

# APLICAÇÃO DE REDES NEURONAIS À ANÁLISE DE RESULTADOS DA OBSERVAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE SECÇÕES PILOTO DE PAVIMENTOS DA REDE DA BRISA

Simona Fontul

LNEC

Maria de Lurdes Antunes

LNEC

Pedro Domingos

LNEC

Dora Baptista

Brisa

# Objectivos

Campanhas de observação do comportamento de secções piloto

⇒ Validação e calibração de modelos de evolução do comportamento

→ Sistema de Gestão da Conservação

⇒ Avaliação das variações sazonais do comportamento estrutural dos pavimentos

# Secções Piloto



## ⇒ Critérios de selecção

- Diferentes estruturas de pavimentos
- Diferentes tipos de camada de desgaste
- Tipos mais comuns de solos de fundação

## ⇒ Características

- 300 m
- Via exterior
- Conjuntos de 2 secções

**"HOMOGÉNEAS"**

- Aterro
- Escavação

# Secções Piloto

Auto-Estrada

Nº de Secções

<u>A1</u>	<u>A2</u>	<u>A3</u>	<u>A4</u>	<u>A5</u>	<u>A6</u>	<u>A9</u>	<u>A12</u>
10	6	4	6	2	4	6	2

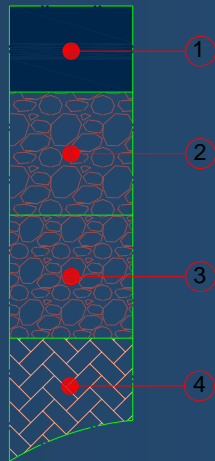
A2  
6

A3  
4

SUB-LANÇO	SECÇÃO	SENTIDO	Pk <sub>inicial</sub>	Pk <sub>final</sub>
Almada/Fogueteiro	A2-1	S/N	9+550	9+250
	A2-2	S/N	10+500	10+200
Coina/Palmela	A2-3	S/N	29+300	29+000
	A2-4	S/N	30+500	30+200
Alcácer/ Grândola	A2-5	N/S	84+300	84+600
	A2-6	N/S	85+700	86+000
Maia/Sto Tirso	A3-1	N/S	10+000	9+700
	A3-2	N/S	11+800	11+500
Ponte de Lima/EN 303	A3-3	N/S	82+100	81+800
	A3-4	N/S	93+000	92+700

# Estrutura do pavimento

## Espessura das camadas (m)



Camadas	A2-1	A2-3	A2-5	A3-1	A3-3
	A2-2	A2-4	A2-6	A3-2	A3-4
1. Misturas betuminosas	0,325	0,210	0,265 0,255	0,320 0,310	0,240
2. Base Granular	0,200	0,300	0,200	0,270	0,200
3. Sub-base granular	0,200	0,300	0,150	0,220	0,200

Camada de desgaste	A2-1	A2-3	A2-5	A3-1	A3-3
	A2-2	A2-4	A2-6	A3-2	A3-4
Betão Betuminoso	rugoso	"normal"	rugoso	drenante	drenante

# Campanhas de Ensaio

## ⇒ Características Funcionais

- Inspeção visual
- Regularidade superficial
- Características antiderrapantes

## ⇒ Características estruturais

- Ensaio de carga com o FWD
  - 6 campanhas em diferentes épocas do ano



APLICAÇÃO DE RN À ANÁLISE DE RESULTADOS EM SECÇÕES PILOTO DA REDE DA BRISA  
Simona Fontul, Maria de Lurdes Antunes, Pedro Domingos e Dora Batista

