



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DE REVESTIMENTOS COLADOS CERÂMICOS E EM PEDRA NATURAL



*Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas*

*Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais*

Jorge de Brito (IST)

Ana Silva (IST)

Lisboa - 9 MAIO 2014



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

*Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas*
**Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais**

ÍNDICE

- 1. INTRODUÇÃO**
- 2. ÍNDICES GLOBAIS DE DEGRADAÇÃO DAS FACHADAS**
- 3. MODELOS DE PREVISÃO DA VIDA ÚTIL**
- 4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS**
- 5. FACTORES DE DEGRADAÇÃO**
- 6. CONCLUSÕES**





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

1. INTRODUÇÃO

A previsão da vida útil na construção permite:

- o conhecimento da durabilidade dos elementos da construção;
- a definição informada de estratégias de manutenção e reparação desses mesmos elementos;
- definir o instante no qual é necessário actuar e, deste modo, evitar custos elevados associados a reparações urgentes;
- adoptar soluções mais sustentáveis e racionais (mais económicas, mais eficientes, com mais qualidade, maior segurança, com melhor manutenção, menos poluentes);
- perceber como actuar face a um parque construído vasto e envelhecido.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

1. INTRODUÇÃO

VIDA ÚTIL

Período de tempo, após a construção, no qual o edifício e seus elementos igualam ou excedem os requisitos mínimos de desempenho.





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

1. INTRODUÇÃO

CRITÉRIOS QUE DEFINEM O FIM DA VIDA ÚTIL

- **FÍSICOS**



- **TÉCNICOS E FUNCIONAIS**



- **ECONÓMICOS**





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

2. ÍNDICES GLOBAIS DE DEGRADAÇÃO DAS FACHADAS

A avaliação da condição das fachadas:

- permite identificar padrões de degradação associados aos momentos em que se procede a uma intervenção na fachada;
- incide sobre os aspectos relacionados com a vida útil física das construções;
- visa a quantificação do nível global de degradação das fachadas, com base no trabalho de campo realizado, e respectiva validação dos resultados.





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

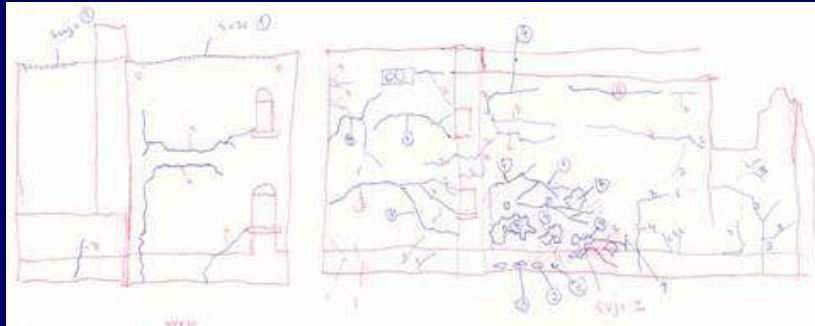
Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

2. ÍNDICES GLOBAIS DE DEGRADAÇÃO DAS FACHADAS

INSPECÇÃO TÉCNICA DE FACHADAS

Metodologia desenvolvida pelo Doutor Pedro Lima Gaspar





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

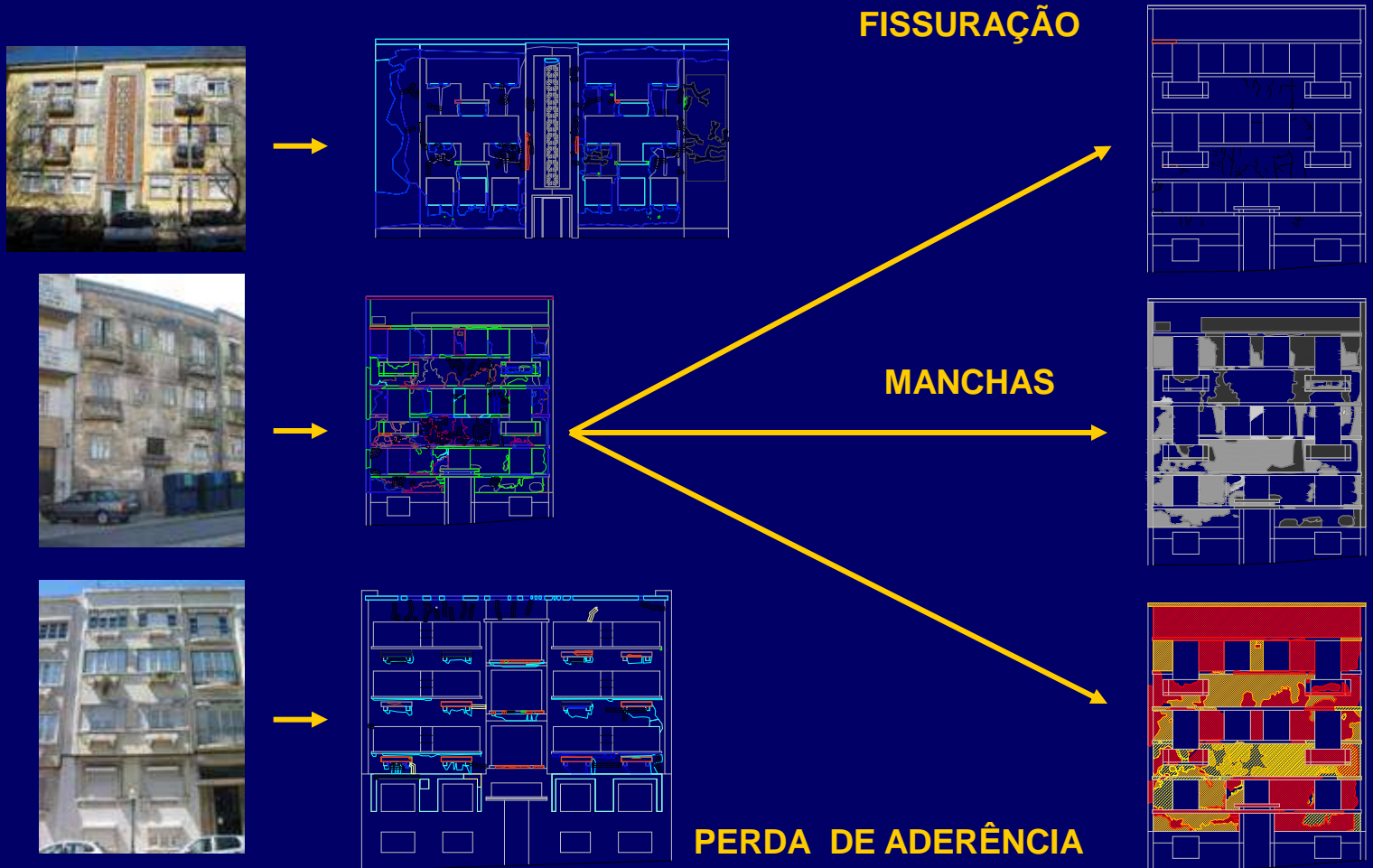
LISBOA
TeKtónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

2. ÍNDICES GLOBAIS DE DEGRADAÇÃO DAS FACHADAS

NÍVEL GLOBAL DE DEGRADAÇÃO DA FACHADA

Metodologia desenvolvida pelo Doutor Pedro Lima Gaspar





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

2. ÍNDICES GLOBAIS DE DEGRADAÇÃO DAS FACHADAS

SEVERIDADE DA DEGRADAÇÃO

$$S = (\sum A_n \cdot k_n \cdot k_{a,n}) / (A \cdot k)$$

S severidade da degradação da fachada, normalizada, em %;

A_n área de fachada afectada por uma anomalia n;

k_n constante de ponderação da degradação detectada - $K = \{ 0, 1, 2, 3, 4 \}$;

K_{a,n} constante de ponderação do peso relativo das anomalias detectadas;

k nível de condição mais elevada da degradação de uma fachada de área A, k toma o valor 4;

A área rebocada da fachada.

