

Cálculo de Programas

Trabalho Prático

MiEI — 2018/19

Departamento de Informática
Universidade do Minho

Junho de 2019

Grupo nr. 4

a83920	Afonso Trindade Araújo de Pascoal Faria
a83840	Maria Moutinho Figueiredo da Silva
a86435	Miguel André da Silva Solino

1 Preâmbulo

A disciplina de **Cálculo de Programas** tem como objectivo principal ensinar a programação de computadores como uma disciplina científica. Para isso parte-se de um repertório de *combinadores* que formam uma álgebra da programação (conjunto de leis universais e seus corolários) e usam-se esses combinadores para construir programas *composicionalmente*, isto é, agregando programas já existentes.

Na sequência pedagógica dos planos de estudo dos dois cursos que têm esta disciplina, restringe-se a aplicação deste método à programação funcional em **Haskell**. Assim, o presente trabalho prático coloca os alunos perante problemas concretos que deverão ser implementados em **Haskell**. Há ainda um outro objectivo: o de ensinar a documentar programas, validá-los, e a produzir textos técnico-científicos de qualidade.

2 Documentação

Para cumprir de forma integrada os objectivos enunciados acima vamos recorrer a uma técnica de programação dita “**literária**” [1], cujo princípio base é o seguinte:

Um programa e a sua documentação devem coincidir.

Por outras palavras, o código fonte e a documentação de um programa deverão estar no mesmo ficheiro.

O ficheiro `cp1819t.pdf` que está a ler é já um exemplo de **programação literária**: foi gerado a partir do texto fonte `cp1819t.lhs`¹ que encontrará no **material pedagógico** desta disciplina descompactando o ficheiro `cp1819t.zip` e executando

```
$ lhs2TeX cp1819t.lhs > cp1819t.tex
$ pdflatex cp1819t
```

em que **lhs2tex** é um pre-processor que faz “pretty printing” de código Haskell em **L^AT_EX** e que deve desde já instalar executando

```
$ cabal install lhs2tex
```

Por outro lado, o mesmo ficheiro `cp1819t.lhs` é executável e contém o “kit” básico, escrito em **Haskell**, para realizar o trabalho. Basta executar

```
$ ghci cp1819t.lhs
```

¹O suffixo ‘lhs’ quer dizer *literate Haskell*.

Abra o ficheiro `cp1819t.lhs` no seu editor de texto preferido e verifique que assim é: todo o texto que se encontra dentro do ambiente

```
\begin{code}
...
\end{code}
```

vai ser seleccionado pelo **GHCI** para ser executado.

3 Como realizar o trabalho

Este trabalho teórico-prático deve ser realizado por grupos de três alunos. Os detalhes da avaliação (datas para submissão do relatório e sua defesa oral) são os que forem publicados na [página da disciplina](#) na *internet*.

Recomenda-se uma abordagem participativa dos membros do grupo de trabalho por forma a poderem responder às questões que serão colocadas na *defesa oral* do relatório.

Em que consiste, então, o *relatório* a que se refere o parágrafo anterior? É a edição do texto que está a ser lido, preenchendo o anexo **D** com as respostas. O relatório deverá conter ainda a identificação dos membros do grupo de trabalho, no local respectivo da folha de rosto.

Para gerar o PDF integral do relatório deve-se ainda correr os comando seguintes, que actualizam a bibliografia (com **BibTeX**) e o índice remissivo (com **makeindex**),

```
$ bibtex cp1819t.aux
$ makeindex cp1819t.idx
```

e recompilar o texto como acima se indicou. Dever-se-á ainda instalar o utilitário **QuickCheck**, que ajuda a validar programas em **Haskell** e a biblioteca **Gloss** para geração de gráficos 2D:

```
$ cabal install QuickCheck gloss
```

Para testar uma propriedade **QuickCheck** *prop*, basta invocá-la com o comando:

```
> quickCheck prop
+++ OK, passed 100 tests.
```

Qualquer programador tem, na vida real, de ler e analisar (muito!) código escrito por outros. No anexo **C** disponibiliza-se algum código **Haskell** relativo aos problemas que se seguem. Esse anexo deverá ser consultado e analisado à medida que isso for necessário.

Problema 1

Um compilador é um programa que traduz uma linguagem dita de *alto nível* numa linguagem (dita de *baixo nível*) que seja executável por uma máquina. Por exemplo, o **GCC** compila C/C++ em código objecto que corre numa variedade de arquitecturas.

Compiladores são normalmente programas complexos. Constan essencialmente de duas partes: o *analisador sintático* que lê o texto de entrada (o programa *fonte* a compilar) e cria uma sua representação interna, estruturada em árvore; e o *gerador de código* que converte essa representação interna em código executável. Note-se que tal representação intermédia pode ser usada para outros fins, por exemplo, para gerar uma listagem de qualidade (*pretty print*) do programa fonte.

O projecto de compiladores é um assunto complexo que será assunto de outras disciplinas. Neste trabalho pretende-se apenas fazer uma introdução ao assunto, mostrando como tais programas se podem construir funcionalmente à custa de cata/ana/hilo-morfismos da linguagem em causa.

Para cumprirmos o nosso objectivo, a linguagem desta questão terá que ser, naturalmente, muito simples: escolheu-se a das expressões aritméticas com inteiros, *eg.* $1+2$, $3*(4+5)$ etc. Como representação interna adopta-se o seguinte tipo polinomial, igualmente simples:

```
data Expr = Num Int | Bop Expr Op Expr
data Op = Op String
```

1. Escreva as definições dos {cata, ana e hilo}-morfismos deste tipo de dados segundo o método ensinado nesta disciplina (recorde módulos como *eg.* `BTree` etc).

2. Como aplicação do módulo desenvolvido no ponto 1, defina como $\{\text{cata}, \text{ana ou hilo}\}$ -morfismo a função seguinte:

- $\text{calcula} :: \text{Expr} \rightarrow \text{Int}$ que calcula o valor de uma expressão;

Propriedade QuickCheck 1 O valor zero é um elemento neutro da adição.

```
prop_neutro1 :: Expr → Bool
prop_neutro1 = calcula · addZero ≡ calcula where
  addZero e = Bop (Num 0) (Op "+") e
prop_neutro2 :: Expr → Bool
prop_neutro2 = calcula · addZero ≡ calcula where
  addZero e = Bop e (Op "+") (Num 0)
```

Propriedade QuickCheck 2 As operações de soma e multiplicação são comutativas.

```
prop_comuta = calcula · mirror ≡ calcula where
  mirror = cataExpr [Num, g2]
  g2 =  $\widehat{\widehat{\text{Bop}}} \cdot (\text{swap} \times \text{id}) \cdot \text{assocl} \cdot (\text{id} \times \text{swap})$ 
```

3. Defina como $\{\text{cata}, \text{ana ou hilo}\}$ -morfismos as funções

- $\text{compile} :: \text{String} \rightarrow \text{Codigo}$ - trata-se do compilador propriamente dito. Deverá ser gerado código posfixo para uma máquina elementar de **stack**. O tipo *Codigo* pode ser definido à escolha. Dão-se a seguir exemplos de comportamentos aceitáveis para esta função:

```
Tp4> compile "2+4"
["PUSH 2", "PUSH 4", "ADD"]
Tp4> compile "3*(2+4)"
["PUSH 3", "PUSH 2", "PUSH 4", "ADD", "MUL"]
Tp4> compile "(3*2)+4"
["PUSH 3", "PUSH 2", "MUL", "PUSH 4", "ADD"]
Tp4>
```

- $\text{show}' :: \text{Expr} \rightarrow \text{String}$ - gera a representação textual de uma *Expr* pode encarar-se como o *pretty printer* associado ao nosso compilador

Propriedade QuickCheck 3 Em anexo, é fornecido o código da função *readExp*, que é “inversa” da função *show'*, tal como a propriedade seguinte descreve:

```
prop_inv :: Expr → Bool
prop_inv =  $\pi_1 \cdot \text{head} \cdot \text{readExp} \cdot \text{show}' \equiv \text{id}$ 
```

Valorização Em anexo é apresentado código **Haskell** que permite declarar *Expr* como instância da classe *Read*. Neste contexto, *read* pode ser vista como o analisador sintático do nosso minúsculo compilador de expressões aritméticas.