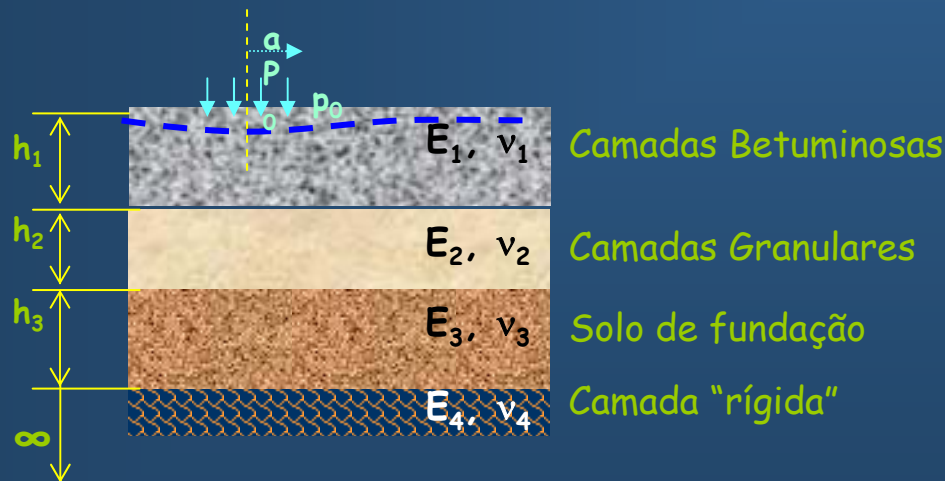


# Interpretação dos resultados

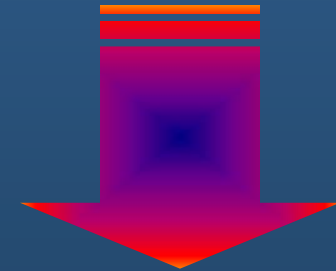
## MÓDULOS DE DEFORMABILIDADE

- ☞ diferentes temperaturas das camadas betuminosas
- ☞ diferentes condições hídricas da fundação

### Modelo do pavimento



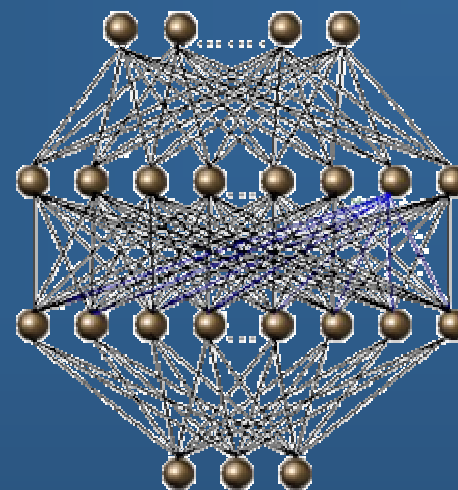
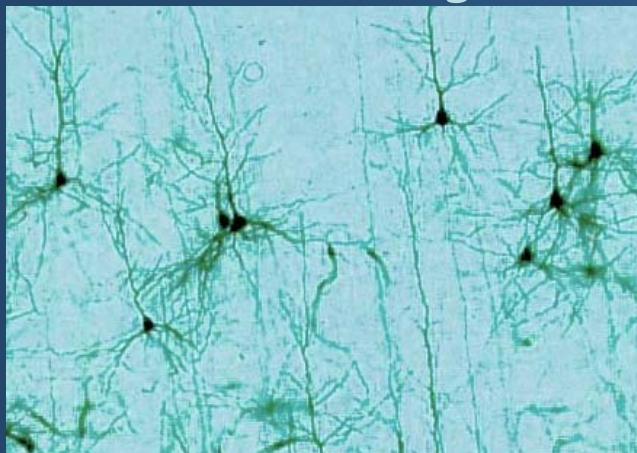
NÚMERO ELEVADO DE DADOS