Valores de K_{a,n} (Valores de K_{a,n} (função de ponderação de diferentes cenários))

Condição	Manchas	Fissuração	Perda de aderência
0 (melhor)	0,00	0,00	0,00
1	0,25	0,96	1,50
2	0,63	0,96	1,50
3	0,63	1,00	1,50
4 (pior)	0,63*	1,50	1,50

(*) 1,00, nas situações de ocorrência de ciclos gelo / degelo



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
Tekónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

3. MODELOS DE PREVISÃO DA VIDA ÚTIL

Métodos
determinísticos

Métodos
estatísticos

Fáceis de
implementar - método
expedito

Implicam tratamento
estatístico

Podem ser utilizados
mesmo com lacunas
na informação

Necessitam de muita
informação

Demasiado simplistas
para modelarem a
realidade

Incluem a noção de
incerteza e risco

Métodos de Engenharia

Lisboa - 9 MAIO 2014



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

3. MODELOS DE PREVISÃO DA VIDA ÚTIL

MODELOS DETERMINÍSTICOS

MÉTODO FACTORIAL

Permite determinar a vida útil dos elementos, sujeitos a condições específicas, a partir de uma vida útil de referência corrigida por vários factores modificadores (que produzem um acréscimo na vida útil prevista, se favoráveis, ou um decréscimo, se desfavoráveis)





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

3. MODELOS DE PREVISÃO DA VIDA ÚTIL

MODELOS DETERMINÍSTICOS

MÉTODO FACTORIAL

1,05												1,70
1,00						1,20						1,10
1,00				1,20		1,00						1,15
0,90				1,00		0,90						0,90

$$VUE = VUR \cdot A1 \cdot A2 \cdot A_n \cdot B1 \cdot B2 \cdot B_n \cdot E1 \cdot E2 \cdot E_n \cdot G1 \cdot G2 \cdot G_n$$

VUE - valor estimado
para a vida útil do
componente (em
anos);

VUR - vida útil de
referência para o
componente
considerado;



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

3. MODELOS DE PREVISÃO DA VIDA ÚTIL

MODELAÇÃO ESTATÍSTICA

Objectivos principais:

- desenvolver diferentes metodologias de previsão da vida útil dos revestimentos de fachada, recorrendo à modelação estatística;
- aliar o estudo da degradação dos revestimentos em condições reais de utilização (com recurso a um extenso trabalho de campo) com a elaboração de modelos matemáticos que permitam avaliar a sua durabilidade e vida útil e integrar a incerteza na determinação destes parâmetros.





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

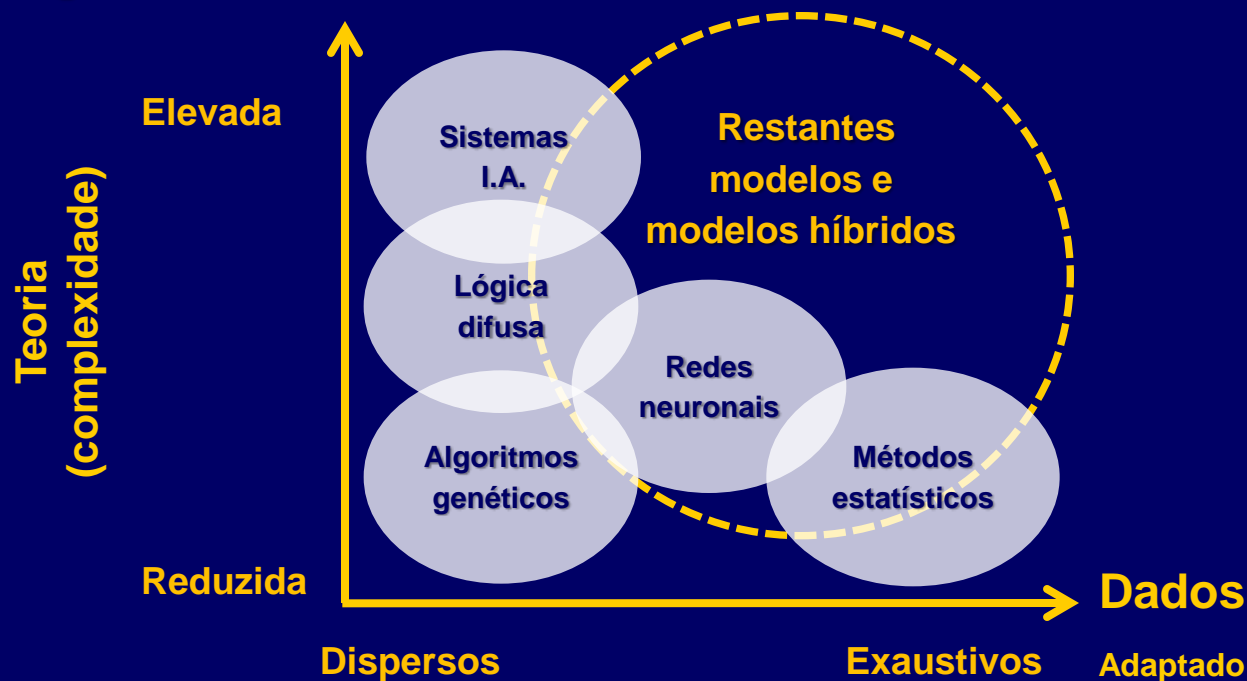
Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

3. MODELOS DE PREVISÃO DA VIDA ÚTIL

MODELAÇÃO ESTATÍSTICA

Modelos que podem ser utilizados na previsão da vida útil:

- análise de regressão simples e múltipla (linear e não-linear);
- regressão logística;
- redes neuronais artificiais;
- cadeias de Markov;
- lógica difusa.



Adaptado de Kasabov, 1996



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

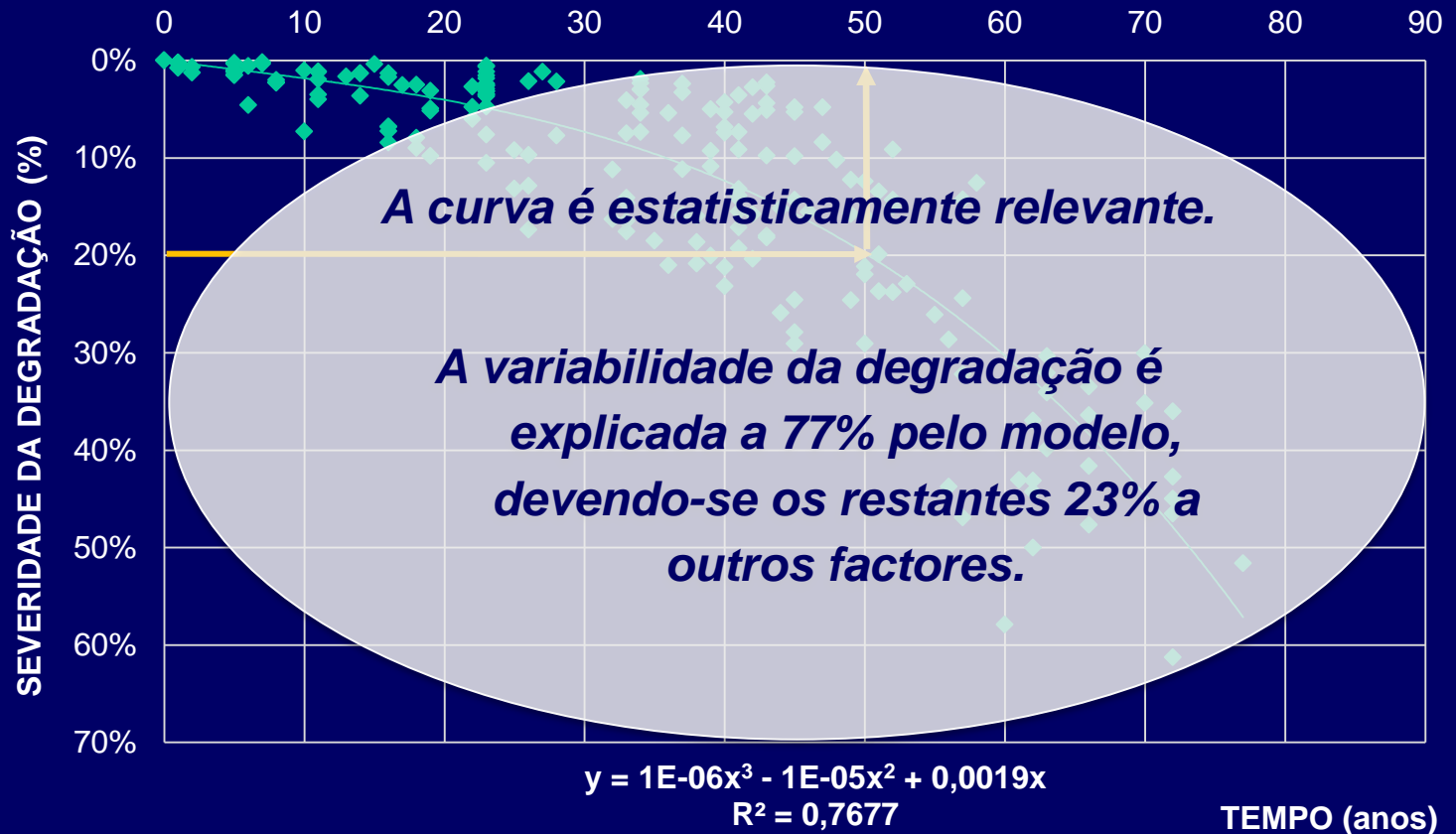
Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

