

Universidade de Aveiro

Introdução à Inteligência Artificial – MIECT

Inteligência Artificial – LEI

Programação ao Estilo Funcional em Python

Ano lectivo 2018/2019

Regente: Luís Seabra Lopes

Python

- Características principais da linguagem de programação Python:
 - Interpretada
 - Interactiva
 - Portável
 - Funcional
 - Orientada a objectos
 - Implementação aberta

Python (cont.)

- Objectivos da linguagem
 - Simplicidade sem prejuizo da utilidade
 - Programação modular
 - Legibilidade
 - Desenvolvimento rápido
 - Facilidade de integração, nomeadamente com outras linguagens

Python é multi-paradigma

Programação funcional

Expressões lambda
Funções de ordem superior
Listas com sintaxe simplificada
Listas de compreensão
Iteradores

Programação OO

Classes
Objectos
Métodos
Herança

Programação imperativa / modular

Instrução de atribuição
Sequências de instruções
Análise condicional (if-elif-else)
Ciclos for, while
Sistema de módulos

Python - história

- Criada em 1989-1991 por Guido Van Rossum
 - Tem como predecessora directa a linguagem imperativa/estruturada ABC, tendo também sido influenciada pela linguagem Modula-3
 - O nome da linguagem tem origem no “*Monty Python’s Flying Circus*”
- Inicialmente desenhada como uma linguagem de *scripting* no sistema operativo Amoeba

Python versus Java

- Código mais conciso
 - Os espaços brancos são sintaticamente relevantes
- Verificação de tipos dinâmica
- Desenvolvimento mais rápido
- Não compila para código nativo
- Mas, programas mais lentos ...

Python – áreas de aplicação

- Interligação de sistemas
- Aplicações gráficas
- Aplicações para bases de dados
- Multimédia
- Internet protocol / Web
- Robótica & inteligência artificial

Python - aplicações

- Google - fortemente baseado em Python, segundo o lema inicial:
 - “Python where we can, C++ where we must”
- Zope – servidor de aplicações para a Web, de código aberto, totalmente escrito em Python
- ROS (Robot Operating System) – Python é uma das linguagens suportadas, juntamente com C++ e Lisp

Python – aplicações (cont.)

- Inteligência Artificial – Python é uma das linguagens com popularidade crescente nesta área
 - Os exemplos do livro “*Artificial Intelligence: a Modern Approach*” estão implementados em Python, Java e Lisp
 - CWM – Máquina de inferência de propósito geral para a Web Semântica, totalmente desenvolvido em Python por Tim Berners-Lee
 - Google (algoritmo de ordenação de páginas, etc.) também é um exemplo aqui!