Analise o código apresentado, corra-o e escreva no seu relatório uma explicação **breve** do seu funcionamento, que deverá saber defender aquando da apresentação oral do relatório.

Exprima ainda o analisador sintático *readExp* como um anamorfismo.

Problema 2

Pretende-se neste problema definir uma linguagem gráfica “brinquedo” a duas dimensões (2D) capaz de especificar e desenhar agregações de caixas que contêm informação textual. Vamos designar essa linguagem por *L2D* e vamos defini-la como um tipo em **Haskell**:

```
type L2D = X Caixa Tipo
```

onde *X* é a estrutura de dados



Figura 1: Caixa simples e caixa composta.

data $X \ a \ b = \text{Unid } a \mid \text{Comp } b \ (X \ a \ b) \ (X \ a \ b)$ **deriving** *Show*

e onde:

type $\text{Caixa} = ((\text{Int}, \text{Int}), (\text{Texto}, G.\text{Color}))$
type $\text{Texto} = \text{String}$

Assim, cada caixa de texto é especificada pela sua largura, altura, o seu texto e a sua cor.² Por exemplo,

$((200, 200), (\text{"Caixa azul"}, \text{col_blue}))$

designa a caixa da esquerda da figura 1.

O que a linguagem *L2D* faz é agregar tais caixas tipográficas umas com as outras segundo padrões especificados por vários “tipos”, a saber,

data $\text{Tipo} = V \mid Vd \mid Ve \mid H \mid Ht \mid Hb$

com o seguinte significado:

- V - agregação vertical alinhada ao centro
- Vd - agregação vertical justificada à direita
- Ve - agregação vertical justificada à esquerda
- H - agregação horizontal alinhada ao centro
- Hb - agregação horizontal alinhada pela base
- Ht - agregação horizontal alinhada pelo topo

Como *L2D* instancia o parâmetro b de X com Tipo , é fácil de ver que cada “frase” da linguagem *L2D* é representada por uma árvore binária em que cada nó indica qual o tipo de agregação a aplicar às suas duas sub-árvores. Por exemplo, a frase

$\text{ex2} = \text{Comp } Hb \ (\text{Unid } ((100, 200), (\text{"A"}, \text{col_blue})))$
 $\quad \quad (\text{Unid } ((50, 50), (\text{"B"}, \text{col_green})))$

deverá corresponder à imagem da direita da figura 1. E poder-se-á ir tão longe quando a linguagem o permita. Por exemplo, pense na estrutura da frase que representa o *layout* da figura 2.

É importante notar que cada “caixa” não dispõe informação relativa ao seu posicionamento final na figura. De facto, é a posição relativa que deve ocupar face às restantes caixas que irá determinar a sua posição final. Este é um dos objectivos deste trabalho: *calcular o posicionamento absoluto de cada uma das caixas por forma a respeitar as restrições impostas pelas diversas agregações*. Para isso vamos considerar um tipo de dados que comporta a informação de todas as caixas devidamente posicionadas (i.e. com a informação adicional da origem onde a caixa deve ser colocada).

²Pode relacionar *Caixa* com as caixas de texto usadas nos jornais ou com *frames* da linguagem HTML usada na Internet.



Figura 2: *Layout* feito de várias caixas coloridas.

```
type Fig = [(Origem, Caixa)]
type Origem = (Float, Float)
```

A informação mais relevante deste tipo é a referente à lista de “caixas posicionadas” (tipo $(Origem, Caixa)$). Regista-se aí a origem da caixa que, com a informação da sua altura e comprimento, permite definir todos os seus pontos (consideramos as caixas sempre paralelas aos eixos).

1. Forneça a definição da função *calc_origems*, que calcula as coordenadas iniciais das caixas no plano:

$$calc_origems :: (L2D, Origem) \rightarrow X (Caixa, Origem) ()$$

2. Forneça agora a definição da função *agrup_caixas*, que agrupa todas as caixas e respectivas origens numa só lista:

$$agrup_caixas :: X (Caixa, Origem) () \rightarrow Fig$$

Um segundo problema neste projecto é *descobrir como visualizar a informação gráfica calculada por desenho*. A nossa estratégia para superar o problema baseia-se na biblioteca **Gloss**, que permite a geração de gráficos 2D. Para tal disponibiliza-se a função

$$crCaixa :: Origem \rightarrow Float \rightarrow Float \rightarrow String \rightarrow G.Color \rightarrow G.Picture$$

que cria um rectângulo com base numa coordenada, um valor para a largura, um valor para a altura, um texto que irá servir de etiqueta, e a cor pretendida. Disponibiliza-se também a função

$$display :: G.Picture \rightarrow IO ()$$

que dado um valor do tipo *G.picture* abre uma janela com esse valor desenhado. O objectivo final deste exercício é implementar então uma função

$$mostra_caixas :: (L2D, Origem) \rightarrow IO ()$$

que dada uma frase da linguagem *L2D* e coordenadas iniciais apresenta o respectivo desenho no ecrã.

Sugestão: Use a função *G.pictures* disponibilizada na biblioteca **Gloss**.

Problema 3

Nesta disciplina estudou-se como fazer **programação dinâmica** por cálculo, recorrendo à lei de recursividade mútua.³

Para o caso de funções sobre os números naturais (\mathbb{N}_0 , com functor $F X = 1 + X$) é fácil derivar-se da lei que foi estudada uma *regra de algibeira* que se pode ensinar a programadores que não tenham estudado **Cálculo de Programas**. Apresenta-se de seguida essa regra, tomando como exemplo o cálculo do ciclo-for que implementa a função de Fibonacci, recordar o sistema

$$\begin{aligned} fib\ 0 &= 1 \\ fib\ (n + 1) &= f\ n \\ f\ 0 &= 1 \\ f\ (n + 1) &= fib\ n + f\ n \end{aligned}$$

Obter-se-á de imediato

$$\begin{aligned} fib' &= \pi_1 \cdot \text{for loop init where} \\ loop\ (fib, f) &= (f, fib + f) \\ init &= (1, 1) \end{aligned}$$

usando as regras seguintes:

- O corpo do ciclo *loop* terá tantos argumentos quanto o número de funções mutuamente recursivas.
- Para as variáveis escolhem-se os próprios nomes das funções, pela ordem que se achar conveniente.⁴
- Para os resultados vão-se buscar as expressões respectivas, retirando a variável n .
- Em *init* colecionam-se os resultados dos casos de base das funções, pela mesma ordem.