ANÁLISE DE REGRESSÃO SIMPLES

Revestimentos cerâmicos aderentes (195 casos de estudo)

50 anos





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

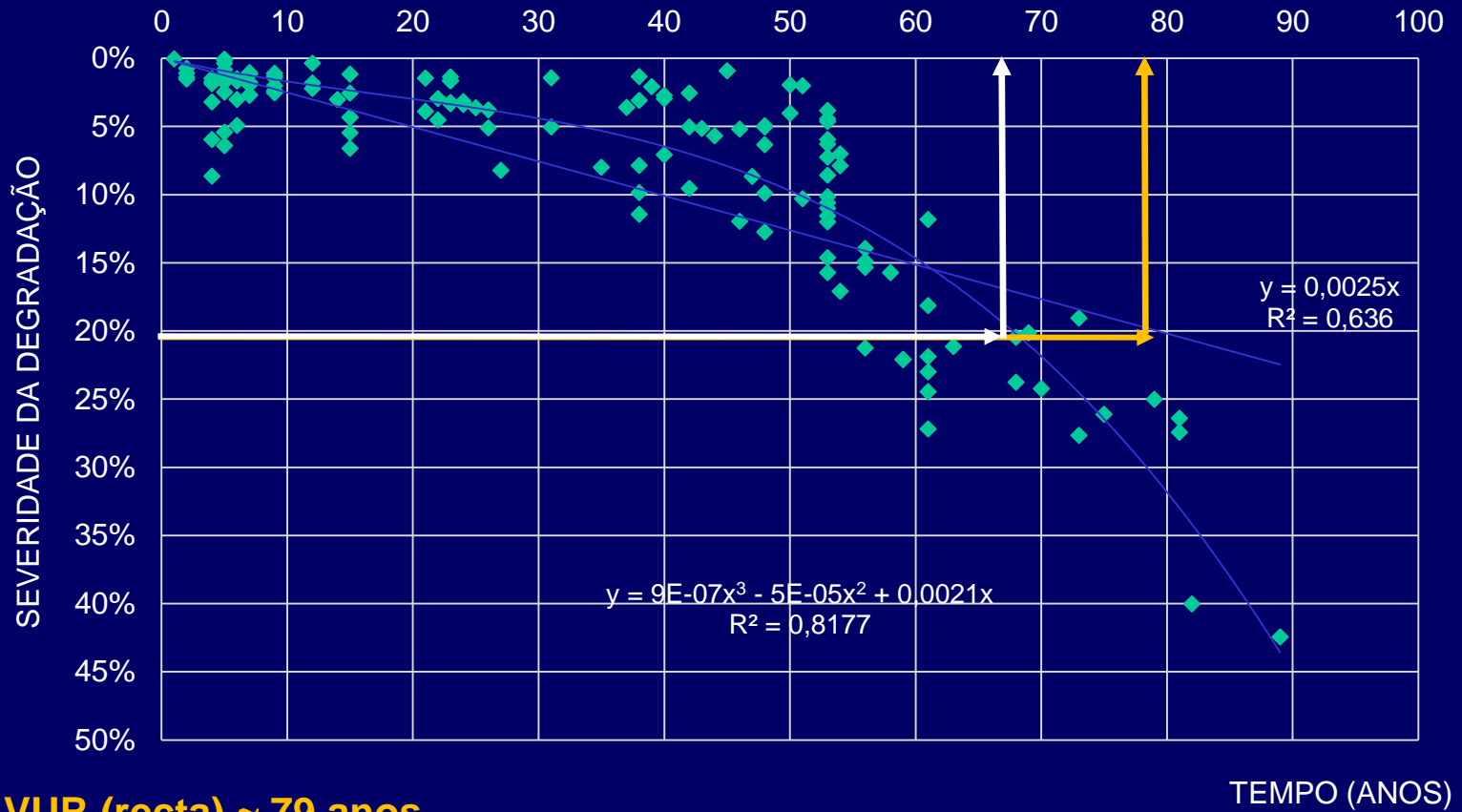
TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

ANÁLISE DE REGRESSÃO SIMPLES

Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)



VUR (recta) \approx 79 anos

VUR (polinómio 3ºG) \approx 68 anos



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

MÉTODO FACTORIAL

Revestimentos cerâmicos aderentes (195 casos de estudo)

Factores	Sub-factores	Valor de k	Factores	Sub-factores	Valor de k
A1 - superfície do ladrilho	Vidrado	1.050	E1 - orientação da fachada	Norte	0.950
	Não vidrado	0.850		Este	1.000
A2 - cor	Claras	1.000		E2 - acção vento-chuva	Sul
	Escuras	1.000	Oeste		1.050
	Branco	1.025	Baixa		1.125
A3 - dimensão do ladrilho	L < 20	1.000	E3 - proximidade do mar	Moderada	1.000
	L ≥ 20	0.800		Severa	0.975
B1 - preparação do substrato	Alvenaria	1.000		< 1 km	0.925
	Betão	1.000	> 1 and < 5 km	0.950	
B2 - juntas periféricas	Sim	1.025	> 5 km	1.050	
	Não	1.000	E4 - exposição à humidade	Alta	0.900
B3 - protecção periférica	Sim	1.000		Baixa	1.050
	Não	1.000	Sim	1.350	
C1 - nível de execução	Adequado	1.000	G1 - regularidade de manutenção	Não	1.000
	Inadequado	0.500		G2 - facilidade de inspecção	Corrente
					Desfavorável



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TekTónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

MÉTODO FACTORIAL

Revestimentos cerâmicos aderentes (195 casos de estudo)

$$VUE = VUR \times A1 \times A2 \times A3 \times B1 \times B2 \times B3 \times C1 \times E1 \times E2 \\ \times E3 \times E4 \times G1 \times G2$$

VUE - vida útil estimada; **VUR** - vida útil de referência; **A1** - acabamento do ladrilho cerâmico (vidrado ou não vidrado); **A2** - cor do ladrilho; **A3** - dimensão; **B1** - condições do substrato; **B2** - tipo de juntas; **B3** - protecção periférica do ladrilho ; **C1** - nível de execução; **E1** - orientação da fachada; **E2** - acção vento / chuva; **E3** - proximidade do mar; **E4** - humidade; **G1** - existência de manutenção; **G2** - facilidade de inspecção.

Vida útil de referência = 51 anos

Vida útil média estimada pelo MF = 50,3 anos



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

MÉTODO FACTORIAL

Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)

Subfactores de durabilidade

		Valor de k	
A1 - Tipo de pedra	k1	Granitos	1,10
	k2	Mármore	1,10
	k3	Calcários	1,00
	k4	Xistos ou ardósias	0,80
A2 - Tipo de acabamento	k1	Acabamento liso	1,00
	k2	Acabamento rugoso fino	1,00
	k3	Acabamento rugoso grosso	0,80
A3 - Cor	k1	Cores escuras	1,05
	k2	Cores claras	1,00
B1 - Tipo de fixação	k1	Directa	0,90
	k2	Indirecta	1,05
	k3	Ambas	1,05
B2 - Tipo de juntas	k1	Abertas	0,90
	k2	Colmatadas	1,05
	k3	Sobrepostas	1,00
B3 - Pormenorização do material	k1	Indicada	1,00
	k2	Não indicada	0,95
C1 - Nível de execução	k1	Adequado	1,10
	k2	Inadequado	0,90



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

MÉTODO FACTORIAL

Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)

Subfactores de durabilidade - continuação

		Valor de <i>k</i>
E1 - Orientação da fachada	<i>k1</i>	Exposição a Norte 0,95
	<i>k2</i>	Exposição a NE, Nascente e SE 1,10
	<i>k3</i>	Exposição a Sul e a SO 0,95
	<i>k4</i>	Exposição a Poente e NO 0,90
E2 - Acção vento / chuva	<i>k1</i>	Exposição elevada 0,95
	<i>k2</i>	Exposição moderada 1,00
	<i>k3</i>	Exposição suave 1,00
E3 - Proximidade do mar	<i>k1</i>	Exposição baixa 1,05
	<i>k2</i>	Exposição moderada 1,00
	<i>k3</i>	Exposição elevada 0,95
E4 - Temperatura	<i>k1</i>	Situação corrente 1,00
	<i>k2</i>	Grandes extremos 1,00
E5 - Humidade	<i>k1</i>	Humidade reduzida 1,10
	<i>k2</i>	Humidade elevada 0,95
G1 - Existência de manutenção	<i>k1</i>	Existência 1,00
	<i>k2</i>	Inexistência 0,90
G2 - Facilidade de inspecção	<i>k1</i>	Corrente 1,00
	<i>k2</i>	Desfavorável 0,90



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

MÉTODO FACTORIAL

Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)

$$VUE = VUR \times A1 \times A2 \times A3 \times B1 \times B2 \times B3 \times C1 \times E1 \times E2 \times E3 \times E4 \times E5 \times G1 \times G2$$

VUE - vida útil estimada; **VUR** - vida útil de referência; **A1** - tipo de pedra; **A2** - tipo de acabamento; **A3** - cor; **B1** - tipo de fixação; **B2** - tipo de juntas; **B3** - pormenorização do material; **C1** - nível de execução; **E1** - orientação da fachada; **E2** - acção vento / chuva; **E3** - proximidade do mar; **E4** - temperatura; **E5** - humidade; **G1** - existência de manutenção; **G2** - facilidade de inspecção.