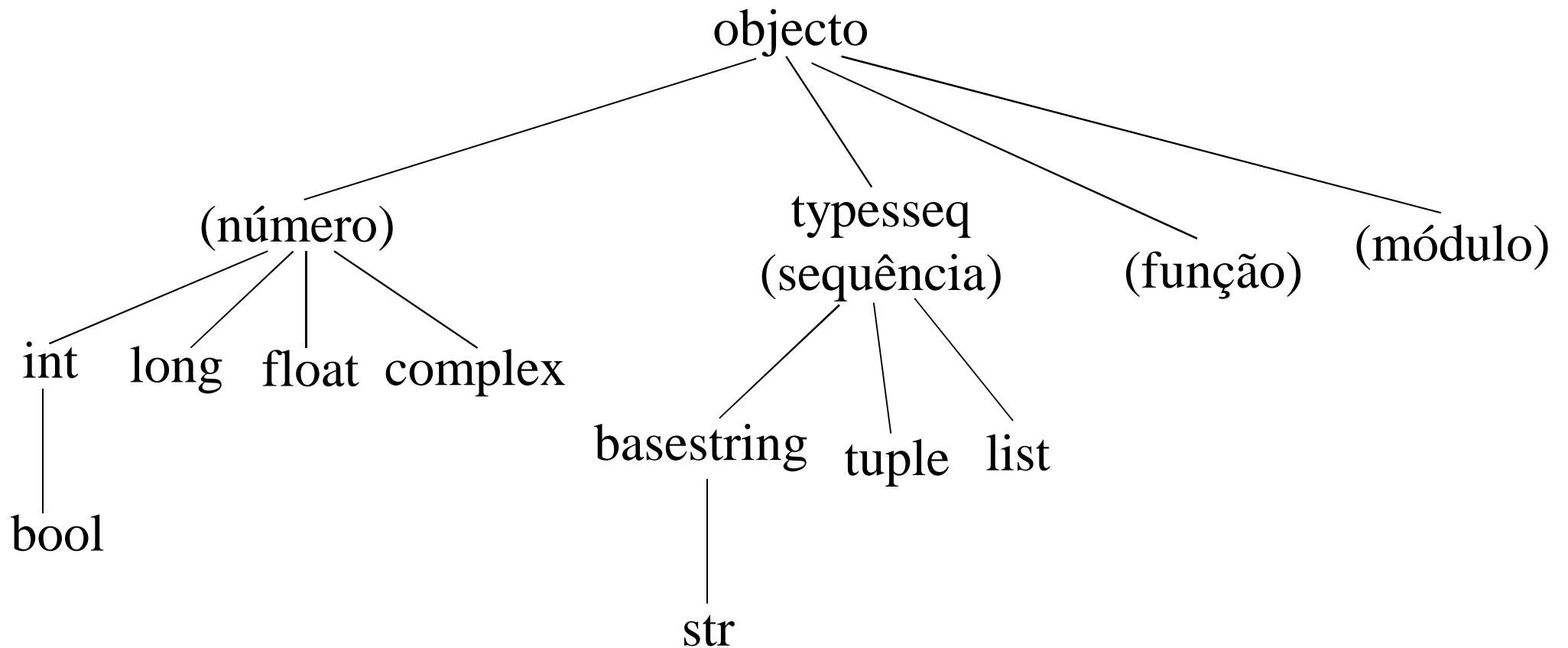
Python - utilização

- Está incluída nas principais distribuições de Linux
 - Está também disponível para outras plataformas
- Pode ser obtida, juntamente com documentação em www.python.org
- IDLE – ambiente de desenvolvimento para Python

Dados, ou “objectos”

- Objecto – no contexto de Python, esta designação é aplicada a qualquer dado que possa ser armazenado numa variável, ou passado como parâmetro a uma função
- Cada objecto é caracterizado por
 - Identidade ou referência (identifica a posição de memória onde está armazenado),
 - Tipo e
 - Valor
- Alguns tipos de objectos podem ter atributos e métodos
- Alguns tipos (classes) de objectos podem ter sub-tipos (sub-classes)

Objectos



Tipos de dados elementares

- `bool`
 - Tem os valores `True` e `False`
 - Mas, valores de diferentes tipos podem também ser usados como valores de verdade
 - Exemplo: o inteiro 0 (zero) vale o mesmo que `False`
 - Função `bool()` converte qualquer valor para `bool`

Tipos de dados elementares (cont.)

- Números
 - int – números inteiros de 32 bits
 - equivale ao long da linguagem C
 - long – inteiros de precisão ilimitada
 - float – números reais
 - equivale ao double da linguagem C
 - complex – números reais, em que a parte real e a parte imaginária são números reais
 - Exemplos: $1.5+0.5j$, $7.2+4.0j$
 - As partes de um número complexo z podem ser obtidas através das expressões `z.real` e `z.imag`

Tipos de dados elementares (cont.)

- Números (cont.)
 - Funcionam com os operadores habituais: +, -, *, /
 - Quociente da divisão inteira: //
 - O operador de divisão (/) também fornece um quociente da divisão inteira, mas neste caso o resultado é arredondado para o lado de $-\infty$
 - Exemplos: $1/2 \rightarrow 0$, $1/(-2) \rightarrow -1$
 - Resto da divisão inteira: %
 - Potência: ** (equivale à função pré-definida pow())
 - Exemplo: $5 ** 3 \rightarrow 125$
 - Funções de conversão:
 - int(), long(), float()

Sequências de dados

- Cadeias de caracteres (str)
 - Podem aparecer entre aspas (") ou pelicas (')
 - Exemplos:
 - "abc d x"
 - 'abc d x'
 - 'Ele disse "sim" !'
 - "A palavra 'Maria' é um nome próprio."
 - As cadeias de caracteres são imutáveis: não podemos modificar os caracteres em posições individuais

Sequências de dados (cont.)

- Tuplos (tuple) – agregados ou composições de vários elementos, que podem ser de tipos diferentes
 - Funcionam como registos ou estruturas sem nome
 - São imutáveis: não podemos modificar elementos em posições individuais do tuplo
 - Os elementos são separados por vírgulas (,) e opcionalmente delimitados por parênteses curvos
 - Exemplos:
 - 1, 2, 'a'
 - ("maria", 33)
 - 27,
 - 'lisboa', ("colinas", 7)
 - ()

Sequências de dados (cont.)

- Listas (list) – sequências de elementos, que podem ser de tipos diferentes
 - Combinam a funcionalidade usual das listas na programação declarativa com a funcionalidade usual dos vectores na programação imperativa
 - É possível modificar elementos individuais das listas
 - Os elementos são separados por vírgulas (,) e delimitados por parênteses rectos
 - Exemplos:
 - [1, 2, 'a']
 - [("maria", 33), ("josé", 40)]
 - ['lisboa', [7, "colinas"]]
 - []

Sequências de dados (cont.)