Mais um exemplo, envolvendo polinómios no segundo grau a $x^2 + bx + c$ em \mathbb{N}_0 . Seguindo o método estudado nas aulas⁵, de $f\ x = ax^2 + bx + c$ derivam-se duas funções mutuamente recursivas:

$$\begin{aligned} f\ 0 &= c \\ f\ (n + 1) &= f\ n + k\ n \\ k\ 0 &= a + b \\ k\ (n + 1) &= k\ n + 2\ a \end{aligned}$$

Seguindo a regra acima, calcula-se de imediato a seguinte implementação, em Haskell:

$$\begin{aligned} f'\ a\ b\ c &= \pi_1 \cdot \text{for loop init where} \\ loop\ (f, k) &= (f + k, k + 2 * a) \\ init &= (c, a + b) \end{aligned}$$

Qual é o assunto desta questão, então? Considerem fórmula que dá a série de Taylor da função coseno:

$$\cos x = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(-1)^i}{(2i)!} x^{2i}$$

Pretende-se o ciclo-for que implementa a função $\cos' x\ n$ que dá o valor dessa série tomando i até n inclusivé:

$$\cos' x = \dots \text{for loop init where } \dots$$

Sugestão: Começar por estudar muito bem o processo de cálculo dado no anexo B para o problema (semelhante) da função exponencial.

Propriedade QuickCheck 4 Testes de que $\cos' x$ calcula bem o coseno de π e o coseno de $\pi / 2$:

$$\begin{aligned} prop_cos1\ n = n \geq 10 &\Rightarrow abs\ (\cos\ \pi - \cos'\ \pi\ n) < 0.001 \\ prop_cos2\ n = n \geq 10 &\Rightarrow abs\ (\cos\ (\pi / 2) - \cos'\ (\pi / 2)\ n) < 0.001 \end{aligned}$$

³Lei (3.94) em [2], página 98.

⁴Podem obviamente usar-se outros símbolos, mas numa primeiraleitura dá jeito usarem-se tais nomes.

⁵Secção 3.17 de [2].

Valorização Transliterar *cos'* para a linguagem C; compilar e testar o código. Conseguia, por intuição apenas, chegar a esta função?

Problema 4

Pretende-se nesta questão desenvolver uma biblioteca de funções para manipular *sistemas de ficheiros* genéricos. Um sistema de ficheiros será visto como uma associação de *nomes* a ficheiros ou *directorias*. Estas últimas serão vistas como sub-sistemas de ficheiros e assim recursivamente. Assumindo que *a* é o tipo dos identificadores dos ficheiros e directorias, e que *b* é o tipo do conteúdo dos ficheiros, podemos definir um tipo indutivo de dados para representar sistemas de ficheiros da seguinte forma:

```
data FS a b = FS [(a, Node a b)] deriving (Eq, Show)
data Node a b = File b | Dir (FS a b) deriving (Eq, Show)
```

Um caminho (*path*) neste sistema de ficheiros pode ser representado pelo seguinte tipo de dados:

```
type Path a = [a]
```

Assumindo estes tipos de dados, o seguinte termo

```
FS [("f1", File "01a"),
    ("d1", Dir (FS [("f2", File "01e"),
                    ("f3", File "01e")
                    ]))
    ]
```

representará um sistema de ficheiros em cuja raíz temos um ficheiro chamado *f1* com conteúdo "01a" e uma directoria chamada "d1" constituída por dois ficheiros, um chamado "f2" e outro chamado "f3", ambos com conteúdo "01e". Neste caso, tanto o tipo dos identificadores como o tipo do conteúdo dos ficheiros é *String*. No caso geral, o conteúdo de um ficheiro é arbitrário: pode ser um binário, um texto, uma colecção de dados, etc.

A definição das usuais funções *inFS* e *recFS* para este tipo é a seguinte:

```
inFS = FS · map (id × inNode)
inNode = [File, Dir]
recFS f = baseFS id id f
```

Suponha que se pretende definir como um *catamorfismo* a função que conta o número de ficheiros existentes num sistema de ficheiros. Uma possível definição para esta função seria:

```
conta :: FS a b → Int
conta = cataFS (sum · map ([1, id] · π2))
```

O que é para fazer:

1. Definir as funções *outFS*, *baseFS*, *cataFS*, *anaFS* e *hyloFS*.
2. Apresentar, no relatório, o diagrama de *cataFS*.
3. Definir as seguintes funções para manipulação de sistemas de ficheiros usando, obrigatoriamente, catamorfismos, anamorfismos ou hilomorfismos:
 - (a) Verificação da integridade do sistema de ficheiros (i.e. verificar que não existem identificadores repetidos dentro da mesma directoria).

```
check :: FS a b → Bool
```

Propriedade QuickCheck 5 A integridade de um sistema de ficheiros não depende da ordem em que os últimos são listados na sua directoria:

```
prop_check :: FS String String → Bool
prop_check = check · (cataFS (inFS · reverse)) ≡ check
```

- (b) Recolha do conteúdo de todos os ficheiros num arquivo indexado pelo *path*.

$tar :: FS\ a\ b \rightarrow [(Path\ a, b)]$

Propriedade QuickCheck 6 O número de ficheiros no sistema deve ser igual ao número de ficheiros listados pela função *tar*.

$prop_tar :: FS\ String\ String \rightarrow Bool$
 $prop_tar = length \cdot tar \equiv conta$

- (c) Transformação de um arquivo com o conteúdo dos ficheiros indexado pelo *path* num sistema de ficheiros.

$untar :: [(Path\ a, b)] \rightarrow FS\ a\ b$

Sugestão: Use a função *joinDupDirs* para juntar directorias que estejam na mesma pasta e que possuam o mesmo identificador.

Propriedade QuickCheck 7 A composição *tar* · *untar* preserva o número de ficheiros no sistema.

$prop_untar :: [(Path\ String, String)] \rightarrow Property$
 $prop_untar = validPaths \Rightarrow ((length \cdot tar \cdot untar) \equiv length)$
 $validPaths :: [(Path\ String, String)] \rightarrow Bool$
 $validPaths = (\equiv 0) \cdot length \cdot (filter\ (\lambda(a, -) \rightarrow length\ a \equiv 0))$

- (d) Localização de todos os *paths* onde existe um determinado ficheiro.

$find :: a \rightarrow FS\ a\ b \rightarrow [Path\ a]$

Propriedade QuickCheck 8 A composição *tar* · *untar* preserva todos os ficheiros no sistema.

$prop_find :: String \rightarrow FS\ String\ String \rightarrow Bool$
 $prop_find = curry\ \$$
 $length \cdot \widehat{find} \equiv length \cdot \widehat{find} \cdot (id \times (untar \cdot tar))$

- (e) Criação de um novo ficheiro num determinado *path*.

$new :: Path\ a \rightarrow b \rightarrow FS\ a\ b \rightarrow FS\ a\ b$

Propriedade QuickCheck 9 A adição de um ficheiro não existente no sistema não origina ficheiros duplicados.