Vida útil de referência = 70 anos

Vida útil média estimada = 64,6 anos



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
Tektónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

REGRESSÃO MÚLTIPLA LINEAR

A severidade da degradação é influenciada por diversos factores que, conjuntamente, contribuem para o fim da vida útil dos revestimentos.

A regressão múltipla linear permite:

- analisar a acção simultânea das diferentes características dos revestimentos de fachada;
- antever o comportamento da severidade da degradação (variável dependente) em função do conhecimento dos diferentes factores de degradação (variáveis independentes).





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

REGRESSÃO MÚLTIPLA LINEAR

Revestimentos cerâmicos aderentes (195 casos de estudo)

Estatística de regressão:

R múltiplo (R)	0.933
Quadrado de R (R ²)	0.693
Quadrado de R ajustado (R ² _{ajustado})	0.688
Erro-padrão (σ)	0.076

Variáveis explicativas

- idade
- proximidade do mar
- Dimensão do ladrilho



$$\text{Severidade da degradação} = 1,738 + 0,006 \text{ Idade} - 0,293 \text{ Proximidade do mar} - 1,524 \text{ Dimensão do ladrilho}$$

Para um nível máximo de degradação admissível de 20%:

$$\text{VUE} = (0,20 - 1,738 + 0,293 \text{ Proximidade do mar} + 1,524 \text{ Dimensão do ladrilho}) / 0,006$$

Vida útil média estimada de 46,2 anos



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

REGRESSÃO MÚLTIPLA LINEAR

Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)

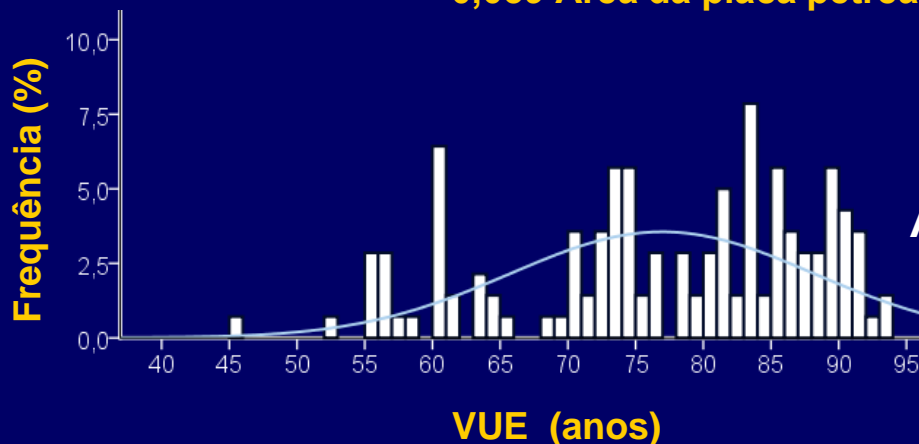
Variáveis independentes: IDADE, PROXIMIDADE DO MAR, TIPO DE ACABAMENTO e ÁREA PLACA PÉTREA

Estatística de regressão:

Coef. de correlação de Pearson (R)	0.887
Coef. de determinação (R ²)	0.787
Coef. de determinação ajustado (R ² _{ajustado})	0.781
Raiz do erro médio quadrado	0.03971

Para um nível máximo de degradação admissível de 20%:

$$\text{VUE} = (0,20 - 0,955 + 0,690 \cdot \text{Proximidade do mar} + 0,315 \cdot \text{Tipo de acabamento} - 0,059 \cdot \text{Área da placa pétrea}) / 0,003$$



Média ≈ 77 anos
Desvio padrão ≈ 11,2 anos
Amplitude de VUE ≈ 48,5 anos



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TekTónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

ANÁLISE DE TRAJECTÓRIAS

Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)

- Permite a análise das relações causais entre variáveis;
- trata-se, grosso modo, de uma generalização da regressão múltipla linear;
- este tipo de análise permite decompor a associação entre variáveis;
- estabelecem-se novos modelos de regressão, onde em cada um deles se introduz como variável dependente uma das variáveis consideradas como explicativas da severidade da degradação.



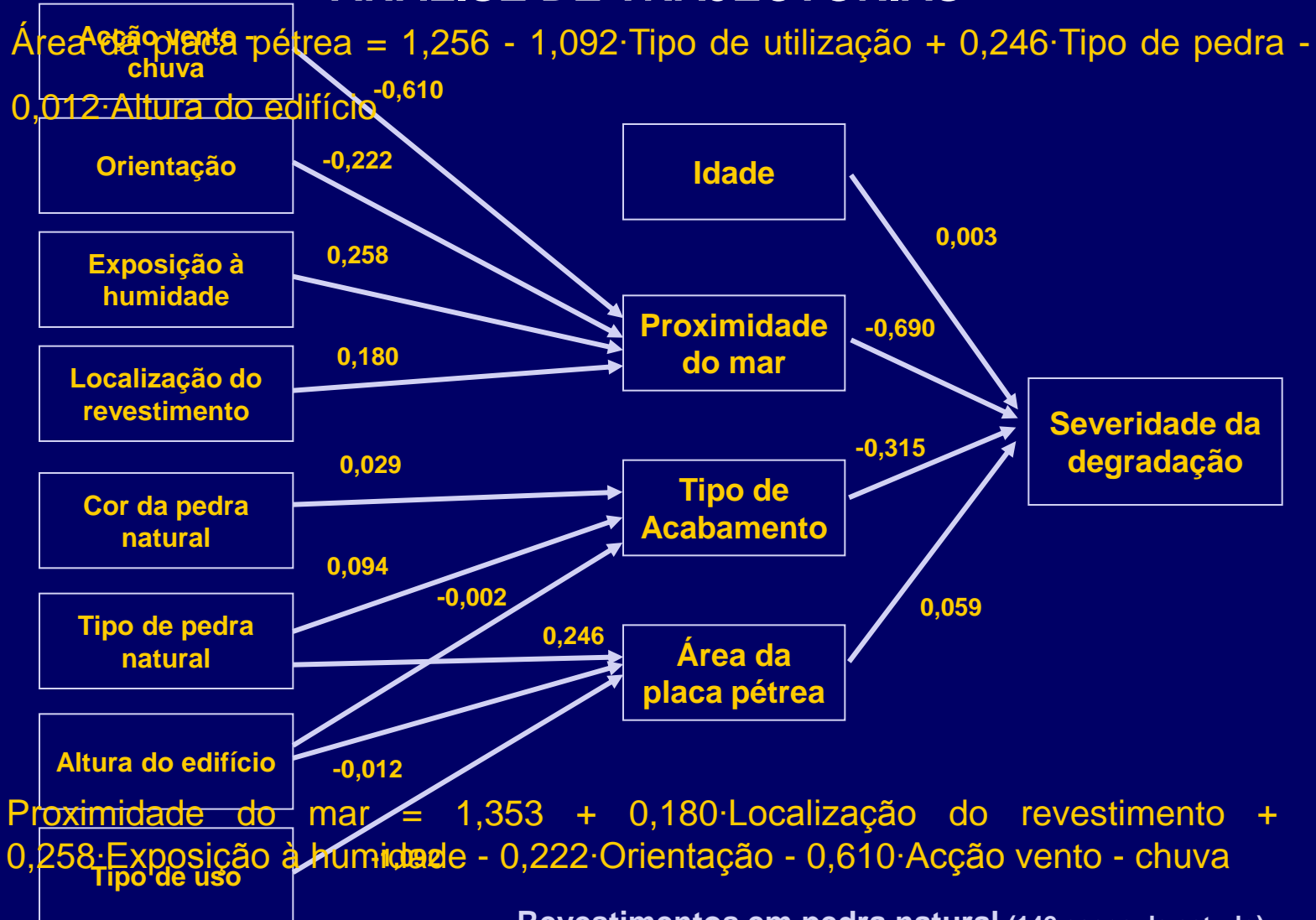


INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO



4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

ANÁLISE DE TRAJECTÓRIAS



Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)

Lisboa - 9 MAIO 2014



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
Tektónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