- Algumas funcionalidades básicas
 - `x in s`
 - Expressão que retorna `True` se existir um elemento na sequência `s` que seja igual a `x`, caso contrário retorna `False`
 - `x not in s`
 - O contrário da anterior
 - `len(s)`
 - Função que retorna o comprimento da sequência `s`
 - `s1 + s2`
 - Retorna a concatenação das sequências `s1` e `s2`

Função pré-definida `type()`

- Dado um objecto qualquer, devolve o respectivo tipo

Variáveis

- Não são declaradas
- Não têm tipo
- Praticamente tudo pode ser atribuído a uma variável (incluindo funções, módulos e classes)
- Similarmente ao que acontece nas linguagens imperativas, e ao contrário do que acontece nas linguagens funcionais, em Python o valor das variáveis pode ser alterado
- Não se pode ler o valor da variável se ela não tiver sido inicializada

Instrução de atribuição - I

- Tal como é habitual na programação imperativa, e ao contrário do habitual na programação declarativa, Python possui instrução de atribuição
- Exemplos:
 - `n = 10`
 - `a = b = c = 0`
 - `x = 7.25`
 - `cad = "cadeia"`
 - `t = (n, x)`
 - `lista = [1, 2, 'quatro', 8.0]`

Instrução de atribuição - II

- Podemos usar a operação de atribuição para decompor estruturas
- Exemplo:
 - `triplo = (1, 2, 3)`
 - `(i, j, k) = triplo`
 - Como resultado, `i=1, j=2, k=3`
- Outro exemplo:
 - `(q,r) = divmod(16,3)`
 - A função pré-definida `divmod()` devolve um tuplo com o quociente e o resto de uma divisão inteira
 - Como resultado, `q=5, r=1`

Operadores de comparação

- Igual: `==`
- Diferente: `!=` (ou `<>`)
- Menor/maior: `<`, `<=`, `>`, `>=`
- Objectos de tipos diferentes nunca são iguais
 - Exceptuam-se os diferentes tipos de números
- Comparação de sequências baseia-se num critério lexicográfico
- Mais info: *Python Tutorial*, sec. 5.8

Operadores lógicos

- Conjunção: and
 - Disjunção: or
 - Negação: not
-
- Nota: Na conjunção e na disjunção, o segundo argumento só é avaliado se for necessário para determinar o resultado

Acesso a sequências

- Os elementos das sequências são acedidos através de índices inteiros consecutivos
 - O primeiro elemento tem o índice 0 (zero)
- Exemplo:
 - `a = [12, 4, "abc"]`
 - `a[0] → 12`
 - `a[2] → "abc"`

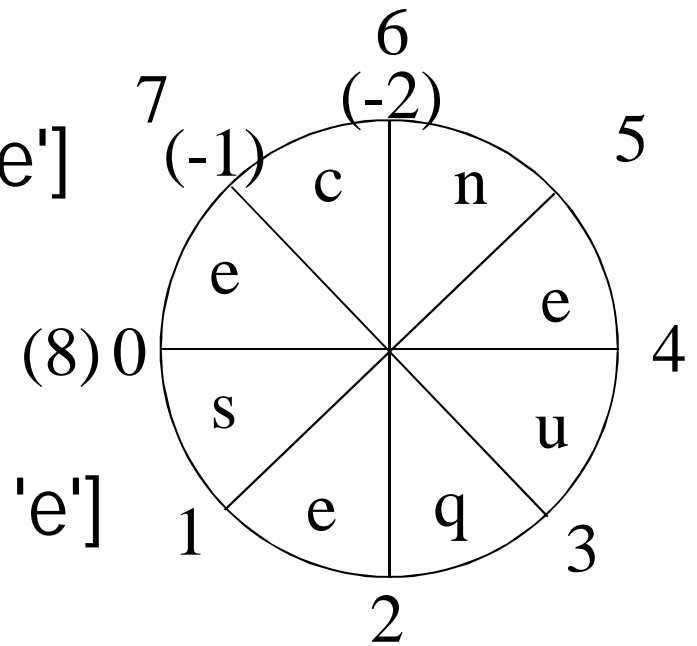
Acesso a sequências (cont.)

- É possível extrair “fatias” das sequências
 - Formato: `seq[inf:sup]` – fatia da sequência `seq`, compreendida entre o elemento com índice `inf` e o elemento com índice `sup-1`
 - A fatia é uma cópia do conteúdo da sequência original entre `inf` e `sup-1`
- A indexação é circular, o que permite aceder ao último elemento da sequência `s` pelo índice `len(s)-1` ou simplesmente pelo índice `-1`

Acesso a sequências (cont.)

