente se entende o TSP
- Hakan fez uma versão genérica para este modelo, de bom desempenho!
- O $2^{o.}$ modelo tem importância como técnica para PR!

2º. Modelo para o TSP – Usando Matriz de Decisão

```
import cp,util.
matriz_adj(Matrix) =>
   Matrix =
       [[ 0, 4, 8,10, 7,14,15],
        [ 4, 0, 7, 7,10,12, 5],
        [ 8, 7, 0, 4, 6, 8,10],
        [10, 7, 4, 0, 2, 5, 8],
        [ 7,10, 6, 2, 0, 6, 7],
        [14,12, 8, 5, 6, 0, 5],
        [15, 5,10, 8, 7, 5, 0]].
```

- Os dados são os mesmos do exemplo anterior
- Poderia ser feita leitura via arquivos: ver exemplos de entrada e saída no GitHub
- Comentários no código e aúdio

Código em Partes

```
tsp_D(Matriz, Cidades, M_Decisao, Custo) =>
   Len = Matriz.length, %% N x N cidades
   Cidades = new_list(Len), %%% 1a. dimensao
   Cidades :: 1..Len,
   % grafo de DECISAO que representa o resultado dos nos escolhidos
   M_Decisao = new_array (Len, Len),
   M_Decisao :: 0..1 ,
```

Código em Partes

```
tsp_D(Matriz, Cidades, M_Decisao, Custo) =>
   Len = Matriz.length, %% N x N cidades
   Cidades = new_list(Len), %%% 1a. dimensao
   Cidades :: 1..Len,
   % grafo de DECISAO que representa o resultado dos nos escolhidos
   M_Decisao = new_array (Len, Len),
   M_Decisao :: 0..1 ,

%  calculate upper and lower bounds of the Costs list -- HAKAN
   % repensar MELHORAR .....
   SOMA_Dists = sum([Matriz[I,J] : I in 1..Len,
                     J in 1..Len, Matriz[I,J] > 0]),
   MinDist = 0,
   MaxDist = SOMA_Dists,
   Custo :: 0..MaxDist,
```

Código em Partes

```
% Se NAO HOUVER CONEXAO ou  ARCO = 0 entao não há conexão
  foreach(I in 1..Len , J  in 1..Len)
    (Matriz[I,J] #= 0) #=> (M_Decisao[I,J] #= 0)
  end,
```

Código em Partes

```
% Se NAO HOUVER CONEXAO ou  ARCO = 0 entao não há conexão
  foreach(I in 1..Len , J  in 1..Len)
    (Matriz[I,J] #= 0) #=> (M_Decisao[I,J] #= 0)
  end,

% Para todas linhas, a soma das colunas é igual a 1
% UMA: uma saida como caminho a ser traçado e somente UMA
  foreach(I in 1..Len)
    sum([M_Decisao[I,J] : J in 1..Len, I != J]) #= 1
  end,
```

Código em Partes

```
% Se NAO HOUVER CONEXAO ou  ARCO = 0 entao não há conexão
  foreach(I in 1..Len , J  in 1..Len)
    (Matriz[I,J] #= 0) #=> (M_Decisao[I,J] #= 0)
  end,

% Para todas linhas, a soma das colunas é igual a 1
% UMA: uma saida como caminho a ser traçado e somente UMA
  foreach(I in 1..Len)
    sum([M_Decisao[I,J] : J in 1..Len, I != J]) #= 1
  end,

% Para todas colunas, a soma das linhas é igual a 1
% UMA: uma chegada ao nó de destino e somente UMA chegada
  foreach(J in 1..Len)
   sum([M_Decisao[I,J] : I in 1..Len, I != J]) #= 1
  end,
```

Código em Partes

```
%% Relacionar as escolhas da M_Decisao com a
%%  ... sequencia das Cidades.
  foreach(I in 1..Len , J  in 1..Len)
    ( M_Decisao[I,J] #= 1 ) #<=> ( Cidades[I] #= J )
  end,

  %% garante o circuito entre os nós selecionados
  circuit(Cidades),
```

Código em Partes

```
%% Relacionar as escolhas da M_Decisao com a
%%  ... sequencia das Cidades.
  foreach(I in 1..Len , J  in 1..Len)
    ( M_Decisao[I,J] #= 1 ) #<=> ( Cidades[I] #= J )
  end,

  %% garante o circuito entre os nós selecionados
  circuit(Cidades),


%% Função custo a ser minimizada
 Custo #= sum([M_Decisao[I,J] * Matriz[I,J] :
              I in 1..Len , J  in 1..Len]),

 %% Vars para BUSCA
 Vars = [Cidades, M_Decisao], %% OU  Cidades ++ M_Decisao
 solve([$min(Custo)], Vars ).
```