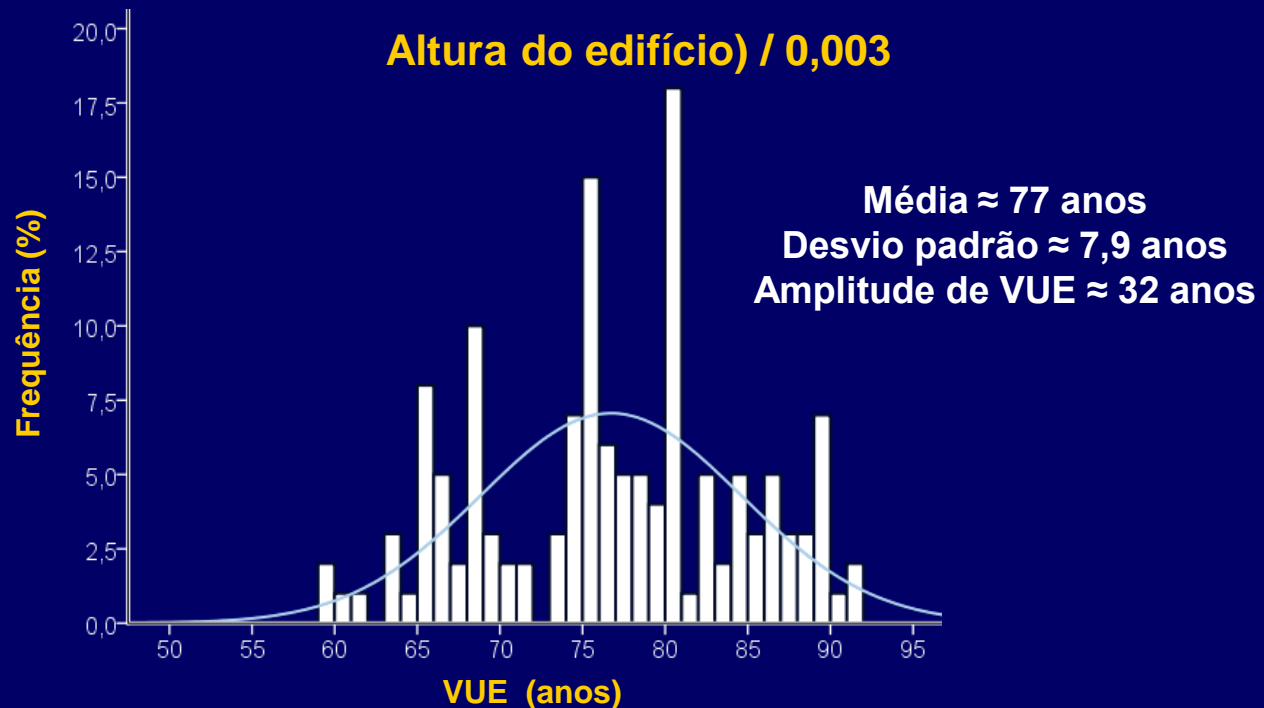
4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

ANÁLISE DE TRAJECTÓRIAS

Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)

Para um nível máximo de degradação admissível de 20%:

**VUE = (0,384 + 0,124·Localização do revestimento + 0,178·Exposição à
humidade - 0,153·Orientação - 0,421·Acção vento - chuva + 0,009·Cor da
pedra natural + 0,064·Tipo de utilização + 0,015·Tipo de pedra + (7,8x10⁻⁵·**



Lisboa - 9 MAIO 2014



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

REGRESSÃO LOGÍSTICA MULTINOMIAL

É utilizada quando se pretende conhecer a relação entre uma variável dependente qualitativa e variáveis independentes categóricas (factores) ou numéricas (covariáveis);

A variável dependente possui mais de duas classes mutuamente exclusivas;

Descreve as relações entre variáveis em termos de probabilidade de uma dada ocorrência.

Permite, por exemplo, representar a distribuição probabilística da condição da degradação das fachadas ao longo do tempo.

Níveis de degradação	Severidade da degradação
0	$S_{w,rp} \leq 1\%$
1	$1\% < S_{w,rp} \leq 8\%$
2	$8\% < S_{w,rp} \leq 20\%$
3	$20\% < S_{w,rp} \leq 45\%$
4	$S_{w,rp} \geq 45\%$

Nível 1



$S_{w,rp} = 5\%$

Nível 2



$S_{w,rp} = 15\%$

Nível 3



$S_{w,rp} = 40\%$



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

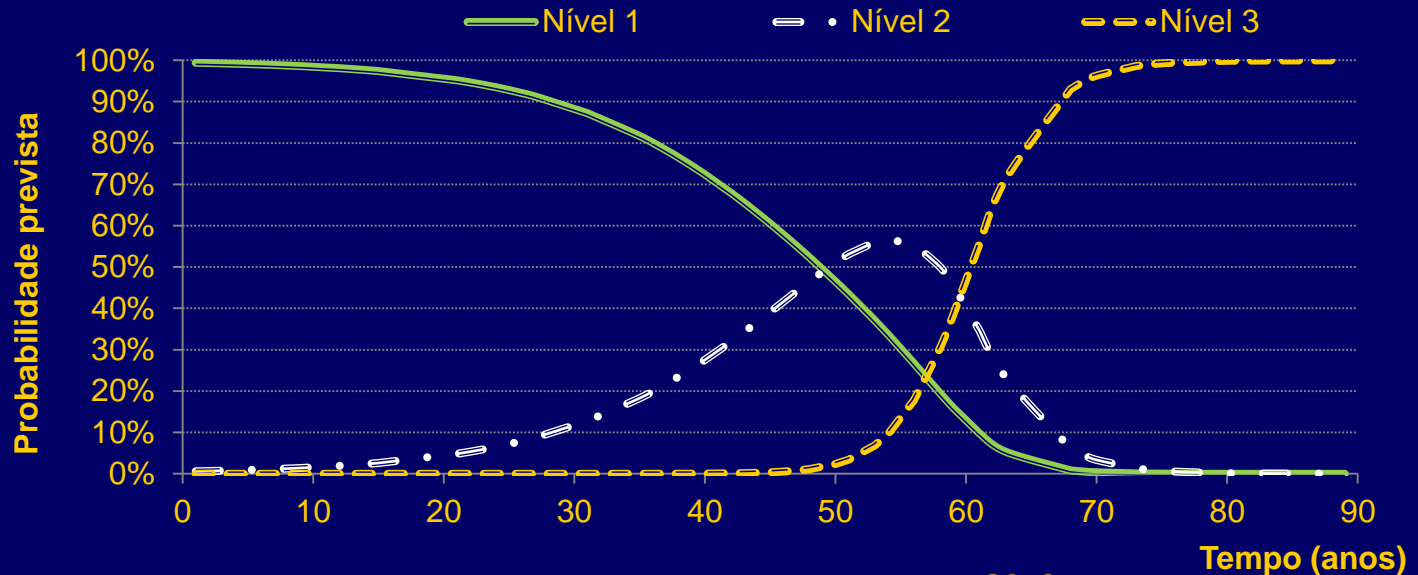
TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

REGRESSÃO LOGÍSTICA MULTINOMIAL

Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)



$$P(Y = \text{"É de nível 1"}) = \frac{e^{24,331 - 0,427 \cdot \text{Idade}}}{1 + e^{24,331 - 0,427 \cdot \text{Idade}} + e^{19,125 - 0,321 \cdot \text{Idade}}}$$

$$P(Y = \text{"É de nível 2"}) = \frac{e^{19,125 - 0,321 \cdot \text{Idade}}}{1 + e^{24,331 - 0,427 \cdot \text{Idade}} + e^{19,125 - 0,321 \cdot \text{Idade}}}$$

$$P(Y = \text{"É de nível 3"}) = \frac{1}{1 + e^{24,331 - 0,427 \cdot \text{Idade}} + e^{19,125 - 0,321 \cdot \text{Idade}}}$$



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

REGRESSÃO LOGÍSTICA MULTINOMIAL

Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)

Intervalo de anos	Probabilidade de pertencer a cada uma das condições		
	Nível 1	Nível 2	Nível 3
[0:10]	99,06%	0,94%	0,00%
]10:20]	97,70%	2,30%	0,00%
]20:30]	93,35%	6,65%	0,00%
]30:40]	78,41%	21,57%	0,02%
]40:50]	58,60%	40,68%	0,72%
]50:60]	29,43%	52,85%	17,72%
]60:70]	3,40%	14,46%	82,15%
]70:80]	0,05%	0,73%	99,22%
]80:90]	0,00%	0,06%	99,94%

Nível de confiança do modelo

Observado	Previsto			Percentagem de casos correctamente classificados
	É de nível 1	É de nível 2	É de nível 3	
É de nível 1	83	10	0	89,2%
É de nível 2	10	15	3	53,6%
É de nível 3	0	3	16	84,2%
Percentagem global	66,4%	20,0%	13,6%	81,4%