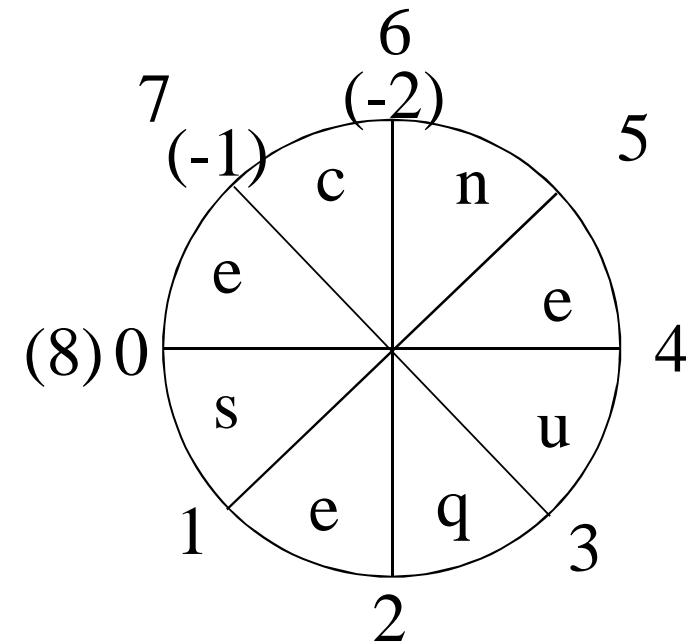
- Exemplos:

- lista = ['s', 'e', 'q', 'u', 'e', 'n', 'c', 'e']
- lista[0] → 's'
- lista[2:5] → ['q', 'u', 'e']
- lista[1:] → ['e', 'q', 'u', 'e', 'n', 'c', 'e']
- lista[-2:] → ['c', 'e']
- lista[:3] → ['s', 'e', 'q']
- lista[:] → ['s', 'e', 'q', 'u', 'e', 'n', 'c', 'e']



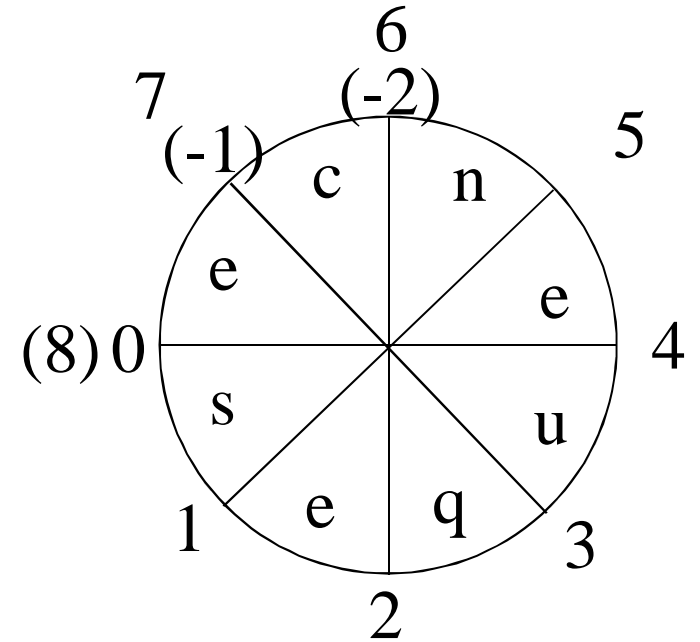
Modificação de listas

- Faz-se por atribuição
 - `lista[0] = 'p'`
 - `lista → ['p', 'e', 'q', 'u', 'e', 'n', 'c', 'e']`
- Pode-se modificar fatias
 - `lista[-2:] = ['o', 's']`
 - `lista → ['p', 'e', 'q', 'u', 'e', 'n', 'o', 's']`



Modificação de listas (cont.)

- Pode-se remover uma fatia
 - `lista[0:3] = []`
 - `lista → ['u', 'e', 'n', 'o', 's']`
- Inserir uma fatia
 - `lista[3:3] = ['a', 'a']`
 - `lista → ['u', 'e', 'n', 'a', 'a', 'o', 's']`
- Substituir por fatia de tamanho diferente
 - `lista[1:6] = ['c', 'h']`
 - `lista → ['u', 'c', 'h', 's']`



Instrução de atribuição - III

- Detalhe importante:
 - A instrução de atribuição, em vez de copiar valores, limita-se a associar um dado identificador a um dado objecto
 - Assim, a atribuição de uma variável x a uma variável y apenas tem como resultado associar y ao mesmo objecto ao qual x já estava associada
 - No caso de objectos mutáveis, há que ter cuidado com efeitos como este:
 - $a = [1,2,3]$
 - $b = a$
 - $b[1:2] = []$
 - $a \rightarrow [1,3]$