Saída

```
$ picat tsp_CP.pi
M_Decisao: {{0,1,0,0,0,0,0},{0,0,0,0,0,0,1},{1,0,0,0,0,0,0},{0,0,1,0,0,
DESTINOS:
      1 2 3 4 5 6 7
 1 -> 0 1 0 0 0 0 0
 2 -> 0 0 0 0 0 0 1
 3 -> 1 0 0 0 0 0 0
 4 -> 0 0 1 0 0 0 0
 5 -> 0 0 0 1 0 0 0
 6 -> 0 0 0 0 1 0 0
 7 -> 0 0 0 0 0 1 0
Sequência das Cidades: [2,7,1,3,4,5,6]
Custo: 34

 A viagem:
Da cidade 1 --> 2 custa: 4  Acumulado: 4
.....................................
Da cidade 3 --> 1 custa: 8  Acumulado: 34
```

As funções/regras de saída não foram apresentadas!

Resumindo a PR

- Há outros métodos para se resolver estes problemas. Exemplo: Programação Linear, Buscas Heurísticas, AGs, Busca Gulosa etc

Resumindo a PR

- Há outros métodos para se resolver estes problemas.
  Exemplo: Programação Linear, Buscas Heurísticas, AGs, Busca Gulosa etc
- As restrições globais se aplicam sobre um conjunto de variáveis e há muitas outras importantes disponíveis no Picat

Resumindo a PR

- Há outros métodos para se resolver estes problemas.
  Exemplo: Programação Linear, Buscas Heurísticas, AGs, Busca Gulosa etc
- As restrições globais se aplicam sobre um conjunto de variáveis e há muitas outras importantes disponíveis no Picat
- A área é extensa e Picat adere há todos requisitos da PR

Resumindo a PR

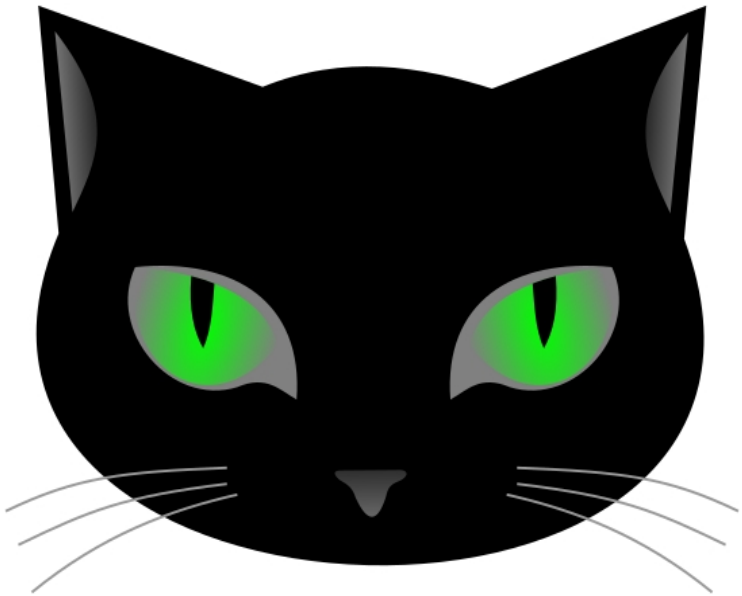
- Há outros métodos para se resolver estes problemas. Exemplo: Programação Linear, Buscas Heurísticas, AGs, Busca Gulosa etc
- As restrições globais se aplicam sobre um conjunto de variáveis e há muitas outras importantes disponíveis no Picat
- A área é extensa e Picat adere há todos requisitos da PR
- Resumo da PR: segue por uma notação/manipulação algébrica restrita, simplificar e bissecionar as restrições, instanciar variáveis, verificar inconsistências, avançar sobre as demais variáveis, até que todas estejam instanciadas.

Resumindo a PR

- Há outros métodos para se resolver estes problemas. Exemplo: Programação Linear, Buscas Heurísticas, AGs, Busca Gulosa etc
- As restrições globais se aplicam sobre um conjunto de variáveis e há muitas outras importantes disponíveis no Picat
- A área é extensa e Picat adere há todos requisitos da PR
- Resumo da PR: segue por uma notação/manipulação algébrica restrita, simplificar e bissecionar as restrições, instanciar variáveis, verificar inconsistências, avançar sobre as demais variáveis, até que todas estejam instanciadas.
- Enfim, agora é o momento de praticar e aprimorar os conhecimentos $\Rightarrow$ Bons códigos!

Conclusões

- O que foi visto
- O que tem a ser feito
- Oportunidades



Conclusões

- Picat é jovem (nascida em 2013);

Conclusões

- Picat é jovem (nascida em 2013);
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de existência e sucesso!