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

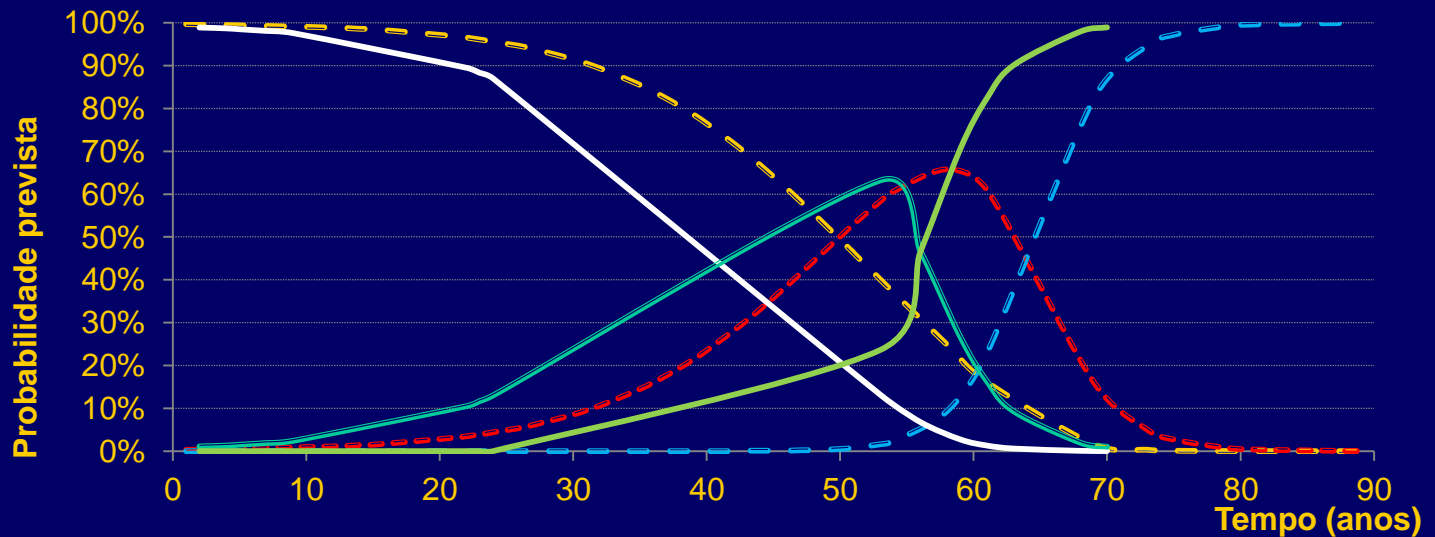
Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

REGRESSÃO LOGÍSTICA MULTINOMIAL

Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)

- — Baixa exposição, nível 1
- - - Baixa exposição, nível 2
- - - Baixa exposição, nível 3
- Alta exposição, nível 1
- Alta exposição, nível 2
- Alta exposição, nível 3



Acção vento-chuva	Proximidade do mar	Probabilidade prevista (baixa exposição à humidade)	Probabilidade prevista (alta exposição à humidade)
Moderada	< 5 km	26,58%	73,42%
Severa	< 5 km	6,42%	93,58%
Moderada	> 5 km	87,83%	12,17%
Severa	> 5 km	57,76%	42,24%



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

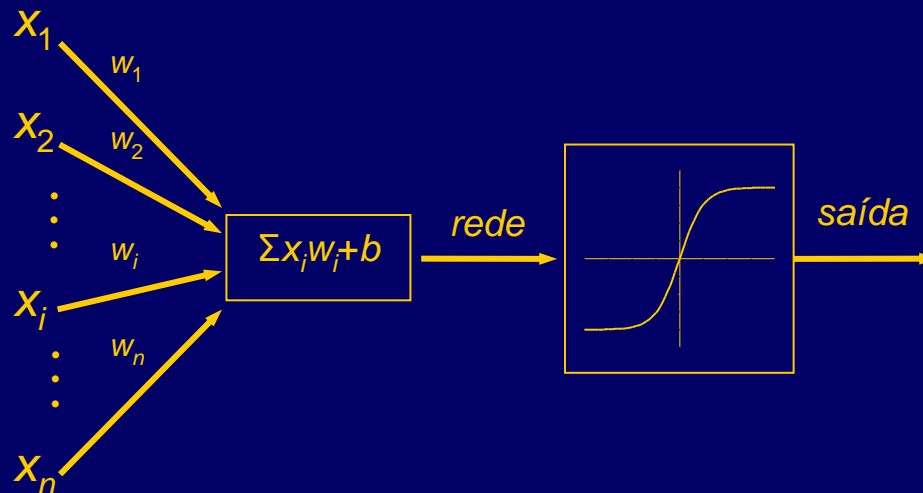
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

REDES NEURONAIS ARTIFICIAIS

As RNAs são, regra geral, emulações de sistemas neuronais biológicos;
O tipo de RNA mais comum é o Perceptrão Multicamada (PMC);
Os PMCs são redes completamente ligadas alimentadas para a frente:
cada neurónio de uma camada está ligado a todos os neurónios da
camada seguinte, e a nenhum outro dentro da rede.

Os PMCs aprendem através de padrões de comportamento;
A informação é agrupada em três conjuntos distintos: amostra de treino,
de validação cruzada e de teste;
Cessa o treino da rede quando se comprova que esta tem boa capacidade
de generalização.





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

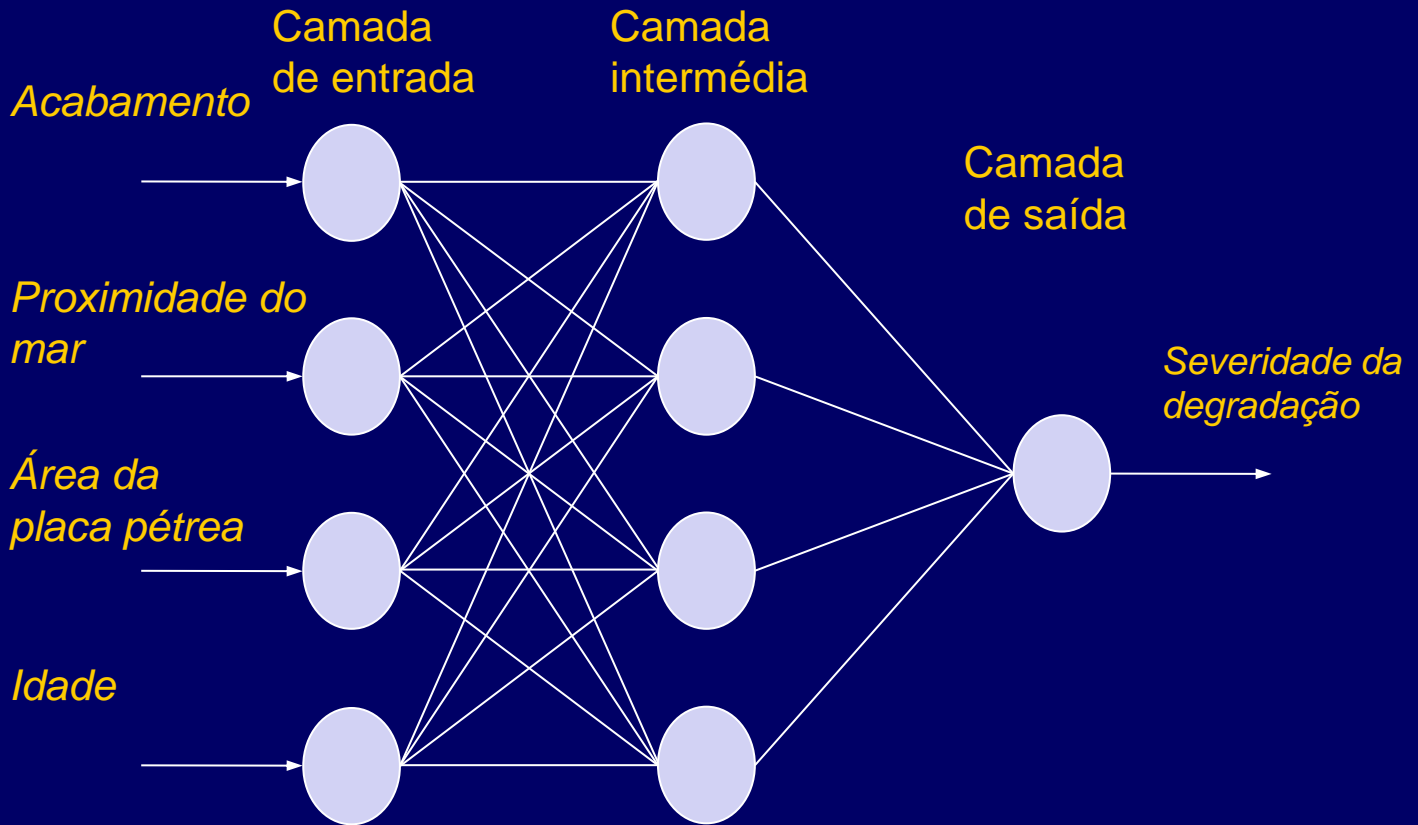
TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