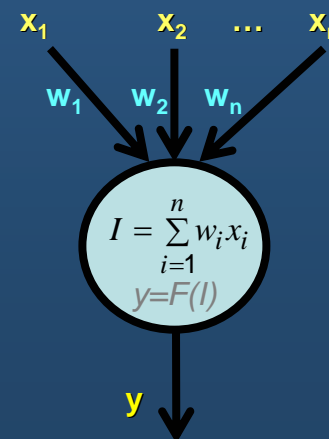
REDES NEURONAIS ARTIFICIAIS

# Redes Neurais - conceitos gerais

## ● Neurónio biológico



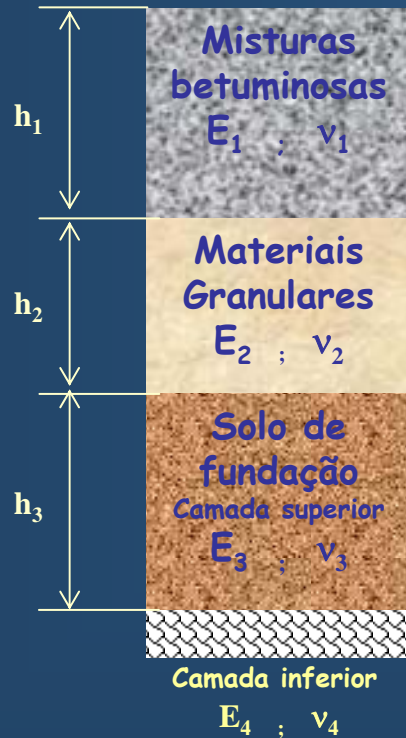
- Coleccionar estímulos ("inputs");
- Processar dados:
  - ponderar pelos pesos da ligação ( $w_i$ );
  - somar os estímulos resultantes;
  - aplicar a função de transferência "F";
- Gerar resposta ("outputs").



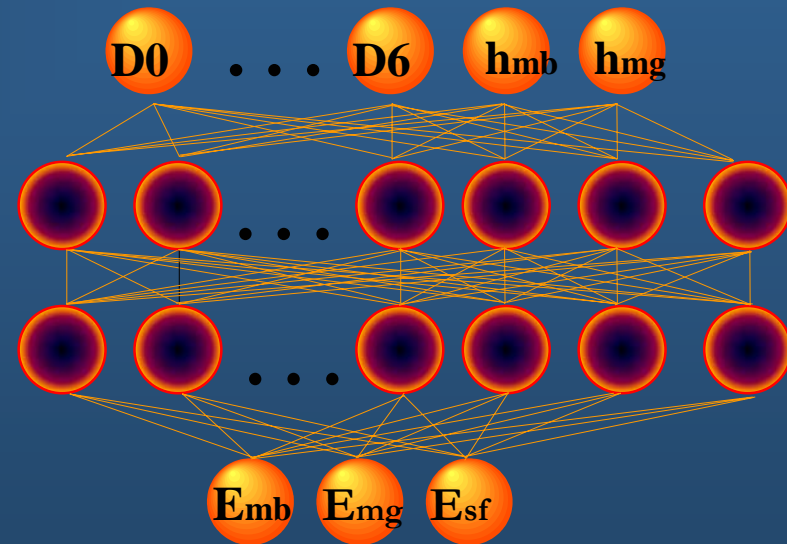
# Aplicação de redes neuronais

## Estrutura da rede (RNRE)

### Modelo do pavimento



Deflexões: D0, D1, D2, D3, D4, D5 e D6  
Espessuras das camadas:  $h_1, h_2$



Módulos das camadas E1, E2 e E3

# Dados de treino

Secções Piloto	Dados Gerados	Rede Neuronal	Espessura das camadas (m)	
			Betuminosas - $h_{mb}$	Granulares - $h_{mg}$
A2-3 e A2-4	3328	RN3	0,210 e 0,220	0,600
A2-1, A2-2, A3-3 e A3-4	10913	RN4	0,210; 0,230; 0,240; 0,290 e 0,325	0,400
A2-5 e A2-6	8735	RN6	0,255; 0,265; 0,260 e 0,285	0,350
A3-1 e A3-2	4368	RN7	0,310 e 0,320	0,490