$prop_new :: ((Path\ String, String), FS\ String\ String) \rightarrow Property$
 $prop_new = ((validPath \wedge notDup) \wedge (check \cdot \pi_2)) \Rightarrow$
 $(checkFiles \cdot \widehat{new})\ \mathbf{where}$
 $validPath = (\neq 0) \cdot length \cdot \pi_1 \cdot \pi_1$
 $notDup = \neg \cdot \widehat{elem} \cdot (\pi_1 \times ((fmap\ \pi_1) \cdot tar))$

Questão: Supondo-se que no código acima se substitui a propriedade *checkFiles* pela propriedade mais fraca *check*, será que a propriedade *prop_new* ainda é válida? Justifique a sua resposta.

Propriedade QuickCheck 10 A listagem de ficheiros logo após uma adição nunca poderá ser menor que a listagem de ficheiros antes dessa mesma adição.

$prop_new2 :: ((Path\ String, String), FS\ String\ String) \rightarrow Property$
 $prop_new2 = validPath \Rightarrow ((length \cdot tar \cdot \pi_2) \leq (length \cdot tar \cdot \widehat{new}))\ \mathbf{where}$
 $validPath = (\neq 0) \cdot length \cdot \pi_1 \cdot \pi_1$

- (f) Duplicação de um ficheiro.

$cp :: Path\ a \rightarrow Path\ a \rightarrow FS\ a\ b \rightarrow FS\ a\ b$

Propriedade QuickCheck 11 A listagem de ficheiros com um dado nome não diminui após uma duplicação.

$prop_cp :: ((Path\ String, Path\ String), FS\ String\ String) \rightarrow Bool$
 $prop_cp = length \cdot tar \cdot \pi_2 \leq length \cdot tar \cdot \widehat{cp}$



Figura 3: Exemplo de um sistema de ficheiros visualizado em Graphviz.

(g) Eliminação de um ficheiro.

$rm :: Path\ a \rightarrow FS\ a\ b \rightarrow FS\ a\ b$

Sugestão: Construir um anamorfismo $nav :: (Path\ a, FS\ a\ b) \rightarrow FS\ a\ b$ que navegue por um sistema de ficheiros tendo como base o *path* dado como argumento.

Propriedade QuickCheck 12 *Remover duas vezes o mesmo ficheiro tem o mesmo efeito que o remover apenas uma vez.*

$$prop_rm :: (Path\ String, FS\ String\ String) \rightarrow Bool$$

$$prop_rm = \widehat{rm} \cdot \langle \pi_1, \widehat{rm} \rangle \equiv \widehat{rm}$$

Propriedade QuickCheck 13 *Adicionar um ficheiro e de seguida remover o mesmo não origina novos ficheiros no sistema.*

$$prop_rm2 :: ((Path\ String, String), FS\ String\ String) \rightarrow Property$$

$$prop_rm2 = validPath \Rightarrow ((length \cdot tar \cdot \widehat{rm} \cdot \langle \pi_1 \cdot \pi_1, \widehat{new} \rangle) \leq (length \cdot tar \cdot \pi_2)) \text{ where}$$

$$validPath = (\neq 0) \cdot length \cdot \pi_1 \cdot \pi_1$$

Valorização Definir uma função para visualizar em Graphviz a estrutura de um sistema de ficheiros. A Figura 3, por exemplo, apresenta a estrutura de um sistema com precisamente dois ficheiros dentro de uma directoria chamada "d1".

Para realizar este exercício será necessário apenas escrever o anamorfismo

$$cFS2Exp :: (a, FS\ a\ b) \rightarrow (Exp\ ()\ a)$$

que converte a estrutura de um sistema de ficheiros numa árvore de expressões descrita em Exp.hs. A função *dotFS* depois tratará de passar a estrutura do sistema de ficheiros para o visualizador.

Anexos

A Como exprimir cálculos e diagramas em LaTeX/lhs2tex

Estudar o texto fonte deste trabalho para obter o efeito:⁶

$$\begin{aligned}
 id &= \langle f, g \rangle \\
 &\equiv \{ \text{universal property} \} \\
 &\quad \left\{ \begin{array}{l} \pi_1 \cdot id = f \\ \pi_2 \cdot id = g \end{array} \right. \\
 &\equiv \{ \text{identity} \} \\
 &\quad \left\{ \begin{array}{l} \pi_1 = f \\ \pi_2 = g \end{array} \right. \\
 &\square
 \end{aligned}$$

Os diagramas podem ser produzidos recorrendo à *package* L^AT_EX *xymatrix*, por exemplo:

$$\begin{array}{ccc}
 \mathbb{N}_0 & \xleftarrow{\text{in}} & 1 + \mathbb{N}_0 \\
 \downarrow \langle g \rangle & & \downarrow id + \langle g \rangle \\
 B & \xleftarrow{g} & 1 + B
 \end{array}$$

B Programação dinâmica por recursividade múltipla

Neste anexo dão-se os detalhes da resolução do Exercício 3.30 dos apontamentos da disciplina⁷, onde se pretende implementar um ciclo que implemente o cálculo da aproximação até $i = n$ da função exponencial $\exp x = e^x$ via série de Taylor:

$$\exp x = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{x^i}{i!} \quad (1)$$

Seja $e\ x\ n = \sum_{i=0}^n \frac{x^i}{i!}$ a função que dá essa aproximação. É fácil de ver que $e\ x\ 0 = 1$ e que $e\ x\ (n+1) = e\ x\ n + \frac{x^{n+1}}{(n+1)!}$. Se definirmos $h\ x\ n = \frac{x^{n+1}}{(n+1)!}$ teremos $e\ x$ e $h\ x$ em recursividade mútua. Se repetirmos o processo para $h\ x\ n$ etc obteremos no total três funções nessa mesma situação:

$$\begin{aligned}
 e\ x\ 0 &= 1 \\
 e\ x\ (n+1) &= h\ x\ n + e\ x\ n \\
 h\ x\ 0 &= x \\
 h\ x\ (n+1) &= x / (s\ n) * h\ x\ n \\
 s\ 0 &= 2 \\
 s\ (n+1) &= 1 + s\ n
 \end{aligned}$$

Segundo a *regra de algibeira* descrita na página 3 deste enunciado, ter-se-á, de imediato:

$$\begin{aligned}
 e'\ x &= prj \cdot \text{for loop init where} \\
 init &= (1, x, 2) \\
 loop\ (e, h, s) &= (h + e, x / s * h, 1 + s) \\
 prj\ (e, h, s) &= e
 \end{aligned}$$

⁶Exemplos tirados de [2].

⁷Cf. [2], página 102.