Análise condicional: instrução if-elif-else

- **Síntaxe:**

```
if <condição_1>:  
    <instruções_1>  
elif <condição_2>:  
    <instruções_2>  
else:  
    <instruções_n>
```

- **Notas:**

- Pode haver 0 (zero) ou mais ramos elif (= else if)
- O ramo elif / else é opcional

Análise condicional: expressão if-else

- Síntaxe

- `<expressão1> if <condição> else <expressão2>`

- Exemplos:

- `x if x >= 0 else -x`

- `'pos' if a > 0 else 'nul' if a == 0 else 'neg'`

Definição de funções

- Inicia-se com a palavra def
- Passagem de parâmetros “por referência dos objectos” (ver adiante)
- A instrução return permite definir o resultado da função
 - Quando não é indicado um resultado no return, ou quando não há return, o resultado é None (um identificador pré-definido)
 - Funções sem return, ou com return vazio, são também conhecidas como “*procedimentos*”
- As funções podem ser recursivas
- As funções são objectos do tipo function

Definição de funções – exemplos (I)

retorna o primeiro elemento de uma lista, caso exista,

ou None, caso contrário

```
def cabeca(lista):
```

```
    if lista == []:
```

```
        return None
```

```
    return lista[0]
```

retorna um tuplo com o primeiro elemento de uma lista

e a lista dos restantes (retorna None caso a lista seja vazia)

```
def cabeca_e_cauda(lista):
```

```
    if lista == []:
```

```
        return None
```

```
    return (lista[0], lista[1:])
```

Definição de funções – exemplos (II)

```
# concatena duas listas  
def concatenar(lista1, lista2):  
    conc = lista2[:]  
    conc[:0] = lista1  
    return conc
```

*# Nota: a concatenação de listas é disponibilizada
em Python através do operador +*

Passagem de parâmetros

- Os parâmetros são passados às funções segundo um mecanismo de “passagem por valor” (“*call by value*”)
- Mas, detalhe importante: Neste contexto, o valor é na verdade a referência do objecto!!!
 - Se atribuirmos um novo objecto a uma variável passada por parâmetro, essa atribuição ocorre apenas no espaço de nomes da função (acetato seguinte, esquerda)
 - Se modificarmos um objecto passado por parâmetro (por exemplo, apagar um elemento de uma lista), isto não altera a referência do objecto, e portanto vai permanecer após o retorno da função (acetato seguinte, direita)

Passagem de parâmetros – exemplos (I)

```
>>> def incr(x):
```

```
...     x=x+1
```

```
...     return x
```

```
...
```

```
>>> n=10
```

```
>>> incr(n)
```

```
11
```

```
>>> n
```

```
10
```

```
>>> def acresc(l,x):
```

```
...     l[0:0]=[x]
```

```
...     return l
```

```
...
```

```
>>> lista=[5,12]
```

```
>>> acresc(lista,30)
```

```
[30,5,12]
```

```
>>> lista
```

```
[30,5,12]
```

Passagem de parâmetros – exemplos (II)

- O problema anterior resolve-se trabalhando sobre uma cópia local
- No caso de uma lista `l`, a fatia `l[:]` dá-nos uma cópia integral

```
>>> def acresc(l,x):  
...     aux=l[:]  
...     aux[0:0]=[x]  
...     return aux  
...  
>>> lista=[5,12]  
>>> acresc(lista,30)  
[30,5,12]  
>>> lista  
[5,12]
```

Parâmetros com valores por defeito

- Exemplo:

```
def custoCombustivel(dist,cons=8,preco=1.5):  
    return (dist/100.0) * cons * preco
```

- Na chamada, pode-se omitir alguns parâmetros, caso em que temos que indicar os nomes dos que estão para a frente:

```
>>> custoCombustivel(30,preco=1.6)  
2.56
```

- Nas chamadas em que são fornecidos os primeiros k de n parâmetros, não é preciso indicar os nomes:

```
>>> custoCombustivel(20,7.5)  
2.25
```


Funções recursivas – exemplos - I

devolve factorial de um número n

```
def factorial(n):
```

```
    if n==0:
```

```
        return 1
```

```
    if n>0:
```

```
        return n*factorial(n-1)
```

devolve o comprimento de uma lista

```
def comprimento(lista):
```

```
    if lista==[]:
```

```
        return 0
```

```
    return 1+comprimento(lista[1:])
```

```

comprimento([1, 2, 3])
=
1 + comprimento([2, 3])
=
1 + ( 1 + comprimento([3]))
=
1 + (1 + (1 + comprimento([])))
=
1 + (1 + (1 + 0))
=
1 + (1 + 1 )
=
1 + 2
=
3