REDES NEURONAIS ARTIFICIAIS

Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

REDES NEURONAIS ARTIFICIAIS

Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)

$$S_w = h_0 + \sum_{i=1}^4 h_i H_i$$

$$H_i = \tanh(c_{i0} + c_{i1} \text{acab.} + c_{i2} \text{prox.} + c_{i3} \text{área} + c_{i4} \text{idade})$$

Coeficientes para a formulação proposta

i	h_i (-)	c_{i0} (-)	c_{i1} (-)	c_{i2} (-)	c_{i3} (m^2)	c_{i4} (ano^{-1})
0	1.368E-01					
1	-7.461E-02	1.040E+00	2.079E-01	-2.551E-01	-1.675E-01	-1.294E-02
2	-6.571E-02	5.543E-02	-1.161E-01	-1.838E-01	-3.709E-01	-6.621E-03
3	8.618E-02	7.720E-01	5.671E-02	-2.963E-01	-1.034E+00	4.278E-03
4	-1.190E-01	2.495E+00	1.620E-01	-2.387E-01	-1.596E+00	-2.333E-02



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

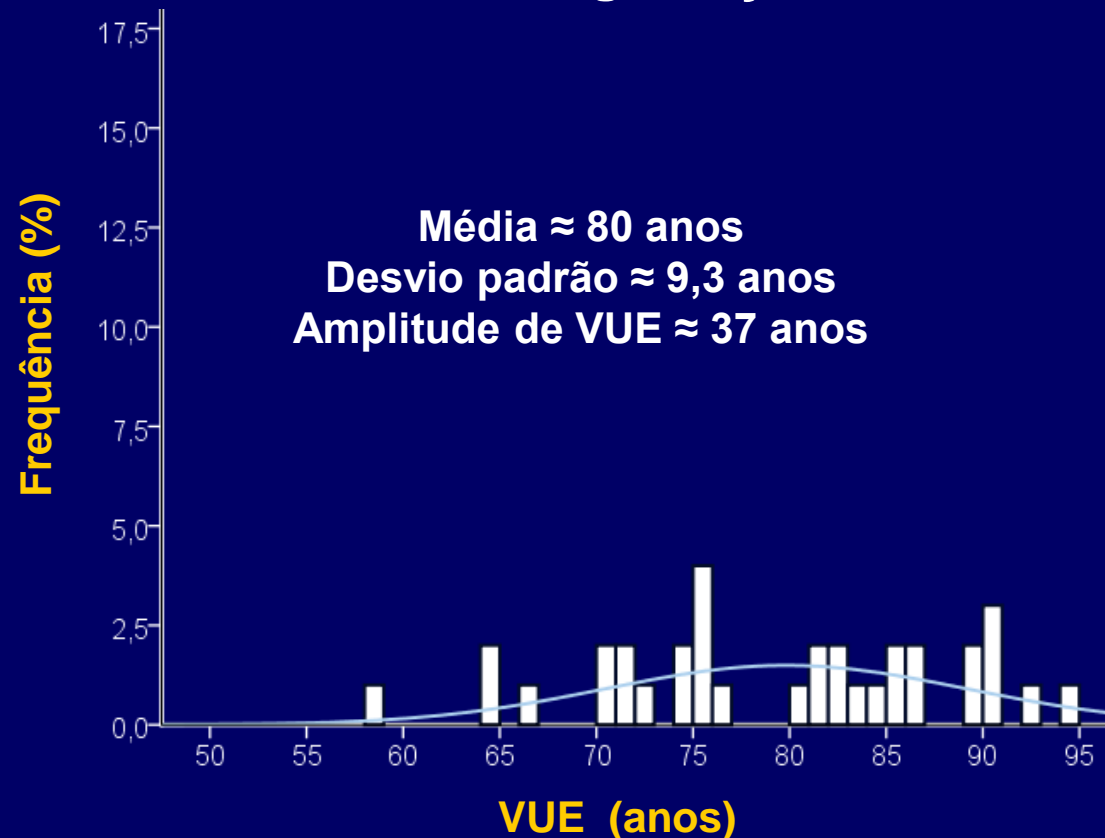
Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

4. VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS COLADOS

REDES NEURONAIS ARTIFICIAIS

Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)

Para um nível máximo de degradação admissível de 20%:





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

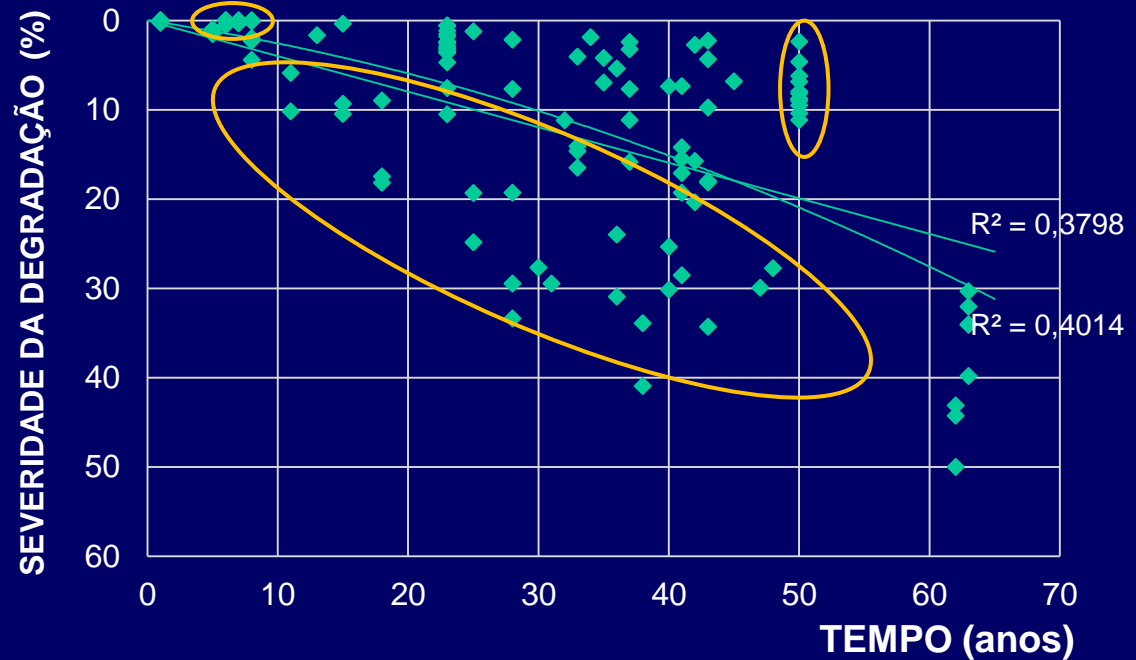
Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

5. FACTORES DE DEGRADAÇÃO

Erros de concepção e execução (e de inspecção)