C Código fornecido

Problema 1

Tipos:

```
data Expr = Num Int
          | Bop Expr Op Expr deriving (Eq, Show)
data Op = Op String deriving (Eq, Show)
type Codigo = [String]
```

Functor de base:

$$\text{baseExpr } f \ g = \text{id} + (f \times (g \times g))$$

Instâncias:

```
instance Read Expr where
  readsPrec _ = readExp
```

Read para Exp's:

```
readOp :: String → [(Op, String)]
readOp input = do
  (x, y) ← lex input
  return ((Op x), y)
readNum :: ReadS Expr
readNum = (map (λ(x, y) → ((Num x), y))) · reads
readBinOp :: ReadS Expr
readBinOp = (map (λ((x, (y, z)), t) → ((Bop x y z), t))) ·
  ((readNum 'ou' (pcurvos readExp))
   'depois' (readOp 'depois' readExp))
readExp :: ReadS Expr
readExp = readBinOp 'ou' (
  readNum 'ou' (
    pcurvos readExp))
```

Combinadores:

```
depois :: (ReadS a) → (ReadS b) → ReadS (a, b)
depois _ _ [] = []
depois r1 r2 input = [((x, y), i2) | (x, i1) ← r1 input,
  (y, i2) ← r2 i1]
readSeq :: (ReadS a) → ReadS [a]
readSeq r input
  = case (r input) of
    [] → [([], input)]
    l → concat (map continua l)
    where continua (a, i) = map (c a) (readSeq r i)
      c x (xs, i) = ((x : xs), i)
ou :: (ReadS a) → (ReadS a) → ReadS a
ou r1 r2 input = (r1 input) ++ (r2 input)
senao :: (ReadS a) → (ReadS a) → ReadS a
senao r1 r2 input = case (r1 input) of
  [] → r2 input
  l → l
readConst :: String → ReadS String
readConst c = (filter ((≡ c) · π1)) · lex
pcurvos = parenthesis ' ( ' ' ' '
prectos = parenthesis ' [ ' ' ' ] '
chavetas = parenthesis ' { ' ' ' } '
```

```

parenthesis :: Char → Char → (ReadS a) → ReadS a
parenthesis _ _ _ [] = []
parenthesis ap pa r input
  = do
    ((_, (x, _)), c) ← ((readConst [ap]) 'depois' (
      r 'depois' (
        readConst [pa]))) input
    return (x, c)

```

Problema 2

Tipos:

```

type Fig = [(Origem, Caixa)]
type Origem = (Float, Float)

```

“Helpers”:

```

col_blue = G.azure
col_green = darkgreen
darkgreen = G.dark (G.dark G.green)

```

Exemplos:

```

ex1Caixas = G.display (G.InWindow "Problema 4" (400,400) (40,40)) G.white $
  crCaixa (0,0) 200 200 "Caixa azul" col_blue
ex2Caixas = G.display (G.InWindow "Problema 4" (400,400) (40,40)) G.white $
  caixasAndOrigin2Pict ((Comp Hb bbox gbox), (0.0,0.0)) where
    bbox = Unid ((100,200), ("A", col_blue))
    gbox = Unid ((50,50), ("B", col_green))
ex3Caixas = G.display (G.InWindow "Problema 4" (400,400) (40,40)) G.white mtest where
  mtest = caixasAndOrigin2Pict $ (Comp Hb (Comp Ve bot top) (Comp Ve gbox2 ybox2), (0.0,0.0))
  bbox1 = Unid ((100,200), ("A", col_blue))
  bbox2 = Unid ((150,200), ("E", col_blue))
  gbox1 = Unid ((50,50), ("B", col_green))
  gbox2 = Unid ((100,300), ("F", col_green))
  rbox1 = Unid ((300,50), ("C", G.red))
  rbox2 = Unid ((200,100), ("G", G.red))
  wbox1 = Unid ((450,200), (" ", G.white))
  ybox1 = Unid ((100,200), ("D", G.yellow))
  ybox2 = Unid ((100,300), ("H", G.yellow))
  bot = Comp Hb wbox1 bbox2
  top = (Comp Ve (Comp Hb bbox1 gbox1) (Comp Hb rbox1 (Comp H ybox1 rbox2)))

```

A seguinte função cria uma caixa a partir dos seguintes parâmetros: origem, largura, altura, etiqueta e cor de preenchimento.

```

crCaixa :: Origem → Float → Float → String → G.Color → G.Picture
crCaixa (x,y) w h l c = G.Translate (x + (w / 2)) (y + (h / 2)) $ G.pictures [caixa, etiqueta] where
  caixa = G.color c (G.rectangleSolid w h)
  etiqueta = G.translate calc_trans_x calc_trans_y $
    G.Scale calc_scale calc_scale $ G.color G.black $ G.Text l
  calc_trans_x = (-(fromIntegral (length l)) * calc_scale) / 2 * base_shift_x
  calc_trans_y = (-calc_scale / 2) * base_shift_y
  calc_scale = bscale * (min h w)
  bscale = 1 / 700
  base_shift_y = 100
  base_shift_x = 64

```

Função para visualizar resultados gráficos:

```

display = G.display (G.InWindow "Problema 4" (400,400) (40,40)) G.white

```

Problema 4

Funções para gestão de sistemas de ficheiros:

```
concatFS = inFS ·  $\widehat{(\text{++})}$  · (outFS × outFS)
mkdir (x, y) = FS [(x, Dir y)]
mkfile (x, y) = FS [(x, File y)]
joinDupDirs :: (Eq a) ⇒ (FS a b) → (FS a b)
joinDupDirs = anaFS (prepOut · (id × proc) · prepIn) where
  prepIn = (id × (map (id × outFS))) · sls · (map distr) · outFS
  prepOut = (map undistr) ·  $\widehat{(\text{++})}$  · ((map i1) × (map i2)) · (id × (map (id × inFS)))
  proc = concat · (map joinDup) · groupByName
  sls = ⟨lefts, rights⟩
joinDup :: [(a, [b])] → [(a, [b])]
joinDup = cataList [nil, g] where g = return · ⟨π1 · π1, concat · (map π2) ·  $\widehat{(\text{::})}$ ⟩
createFSfromFile :: (Path a, b) → (FS a b)
createFSfromFile ([a], b) = mkfile (a, b)
createFSfromFile (a : as, b) = mkdir (a, createFSfromFile (as, b))
```

Funções auxiliares:

```
checkFiles :: (Eq a) ⇒ FS a b → Bool
checkFiles = cataFS ( $\widehat{(\text{--})}$  · ⟨f, g⟩) where
  f = nr · (fmap π1) · lefts · (fmap distr)
  g = and · rights · (fmap π2)
groupByName :: (Eq a) ⇒ [(a, [b])] → [[(a, [b])]]
groupByName = (groupBy (curry p)) where
  p =  $\widehat{(\text{==})}$  · (π1 × π1)
filterPath :: (Eq a) ⇒ Path a → [(Path a, b)] → [(Path a, b)]
filterPath = filter · (λp → λ(a, b) → p ≡ a)
```

Dados para testes:

- Sistema de ficheiros vazio:

```
efs = FS []
```

- Nível 0

```
f1 = FS [("f1", File "hello world")]
f2 = FS [("f2", File "more content")]
f00 = concatFS (f1, f2)
f01 = concatFS (f1, mkdir ("d1", efs))
f02 = mkdir ("d1", efs)
```

- Nível 1

```
f10 = mkdir ("d1", f00)
f11 = concatFS (mkdir ("d1", f00), mkdir ("d2", f00))
f12 = concatFS (mkdir ("d1", f00), mkdir ("d2", f01))
f13 = concatFS (mkdir ("d1", f00), mkdir ("d2", efs))
```

- Nível 2

```
f20 = mkdir ("d1", f10)
f21 = mkdir ("d1", f11)
f22 = mkdir ("d1", f12)
f23 = mkdir ("d1", f13)
f24 = concatFS (mkdir ("d1", f10), mkdir ("d2", f12))
```