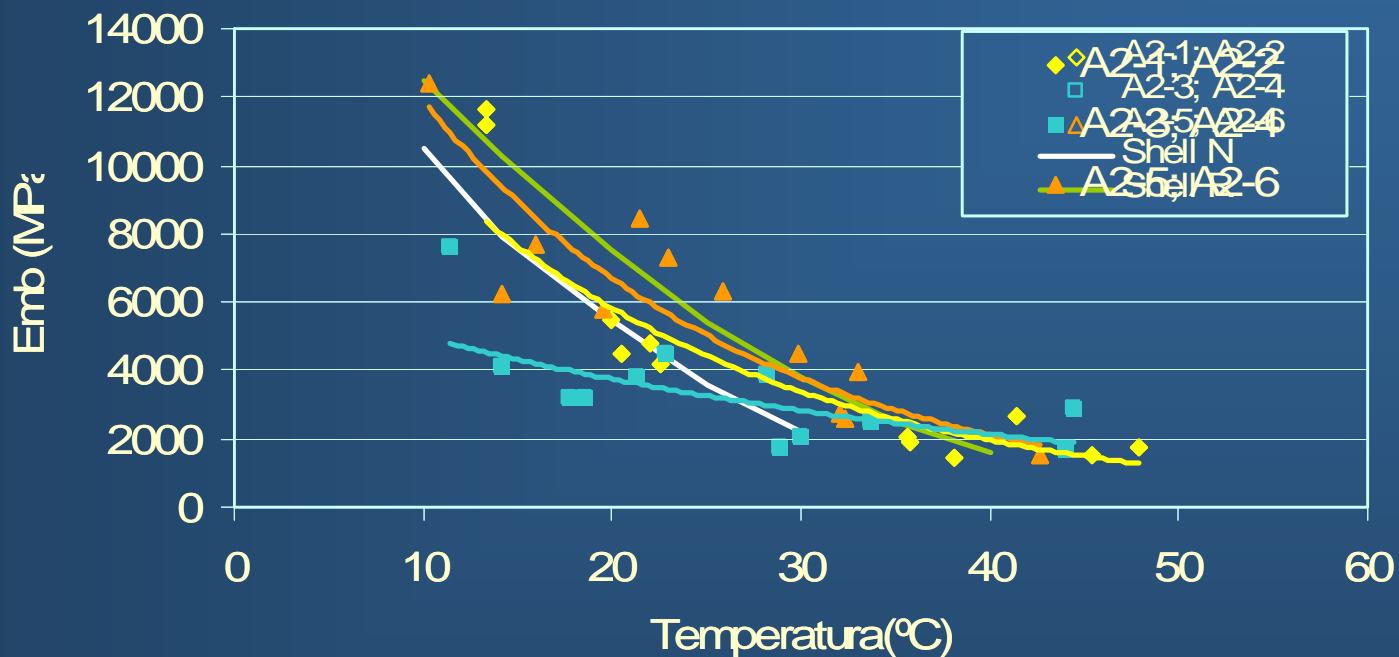
# Resultados

Parâmetro	Módulos de deformabilidade das camadas (MPa)			
	$E_{mb}$	$E_{mg}$	$E_{sf}$	$E_{cr} = 5 \times E_{sf}$
Valor mínimo	1200	150	60	300
Valor máximo	20000	1000	300	1500
Intervalo de variação	1000	50	20	100

- diâmetro da placa de carga (300 mm)
- força de pico (78 kN)
- os coeficientes do *Poisson* (0,40 e 0,35)
- a distância entre os transdutores de deslocamento
- a espessura do solo de fundação ( $h_{sf} = 1,00$  m)
- relação ( $E_{cr} = 5 \times E_{sf}$ ),