```

Funções recursivas – exemplos - II

verifica se um elemento é membro de uma lista

```
def membro(x,lista):  
    if l==[]:  
        return False  
    return (lista[0]==x) or membro(x,lista[1:])
```

devolve uma lista com os elementos da lista

de entrada por ordem inversa

```
def inverter(lista):  
    if lista==[]:  
        return []  
    inv = inverter(lista[1:])  
    inv[len(inv):] = [lista[0]]  
    return inv
```

Expressões Lambda – I

- São expressões cujo valor é uma função
- São um “ingrediente” clássico da programação funcional
- Exemplos:
 - `lambda x : x+1`
 - Função que dado um valor `x`, devolve `x+1`
 - `m = lambda x, y : math.sqrt(x**2+y**2)`
 - Função que calcula o módulo de um vector `(x,y)`, função esta atribuída à variável `m`
 - `(lambda lista : lista[-1]-lista[0]) [5,7,11,19,38]`
 - Função que calcula a diferença entre o primeiro e o último elemento de uma lista, função esta logo aplicada a uma lista concreta
 - Resultado: 33

Expressões Lambda – II

- Como qualquer objecto, uma expressão lambda pode ser passada como parâmetro a uma função
- Exemplo:
 - Uma função h que, dada uma função f e um valor x , produz $f(x) * x$

```
def h(f,x): return f(x)*x
```
 - Exemplo de utilização:

```
h(lambda x : x+1,7)
```
 - Resultado: 56

Expressões Lambda – III

- As expressões lambda podem ser produzidas por outras funções:
 - Exemplo: Dado um inteiro n , a função seguinte produz uma função que soma n à sua entrada

```
def faz_incrementador(n):  
    return lambda x : x+n
```

- Exemplo de utilização:

```
suc = faz_incrementador(1)  
suc(10)
```

- Resultado: 11

Expressões Lambda – IV

- As expressões lambda são também conhecidas como expressões funcionais
- As funções que recebem expressões lambda como entrada e/ou produzem expressões lambda como saída são conhecidas como funções de ordem superior
- Nota importante: As expressões lambda só são úteis enquanto são simples. Uma função complexa merece ser escrita de forma clara numa definição (def) à parte

Exercício

- Pesquisa dicotômica de uma raiz de uma função f num intervalo $[a,b]$
 - Assume-se que a função é contínua em $[a,b]$
 - Assume-se que $f(a)$ e $f(b)$ são de sinais opostos
 - Implementa-se uma função que divide ao meio o intervalo e se chama a si própria recursivamente sobre a metade do intervalo em cujos extremos f tem valores de sinal contrário
 - A função f é um parâmetro de entrada da função que procura a raiz
 - O processo termina quando o valor $b-a$ for suficientemente pequeno

Aplicar uma função a uma lista

- Aplicar uma função f a cada um dos elementos de uma lista, devolvendo uma lista com os resultados:

```
def aplicar(f,lista):  
    if lista==[]:  
        return []  
    return [f(lista[0])] + aplicar(f,lista[1:])
```

- Exemplo de utilização: Dada uma lista de inteiros, obter a lista dos dobros

```
aplicar(lambda x : 2*x, [2,-4,17])
```

– Resultado: [4,-8,34]

- Corresponde à função pré-definida `map()`
 - Em Python3, esta função retorna um iterador que pode ser convertido para lista

Filtrar uma lista

- Dada uma função booleana f e uma lista, devolve uma lista com os elementos da lista de entrada para os quais f devolve True:

```
def filtrar(f, lista):  
    if lista == []:  
        return []  
    if f(lista[0]):  
        return [lista[0]] + filtrar(f, lista[1:])  
    return filtrar(f, lista[1:])
```

- Exemplo: Dada uma lista de inteiros, obter a lista dos pares
filtrar(lambda x : x%2==0, [2,-4,17])