- Sistemas de ficheiros inválidos:

```
ifs0 = concatFS (f1, f1)
ifs1 = concatFS (f1, mkdir ("f1", efs))
ifs2 = mkdir ("d1", ifs0)
ifs3 = mkdir ("d1", ifs1)
ifs4 = concatFS (mkdir ("d1", ifs1), mkdir ("d2", f12))
ifs5 = concatFS (mkdir ("d1", f1), mkdir ("d1", f2))
ifs6 = mkdir ("d1", ifs5)
ifs7 = concatFS (mkdir ("d1", f02), mkdir ("d1", f02))
```

Visualização em **Graphviz**:

```
dotFS :: FS String b → IO ExitCode
dotFS = dotpict · bmap " " id · (cFS2Exp "root")
```

Outras funções auxiliares

Lógicas:

```
infixr 0 ⇒
(⇒) :: (Testable prop) ⇒ (a → Bool) → (a → prop) → a → Property
p ⇒ f = λa → p a ⇒ f a
infixr 0 ⇔
(⇔) :: (a → Bool) → (a → Bool) → a → Property
p ⇔ f = λa → (p a ⇒ property (f a)) .&&. (f a ⇒ property (p a))
infixr 4 ≡
(≡) :: Eq b ⇒ (a → b) → (a → b) → (a → Bool)
f ≡ g = λa → f a ≡ g a
infixr 4 ≤
(≤) :: Ord b ⇒ (a → b) → (a → b) → (a → Bool)
f ≤ g = λa → f a ≤ g a
infixr 4 ∧
(∧) :: (a → Bool) → (a → Bool) → (a → Bool)
f ∧ g = λa → ((f a) ∧ (g a))
```

Compilação e execução dentro do interpretador:⁸

```
run = do { system "ghc cp1819t"; system "./cp1819t" }
```

D Soluções dos alunos

Os alunos devem colocar neste anexo as suas soluções aos exercícios propostos, de acordo com o “layout” que se fornece. Não podem ser alterados os nomes ou tipos das funções dadas, mas pode ser adicionado texto e/ou outras funções auxiliares que sejam necessárias.

Problema 1

Funções gerais:

```
inExpr :: Int + (Op, (Expr, Expr)) → Expr
inExpr (i1 x) = Num x
inExpr (i2 (Op o, (a, b))) = Bop a (Op o) b
outExpr :: Expr → Int + (Op, (Expr, Expr))
```

⁸Pode ser útil em testes envolvendo **Gloss**. Nesse caso, o teste em causa deve fazer parte de uma função *main*.

$outExpr (Num x) = i_1 x$
 $outExpr (Bop a (Op o) b) = i_2 (Op o, (a, b))$
 $recExpr f = baseExpr id f$
 $cataExpr g = g \cdot recExpr (cataExpr g) \cdot outExpr$

$$\begin{array}{ccc}
 Expr & \xrightarrow{\quad outExpr \quad} & Int + (Op \times (Expr \times Expr)) \\
 \downarrow cataExpr\ g & & \downarrow \text{map } (id + (id \times (cataExpr\ g \times cataExpr\ g))) \\
 C & \xleftarrow{\quad g \quad} & Int + (Op \times (C \times C))
 \end{array}$$

Função calcula

$calcula (Num x) = x$
 $calcula (Bop x (Op y) z) \mid y \equiv "+" = (calcula x) + (calcula z)$
 $\mid y \equiv "*" = (calcula x) * (calcula z)$
 $\mid y \equiv "-" = (calcula x) - (calcula z)$
 $\mid y \equiv "/" = calcula x \div calcula z$
 $\mid otherwise = \perp$

Função show'

$show' :: Expr \rightarrow String$
 $show' (Num x) = show x$
 $show' (Bop a (Op b) c) = "(" ++ (show' a) ++ " " ++ (show' b) ++ " " ++ (show' c) ++ ")"$

Função compile

$compileAux :: Expr \rightarrow Codigo$
 $compileAux (Num a) = ["PUSH " ++ (show a)]$
 $compileAux (Bop x (Op y) z) \mid y \equiv "+" = concat \$ (compileAux x) : (compileAux z) : ["ADD"]$
 $\mid y \equiv "*" = concat \$ (compileAux x) : (compileAux z) : ["MUL"]$
 $\mid y \equiv "-" = concat \$ (compileAux x) : (compileAux z) : ["SUB"]$
 $\mid y \equiv "/" = concat \$ (compileAux x) : (compileAux z) : ["DIV"]$
 $\mid otherwise = \perp$
 $compile :: String \rightarrow Codigo$
 $compile x = compileAux \$ read x$

Problema 2

Funções gerais:

$inL2D :: a + (b, (X a b, X a b)) \rightarrow X a b$
 $inL2D (i_1 a) = Unid a$
 $inL2D (i_2 (b, (x, y))) = Comp b x y$
 $outL2D :: X a b \rightarrow a + (b, (X a b, X a b))$
 $outL2D (Unid a) = i_1 a$
 $outL2D (Comp b x y) = i_2 (b, (x, y))$
 $recL2D f = baseL2D id id f$
 $baseL2D f g h i = f + (g \times (h \times i))$
 $cataL2D g = g \cdot recL2D (cataL2D g) \cdot outL2D$

$$\begin{array}{ccc}
X \ A \ B & \xrightarrow{\text{outL2D}} & A + (B \times (X \ A \ B \times X \ A \ B)) \\
\text{cataL2D } g \downarrow & & \downarrow \text{map } (id + (id \times (\text{cataL2D } g \times \text{cataL2D } g))) \\
C & \xleftarrow{g} & A + (B \times (C \times C))
\end{array}$$

$$\text{anaL2D } g = \text{inL2D} \cdot \text{recL2D } (\text{anaL2D } g) \cdot g$$

$$\begin{array}{ccc}
C & \xrightarrow{g} & A + (B \times (C \times C)) \\
\text{anaL2D } g \downarrow & & \downarrow \text{map } (id + (id \times (\text{anaL2D } g \times \text{anaL2D } g))) \\
X \ A \ B & \xleftarrow{\text{inFS}} & A + (B \times (X \ A \ B \times X \ A \ B))
\end{array}$$