# Resultados

Variação do módulo da mistura betuminosa com a temperatura



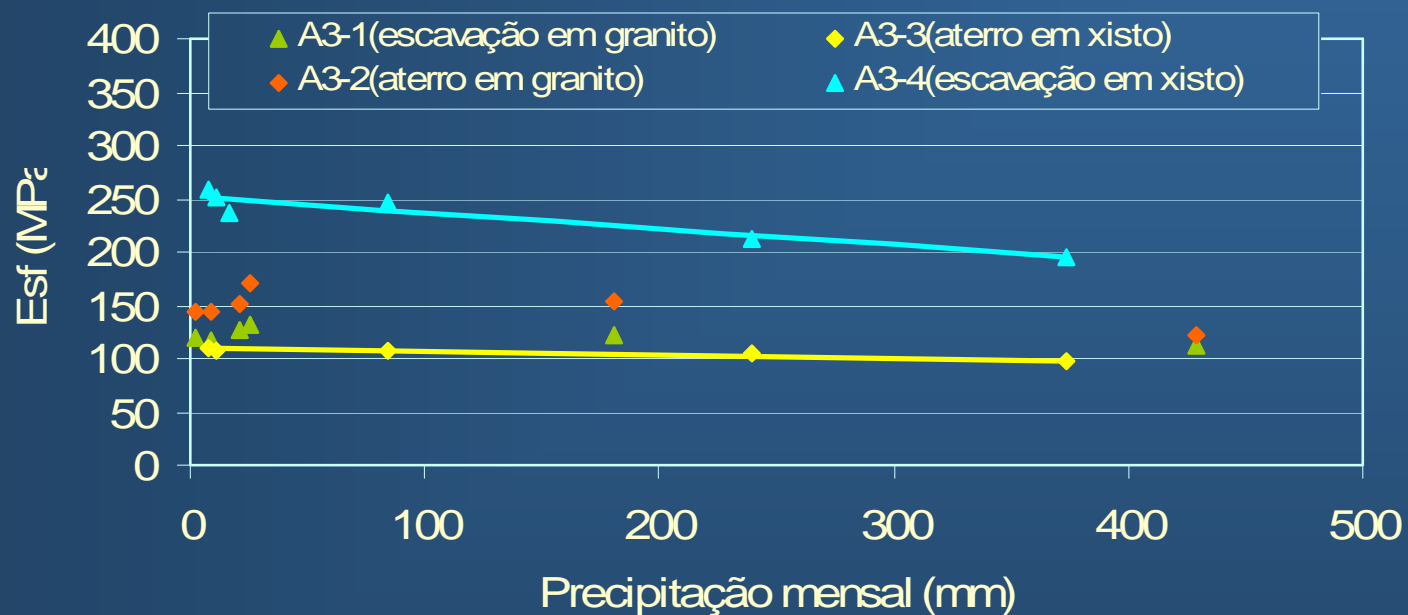
Trechos	Linha de tendência	Coefficiente de correlação
A2-1 e A2-2	$y = 17298e^{-0.0545x}$	$R^2 = 0.8637$
A2-3 e A2-4	$y = 6586.6e^{-0.0282x}$	$R^2 = 0.4887$
A2-5 e A2-6	$y = 21075e^{-0.0573x}$	$R^2 = 0.8289$

APLICAÇÃO DE RN À ANÁLISE DE RESULTADOS EM SECÇÕES PILOTO DA REDE DA BRISA  
 Simona Fontul, Maria de Lurdes Antunes, Pedro Domingos e Dora Batista



# Resultados

Variação do módulo do solo de fundação com a precipitação no mês anterior



Trechos	Linha de tendência	Coeficiente de correlação
A3-3 (aterro em xisto)	$y = -0.0317x + 109.93$	$R^2 = 0.8856$
A3-4 (escavação em xisto)	$y = -0.1514x + 251.62$	$R^2 = 0.8981$

APLICAÇÃO DE RN À ANÁLISE DE RESULTADOS EM SECÇÕES PILOTO DA REDE DA BRISA  
 Simona Fontul, Maria de Lurdes Antunes, Pedro Domingos e Dora Batista



# Considerações Finais

- ⇒ utilização de redes neuronais dado o elevado número de dados a analisar
- ⇒ avaliação dos efeitos das condições climáticas na resposta dos pavimentos
  - correlações entre os módulos das camadas betuminosas e a temperatura
  - correlações entre os módulos do solo de fundação e as respectivas condições hídricas (para alguns dos tipos de fundação)