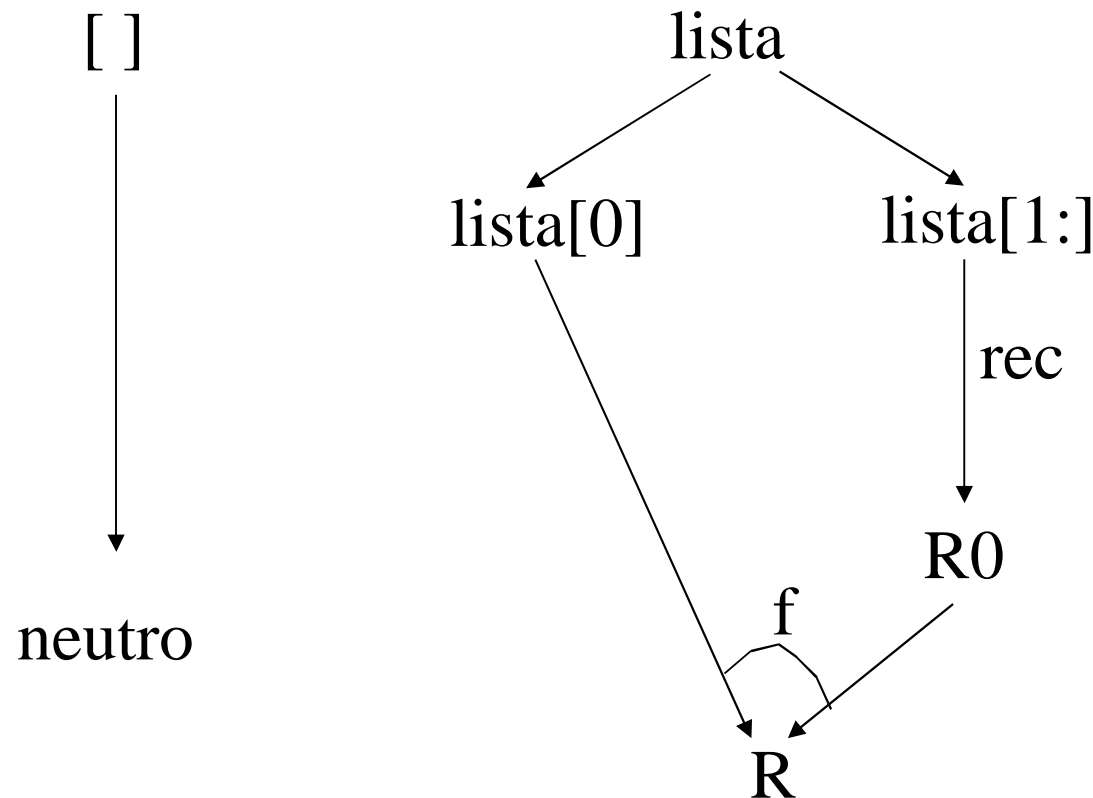
– Resultado: [2,-4]

- Corresponde à função pré-definida `filter()`
 - Em Python3, esta função retorna um iterador que pode ser convertido para lista

Reduzir uma lista a um valor - I

- Muitos procedimentos que actuam sobre listas têm em comum a seguinte estrutura:
 - No caso de a lista ser vazia, o resultado é um valor “neutro” pré-definido;
 - No caso de a lista ser não vazia, o resultado da função depende de combinar a cabeça da lista (`lista[0]`) com o resultado da chamada recursiva sobre os restantes elementos (`lista[1:]`).

Reduzir uma lista a um valor - II



Exemplo:

Se quisermos somar os elementos de uma lista de inteiros:

`neutro = 0`

`f = lambda x, s : x+s`

Reduzir uma lista a um valor - III

- Dada uma função de combinação f , uma lista e um valor neutro, devolve a redução da lista:

```
def reduzir(f, lista, neutro):  
    if lista == []:  
        return neutro  
    return f(lista[0], reduzir(f, lista[1:], neutro))
```

- Exemplo: Dada uma lista de inteiros, obter a respectiva soma

```
reduzir(lambda x, s : x+s, [2,-4,17], 0)
```

– Resultado: 15

- Corresponde à função pré-definida `reduce()`
 - Em Python3, esta função está na biblioteca `functools`

Listas de compreensão

- Do inglês “*list comprehension*”
- Mecanismo compacto para processar alguns ou todos os elementos numa lista
 - “importado” da linguagem funcional Haskell
 - Pode ser aplicado a listas, tuplos e cadeias de caracteres
 - O resultado é uma lista
- Síntaxe (caso simples):
[<expr> for <var> in <sequência> if <condição>]

Listas de compreensão (cont.)

- Podem funcionar como a função `map()`
- Exemplo: Obter os quadrados dos elementos de uma dada lista:

```
>>> map(lambda x : x**2, [2,3,7])
```

```
[4,9,49]
```

```
>>> [x**2 for x in [2,3,7]]
```

```
[4,9,49]
```

Listas de compreensão (cont.)

- Podem funcionar como a função `filter()`
- Exemplo: Obter os elementos pares existentes numa dada lista

```
>>> filter(lambda x : x%2==0, [2,3,7,6])
```

```
[2,6]
```

```
>>> [x for x in [2,3,7,6] if x%2==0]
```

```
[2,6]
```


Listas de compreensão (cont.)

- Podem combinar as funcionalidades de `map()` e `filter()`
- Exemplo: Obter os quadrados de todos os elementos positivos de uma dada lista

```
>>> [x**2 for x in [3,-7,6] if x>0]  
[9,36]
```

Listas de compreensão (cont.)