$$\text{collectLeafs} = \perp$$

Função dimen

$$\begin{aligned}
\text{dimen} &:: X \ \text{Caixa} \ \text{Tipo} \rightarrow (\text{Float}, \text{Float}) \\
\text{dimen} &= \text{cataL2D } g
\end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned}
g &:: \text{Caixa} + (\text{Tipo}, ((\text{Float}, \text{Float}), (\text{Float}, \text{Float}))) \rightarrow (\text{Float}, \text{Float}) \\
g \ (i_1 \ ((x, y), -)) &= (\text{fromIntegral } x, \text{fromIntegral } y) \\
g \ (i_2 \ (H, ((x1, y1), (x2, y2)))) & \mid (y1 / 2) < y2 = (x1 + x2, (y1 / 2) + y2) \\
& \mid \text{otherwise} = (x1 + x2, y1) \\
g \ (i_2 \ (Hb, ((x1, y1), (x2, y2)))) &= (x1 + x2, \max y1 \ y2) \\
g \ (i_2 \ (Ht, ((x1, y1), (x2, y2)))) &= (x1 + x2, y1 + y2) \\
g \ (i_2 \ (V, ((x1, y1), (x2, y2)))) & \mid (x1 / 2) < x2 = ((x1 / 2) + x2, y1 + y2) \\
& \mid \text{otherwise} = (x1, y1 + y2) \\
g \ (i_2 \ (Ve, ((x1, y1), (x2, y2)))) &= (\max x1 \ x2, y1 + y2) \\
g \ (i_2 \ (Vd, ((x1, y1), (x2, y2)))) &= (x1 + x2, y1 + y2)
\end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc}
X \ \text{Caixa} \ \text{Tipo} & \xrightarrow{\text{outL2D}} & \text{Caixa} + (\text{Tipo} \times (X \ \text{Caixa} \ \text{Tipo} \times X \ \text{Caixa} \ \text{Tipo})) \\
\text{cataL2D } g \downarrow & & \downarrow \text{map } (id + (id \times (\text{cataL2D } g \times \text{cataL2D } g))) \\
(\text{Float}, \text{Float}) & \xleftarrow{g} & \text{Caixa} + (\text{Tipo} \times ((\text{Float}, \text{Float}) \times (\text{Float}, \text{Float})))
\end{array}$$

Função calcOrigins

$$\begin{aligned}
\text{calcOrigins} &:: ((X \ \text{Caixa} \ \text{Tipo}), \text{Origem}) \rightarrow X \ (\text{Caixa}, \text{Origem}) \ () \\
\text{calcOrigins} &= \text{anaL2D } g
\end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned}
g &:: ((X \ \text{Caixa} \ \text{Tipo}), \text{Origem}) \rightarrow (\text{Caixa}, \text{Origem}) + ((), ((X \ \text{Caixa} \ \text{Tipo}, \text{Origem}), (X \ \text{Caixa} \ \text{Tipo}, \text{Origem}))) \\
g \ (\text{Unid } \text{caixa}, \text{origem}) &= i_1 \ (\text{caixa}, \text{origem}) \\
g \ (\text{Comp } t \ x \ y, \text{origem}) &= i_2 \ ((), ((x, \text{origem}), (y, \text{calc } t \ \text{origem } (\text{dimen } x))))
\end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc}
((X \ \text{Caixa} \ \text{Tipo}), \text{Origem}) & \xrightarrow{g} & A + (B \times ((X \ \text{Caixa} \ \text{Tipo}), \text{Origem}) \times ((X \ \text{Caixa} \ \text{Tipo}), \text{Origem})) \\
\text{anaL2D } g \downarrow & & \downarrow \text{map } (id + (id \times (\text{anaL2D } g \times \text{anaL2D } g))) \\
X \ (\text{Caixa}, \text{Origem}) \ () & \xleftarrow{\text{inFS}} & A + (B \times (X \ (\text{Caixa}, \text{Origem}) \ () \times X \ (\text{Caixa}, \text{Origem}) \ ()))
\end{array}$$

Função agrup_caixas

```

agrup_caixas :: X (Caixa, Origem) () → Fig
agrup_caixas = cataL2D g
  where
    g (i1 (caixa, origem)) = [(origem, caixa)]
    g (i2 (), (fig1, fig2)) = fig1 ++ fig2

```

$$\begin{array}{ccc}
 X (Caixa, Origem) () & \xrightarrow{\text{outL2D}} & Caixa + (Tipo \times (X (Caixa, Origem) () \times X (Caixa, Origem) ())) \\
 \downarrow \text{cataL2D } g & & \downarrow \text{map } (id + (id \times (cataL2D \, g \times cataL2D \, g))) \\
 Fig & \xleftarrow{g} & Caixa + (Tipo \times (Fig \times Fig))
 \end{array}$$

Função calc

```

calc :: Tipo → Origem → (Float, Float) → Origem -- relação das caixas -> posição da caixa a) -> posição relativa
calc V (x, y) (x2, y2) = (x + (x2 / 2), y2 + y)
calc Vd (x, y) (x2, y2) = (x2 + x, y2 + y)
calc Ve (x, y) (x2, y2) = (x, y2 + y)
calc H (x, y) (x2, y2) = (x2 + x, y + (y2 / 2))
calc Ht (x, y) (x2, y2) = (x2 + x, y2 + y)
calc Hb (x, y) (x2, y2) = (x2 + x, y)

```

Função mostra_caixas

```

mostra_caixas :: (L2D, Origem) → IO ()
mostra_caixas x = display $ caixasAndOrigin2Pict x

```

Função caixasAndOrigin2Pict

```

caixasAndOrigin2Pict x = G.pictures $ map f $ agrup_caixas $ calcOrigins x
  where
    f (origem, caixa) = crCaixa origem (fromIntegral $ π1 $ dimenCaixa caixa) (fromIntegral $ π2 $ dimenCaixa caixa)

```

Função auxiliares

```

dimenCaixa ((x, y), t) = (fromIntegral x, fromIntegral y)
stringCaixa (x, (string, color)) = string
colorCaixa (x, (string, color)) = color

```

Problema 3

Solução

```

cal x = -(x ↑ 2) / 2
cos' x = prj · for loop init where
  loop (c, h, s, k) = (c + h, h * (-(x ↑ 2)) / s, s + k, k + 8)
  init = (1, a1, 12, 18)
  a1 = -(x ↑ 2) / 2
  prj (c, h, s, k) = c

```

Problema 4

Triologia “ana-cata-hilo”:

$outFS (FS\ l) = \text{map } f\ l$
where
 $f\ (x, y) = (x, outNode\ y)$
 $outNode\ (File\ f) = i_1\ f$
 $outNode\ (Dir\ g) = i_2\ g$
 $baseFS\ f\ g\ h = \text{map } (f \times (g + h))$
 $cataFS :: [(a, b + c)] \rightarrow c \rightarrow FS\ a\ b \rightarrow c$
 $cataFS\ g = g \cdot recFS\ (cataFS\ g) \cdot outFS$

$$\begin{array}{ccc}
 FS\ A\ B & \xrightarrow{outFS} & [A \times (B + FS\ A\ B)] \\
 cataFS\ g \downarrow & & \downarrow \text{map } (id + id \times cataFS\ g) \\
 C & \xleftarrow{g} & [A \times (B + C)]
 \end{array}$$

$anaFS :: (c \rightarrow [(a, b + c)]) \rightarrow c \rightarrow FS\ a\ b$
 $anaFS\ g = inFS \cdot recFS\ (anaFS\ g) \cdot g$

$$\begin{array}{ccc}
 C & \xrightarrow{g} & [A \times (B + C)] \\
 anaFS\ g \downarrow & & \downarrow \text{map } (id + id \times anaFS\ g) \\
 FS\ A\ B & \xleftarrow{inFS} & [A \times (B + FS\ A\ B)]
 \end{array}$$