Conclusões

- Picat é jovem (nascida em 2013);
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de existência e sucesso!
- Sua sintaxe é moderna e intuitiva;

Conclusões

- Picat é jovem (nascida em 2013);
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de existência e sucesso!
- Sua sintaxe é moderna e intuitiva;
- Código aberto, multi-plataforma, e repleta de possibilidades;

Conclusões

- Picat é jovem (nascida em 2013);
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de existência e sucesso!
- Sua sintaxe é moderna e intuitiva;
- Código aberto, multi-plataforma, e repleta de possibilidades;
- Uso para fins diversos;

Conclusões

- Picat é jovem (nascida em 2013);
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de existência e sucesso!
- Sua sintaxe é moderna e intuitiva;
- Código aberto, multi-plataforma, e repleta de possibilidades;
- Uso para fins diversos;
- Muitas bibliotecas específicas prontas: CP, SAT, Planner, etc;

Conclusões

- Picat é jovem (nascida em 2013);
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de existência e sucesso!
- Sua sintaxe é moderna e intuitiva;
- Código aberto, multi-plataforma, e repleta de possibilidades;
- Uso para fins diversos;
- Muitas bibliotecas específicas prontas: CP, SAT, Planner, etc;
- A sintaxe de PR exige um pouco mais do programador

Conclusões

- Picat é jovem (nascida em 2013);
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de existência e sucesso!
- Sua sintaxe é moderna e intuitiva;
- Código aberto, multi-plataforma, e repleta de possibilidades;
- Uso para fins diversos;
- Muitas bibliotecas específicas prontas: CP, SAT, Planner, etc;
- A sintaxe de PR exige um pouco mais do programador
- Dúvidas: o guia do usuário, livro do Hakan e o Fórum de discussão do Picat

O que ficou faltando:

- Uso do `debug` e `trace` (cansativo – uma oportunidade)

O que ficou faltando:

- Uso do `debug` e `trace` (cansativo – uma oportunidade)
- Explorar uso dos solvers de PO (fácil)

O que ficou faltando:

- Uso do `debug` e `trace` (cansativo – uma oportunidade)
- Explorar uso dos solvers de PO (fácil)
- Explorar a criação e uso de módulos (mais fácil ainda)

Dicas de Programação:

- Use o interpretador e o compilador concomitamente. O interpretador sempre acusa warnings etc. O modo compilado na console, não.

Dicas de Programação:

- Use o interpretador e o compilador concomitamente. O interpretador sempre acusa warnings etc. O modo compilado na console, não.
- No modo interpretado, cada linha de código pode ser testada isoladamente, assim, o efeito global desta é restrita. Qualquer erro ou falha é rapidamente detectada.

Dicas de Programação:

- Use o interpretador e o compilador concomitamente. O interpretador sempre acusa warnings etc. O modo compilado na console, não.
- No modo interpretado, cada linha de código pode ser testada isoladamente, assim, o efeito global desta é restrita. Qualquer erro ou falha é rapidamente detectada.
- Consulte o manual do usuário *on-line* em *html*, mantido pelo Alexandre Gonçalves, UFSC
  `http://retina.inf.ufsc.br/picat_guide`

Dicas de Programação:

- Use o interpretador e o compilador concomitamente. O interpretador sempre acusa warnings etc. O modo compilado na console, não.
- No modo interpretado, cada linha de código pode ser testada isoladamente, assim, o efeito global desta é restrita. Qualquer erro ou falha é rapidamente detectada.
- Consulte o manual do usuário *on-line* em *html*, mantido pelo Alexandre Gonçalves, UFSC
  `http://retina.inf.ufsc.br/picat_guide`
- Consulte o site do Picat e dos grandes mestres Hakan, Neng-Fa, Roman Barták, Sergii Dymchenko, etc

Dicas de Programação:

- Use o interpretador e o compilador concomitamente. O interpretador sempre acusa warnings etc. O modo compilado na console, não.
- No modo interpretado, cada linha de código pode ser testada isoladamente, assim, o efeito global desta é restrita. Qualquer erro ou falha é rapidamente detectada.
- Consulte o manual do usuário *on-line* em *html*, mantido pelo Alexandre Gonçalves, UFSC
  `http://retina.inf.ufsc.br/picat_guide`
- Consulte o site do Picat e dos grandes mestres Hakan, Neng-Fa, Roman Barták, Sergii Dymchenko, etc
- Inscreva-se no fórum e consulte o Guia do Usuário (tudo em inglês)

Agradecimentos

- Muito obrigado a voce!

Agradecimentos

- Muito obrigado a voce!
- Algumas pessoas que deram opiniões e me incentivaram a fazer este material

Agradecimentos

- Muito obrigado a voce!
- Algumas pessoas que deram opiniões e me incentivaram a fazer este material
- Claudio Cesar de Sá
- Contacto: `claudio.sa@udesc.br` e `claudio@colmeia.udesc.br`