- Podem percorrer várias sequências
- Exemplo: Obter todos os pares de elementos, um de uma lista e outro de outra, em que a soma seja ímpar

```
>>> [(x,y) for x in [3,7,6]
...     for y in [2,8,9] if (x+y)%2!=0]
[(3,2), (3,8), (7,2), (7,8), (6,9)]
```

Classes

- As classes em Python possuem as características mais comuns nas linguagens orientadas a objectos
 - Uma classe define um conjunto de objectos caracterizados por diversos atributos e métodos
 - É possível definir hierarquias de classes com herança
- As classes surgem na linguagem Python com pouca sintaxe adicional

Classes (cont.)

- Sintaxe:

```
class <nome-classe>:
```

```
    <declaração-1>
```

```
    ...
```

```
    <declaração-N>
```

Classes – exemplo

```
class UmTeste:
```

```
    def dizer_ola(self):  
        print "Ola"
```

Por convenção, as palavras
no nome de uma classe
iniciam-se com maiúscula

Exemplo de definição
de um método

- Utilização

```
>>> x = UmTeste()
```

```
>>> x.dizer_ola()
```

```
Ola
```

Criação de uma instância
e atribuição a uma variável

Invocação do método

Classes com construtor – exemplo

```
class Complexo:  
    def __init__(self, real, imag):  
        self.r = real  
        self.i = imag
```

O construtor é o método que inicializa um objecto no momento da sua criação; chama-se obrigatoriamente “__init__”;

- Utilização

```
>>> c = Complexo(-1.5, 13.1)  
>>> c.r, c.i  
(-1.5, 13.1)
```

O primeiro parâmetro (self) de qualquer método é a própria instância na qual o método é chamado

Criação de uma instância e atribuição a uma variável

Classes – atributos

- No exemplo anterior, a classe Complexo tem os atributos r e i
- Tal como acontece com as variáveis normais, também os atributos das classes não são declarados
- Acesso aos atributos numa instância é feito com o ponto (“.”), como no exemplo anterior
- A todo o tempo, pode-se criar um novo atributo numa instância, bastando para isso atribuir-lhe um valor

Classes derivadas / herança

- Sintaxe:

class <nome-classe> (<nome-classe-mãe>):

<declaração-1>

...

<declaração-N>

- A classe derivada herda os métodos e atributos da classe mãe
- É possível uma classe ter várias classes mães

Exemplo de aplicação: expressões aritméticas

- Considere a seguinte expressão:

$$2 * x + 1$$

- Pode-se representar em Python da seguinte forma:

`Soma(Produto(Const(2),Var()),Const(1))`

- Em que Soma, Produto, Const e Var são classes definidas pelo programador para representar
 - somas de expressões,
 - produtos de expressões,
 - constantes e
 - ocorrências da variável

Exemplo de aplicação: expressões aritméticas (cont.)

- Como definir os construtores das classes referidas?
- Como definir métodos para avaliar as expressões, dado um certo valor da variável?
- Como definir métodos para simplificar expressões?
- Como definir métodos para derivar expressões?

Exemplo de aplicação: expressões aritméticas (cont.)

- Exemplo:

```
class Soma:
```

```
    def __init__(self,e1,e2):
```

```
        self.arg1 = e1
```

```
        self.arg2 = e2
```

```
    def avaliar(self,v):
```

```
        return self.arg1.avaliar(v) + self.arg2.avaliar(v)
```

Classes – conversão para cadeia de caracteres

- Relevante para visualização
- Consegue-se através da implementação de um método “__str__()” (nome obrigatório)
- Na classe Soma (ver acetato anterior), poderia ser assim:

```
def __str__(self):  
    return str(self.arg1) + "+" + str(self.arg2)
```
- Utilização:

```
>>> s = Soma(Const(2),Const(1))  
>>> str(s)  
2+1
```

Métodos e atributos pré-definidos

- Métodos
 - `__init__()` – construtor
 - `__str__()` – implementa a conversão para cadeia de caracteres; suporta a função de conversão `str()`
 - `__repr__()` – define a representação em cadeia de caracteres que aparece na consola do interpretador; suporta a função `repr()`
- Atributos
 - `__class__` - identifica a classe de um dado objecto
 - Também se pode usar a função `isinstance(<instance>, <class>)`

O tipo list de Python é uma classe

- Tem os seguintes métodos:
 - `list.append(x)` – acrescenta `x` ao fim da lista
 - `list.extend(L)` – acrescenta elementos da lista `L` no fim da lista
 - `list.insert(i,x)` – insere `x` na posição `i`
 - `list.remove(x)` – remove a primeira ocorrência de `x`
 - `list.index(x)` – remove a posição da primeira ocorrência de `x`
 - `list.sort()` – ordena a lista (modifica a lista)
 - ...