$hyloFS\ g\ h = cataFS\ g \cdot anaFS\ h$

$$\begin{array}{ccc}
 FS\ A\ B & \xrightarrow{outFS} & [A \times (B + FS\ A\ B)] \\
 cataFS\ g \downarrow & & \downarrow \text{map } (id + id \times cataFS\ g) \\
 C & \xleftarrow{g} & [A \times (B + C)] \\
 id \downarrow & & \\
 C & \xrightarrow{g} & [A \times (B + C)] \\
 anaFS\ g \downarrow & & \downarrow \text{map } (id + id \times anaFS\ g) \\
 FS\ A\ B & \xleftarrow{inFS} & [A \times (B + FS\ A\ B)]
 \end{array}$$

Outras funções pedidas:

Função check

$check :: (Eq\ a) \Rightarrow FS\ a\ b \rightarrow Bool$
 $check = cataFS\ g$
where
 $g\ l = \text{length } l \equiv (\text{length } \$ (cataList\ f) \$ (\text{map } \pi_1\ l)) \wedge (\text{all } [true, id] (\text{map } \pi_2\ l))$
 $f\ (i_1\ -) = []$
 $f\ (i_2\ (h, t)) \mid elem\ h\ t = t$
 $\mid otherwise = (h : t)$

$$\begin{array}{ccc}
 FS\ A\ B & \xrightarrow{outFS} & [A \times (B + FS\ A\ B)] \\
 cataFS\ g \downarrow & & \downarrow \text{map } (id + id \times cataFS\ g) \\
 Bool & \xleftarrow{g} & [A \times (B + Bool)]
 \end{array}$$

Função tar

$tar :: FS\ a\ b \rightarrow [(Path\ a, b)]$
 $tar = cataFS\ g$
where
 $g\ l = concat\ (\text{map}\ f\ l)$
 $f\ (a, i_1\ b) = [(a), b]$
 $f\ (a, i_2\ lista) = \text{map}\ (h\ a)\ lista$
 $h\ elemento\ (lista2, conteudo) = (elemento : lista2, conteudo)$

$$\begin{array}{ccc}
 FS\ A\ B & \xrightarrow{\quad outFS \quad} & [A \times (B + FS\ A\ B)] \\
 \downarrow \text{cataFS } g & & \downarrow \text{map } (id + id \times cataFS\ g) \\
 [(Path\ A, B)] & \xleftarrow{\quad g \quad} & [A \times (B + [(Path\ A, B)])]
 \end{array}$$

Função untar

$untar :: (Eq\ a) \Rightarrow [(Path\ a, b)] \rightarrow FS\ a\ b$
 $untar = anaFS\ g$
where
 $g\ l = \text{map}\ f\ l$
 $f\ ([h], file) = (h, i_1\ file)$
 $f\ ((h : t), file) = (h, i_2\ [(t, file)])$

$$\begin{array}{ccc}
 [(Path\ A, B)] & \xrightarrow{\quad g \quad} & [A \times (B + [(Path\ A, B)])] \\
 \downarrow \text{cataFS } g & & \downarrow \text{map } (id + id \times cataFS\ g) \\
 FS\ A\ B & \xleftarrow{\quad inFS \quad} & [A \times (B + FS\ A\ B)]
 \end{array}$$

Função find

$find :: (Eq\ a) \Rightarrow a \rightarrow FS\ a\ b \rightarrow [Path\ a]$
 $find\ file = filter\ (\neg \cdot null) \cdot cataFS\ (concat \cdot g)$
where
 $g = \text{map}\ f$
 $f\ (a, i_1\ b) \mid file \equiv a = [(a)]$
 $\quad \mid otherwise = []$
 $f\ (a, i_2\ l) \mid file \equiv a = \text{map}\ (insA\ a)\ l$
 $\quad \mid otherwise = l$
 $insA\ a\ [] = [a]$
 $insA\ a\ l = a : l$

$$\begin{array}{ccc}
 FS\ A\ B & \xrightarrow{\quad outFS \quad} & [A \times (B + FS\ A\ B)] \\
 \downarrow \text{cataFS } g & & \downarrow \text{map } (id + id \times cataFS\ g) \\
 [Path\ A] & \xleftarrow{\quad g \quad} & [A \times (B + [Path\ A])]
 \end{array}$$

Função new

$new :: (Eq\ a) \Rightarrow Path\ a \rightarrow b \rightarrow FS\ a\ b \rightarrow FS\ a\ b$
 $new\ path\ file = untar \cdot f\ (path, file) \cdot tar$
where
 $f\ a\ l = a : l$

Resposta: Continua a ser válida pois como a *check* vê se existe ficheiros e diretorias repetidas e a *check-Files* vê apenas ficheiros, então neste caso não vai fazer diferença porque o que as duas tem em comum é o que a função *new* adiciona.

Função *cp*

$$\begin{aligned}
cp &:: (Eq\ a) \Rightarrow Path\ a \rightarrow Path\ a \rightarrow FS\ a\ b \rightarrow FS\ a\ b \\
cp\ src\ fnl &= untar \cdot (f\ src\ fnl) \cdot tar \\
\textbf{where} \\
f\ []\ \pi_2\ l &= l \\
f\ \pi_1\ []\ l &= l \\
f\ \pi_1\ \pi_2\ [] &= [] \\
f\ \pi_1\ \pi_2\ l &= (\pi_2, procura\ \pi_1\ l) : l \\
procura\ path\ ((p, file) : t) &| p \equiv path = file \\
&| otherwise = procura\ path\ t
\end{aligned}$$

Função *rm*

$$\begin{aligned}
rm &:: (Eq\ a) \Rightarrow (Path\ a) \rightarrow (FS\ a\ b) \rightarrow FS\ a\ b \\
rm\ path &= untar \cdot f\ path \cdot tar \\
\textbf{where} \\
f\ []\ l &= l \\
f\ -\ [] &= [] \\
f\ path\ ((p, file) : t) &| path \equiv p = t \\
&| otherwise = (p, file) : f\ path\ t \\
cFS2Exp &:: a \rightarrow FS\ a\ b \rightarrow (Exp\ ()\ a) \\
cFS2Exp &= \perp
\end{aligned}$$

Índice

LaTeX, 1
 lhs2TeX, 1

Cálculo de Programas, 1, 2, 6
 Material Pedagógico, 1

Combinador “pointfree”
 cata, 10
 either, 3, 7, 13, 18

Função
 π_1 , 3, 6, 8–11, 13, 17, 18, 20
 π_2 , 7–10, 13, 17, 18, 20
 for, 6, 10, 17
 length, 8, 9, 12, 18
 map, 7, 11, 13, 15–19
 uncurry, 3, 8, 9, 13

Functor, 2, 5, 6, 14, 17

GCC, 2

Graphviz, 9, 14

Haskell, 1–3
 “Literate Haskell”, 1
 Gloss, 2, 5, 14
 interpretador
 GHCi, 2
 QuickCheck, 2

HTML, 4

Números naturais (\mathbb{N}), 6, 10

Programação dinâmica, 6

Programação literária, 1

Stack machine, 3

U.Minho
 Departamento de Informática, 1

Utilitário
 LaTeX
 bibtex, 2
 makeindex, 2

Referências

- [1] D.E. Knuth. *Literate Programming*. CSLI Lecture Notes Number 27. Stanford University Center for the Study of Language and Information, Stanford, CA, USA, 1992.
- [2] J.N. Oliveira. *Program Design by Calculation*, 2018. Draft of textbook in preparation. viii+297 pages. Informatics Department, University of Minho.