Revestimentos cerâmicos aderentes



Lisboa - 9 MAIO 2014



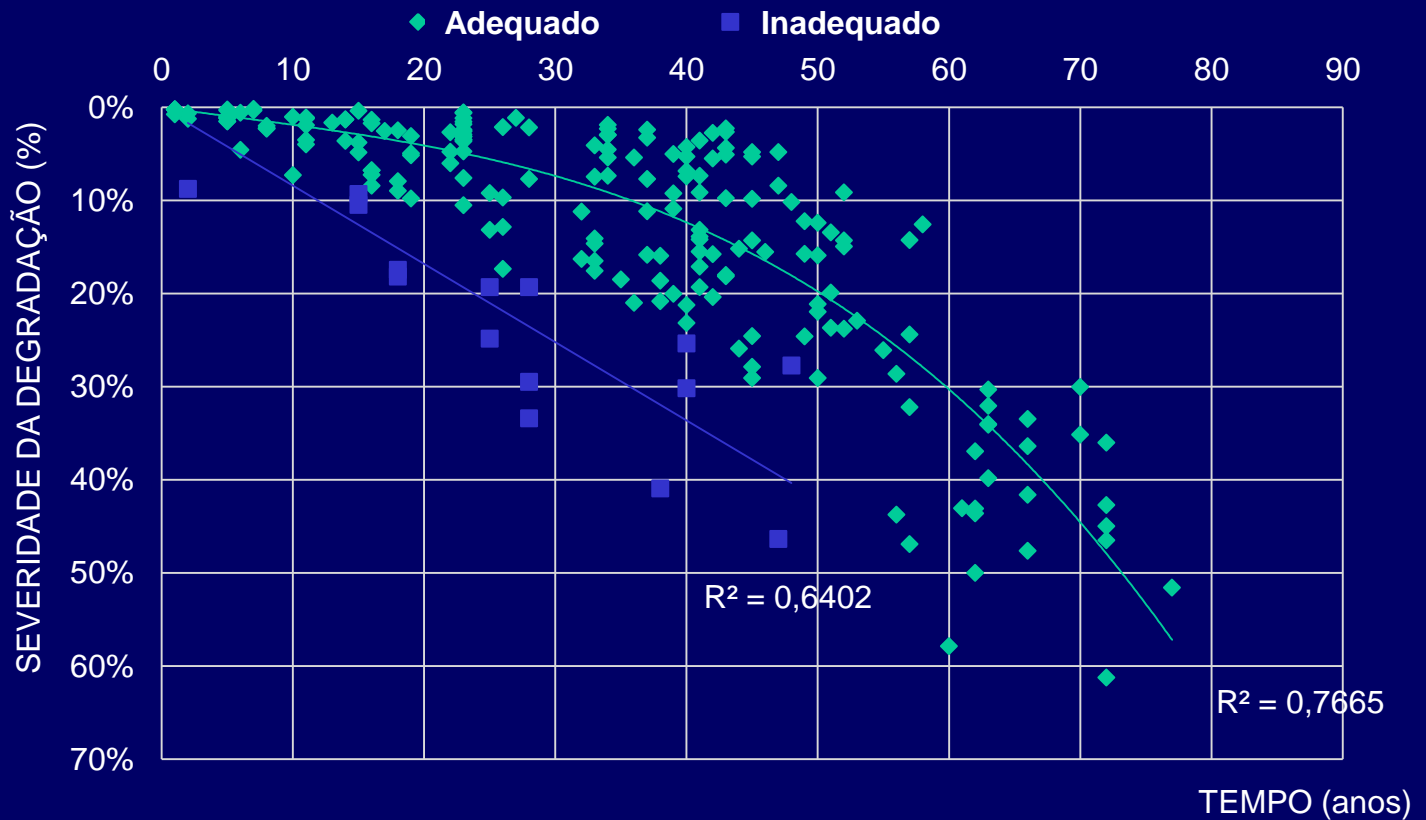
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

5. FACTORES DE DEGRADAÇÃO

Erros de concepção e execução Revestimentos cerâmicos aderentes



VUE (pormenorização adequada) \approx 50 anos

VUE (pormenorização inadequada) = 24 anos



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

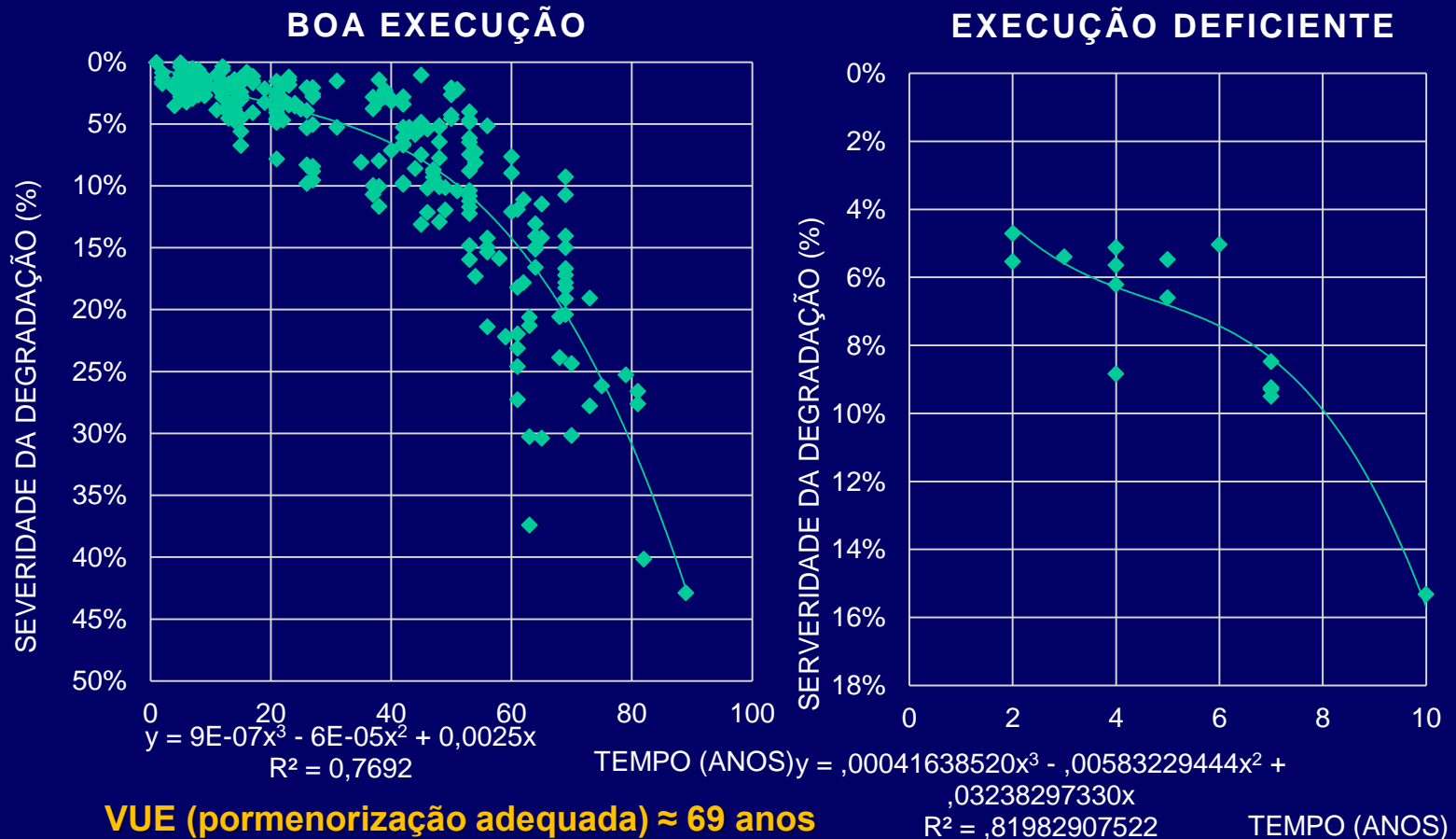
LISBOA
TekTónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

5. FACTORES DE DEGRADAÇÃO

Erros de concepção e execução

Revestimentos em pedra natural



VUE (pormenorização adequada) ≈ 69 anos

VUE (pormenorização inadequada) = 11 anos



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

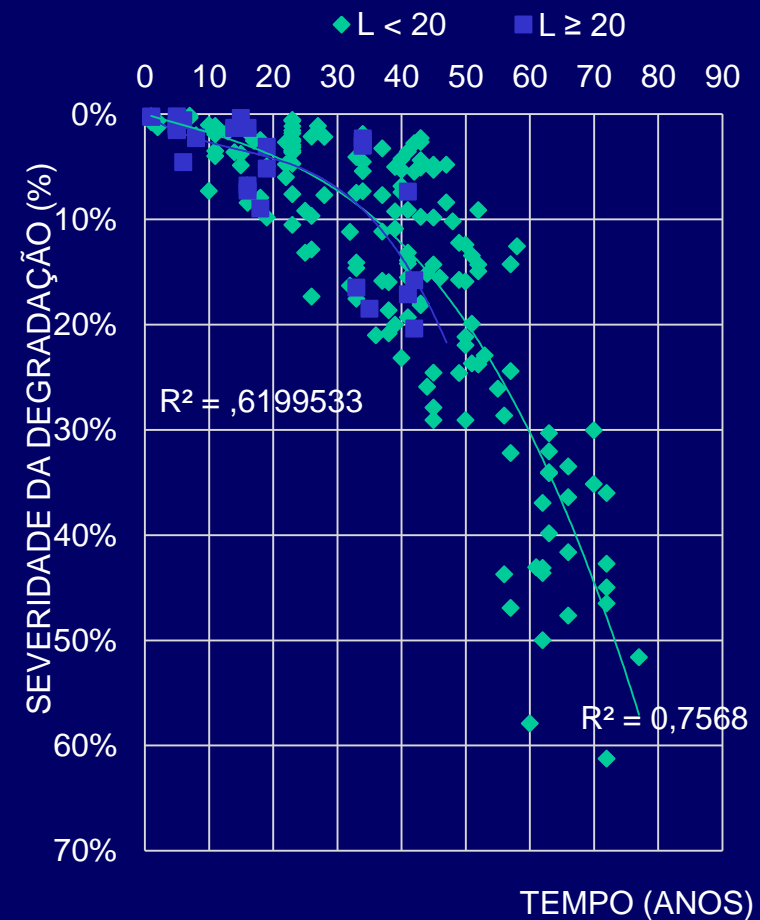
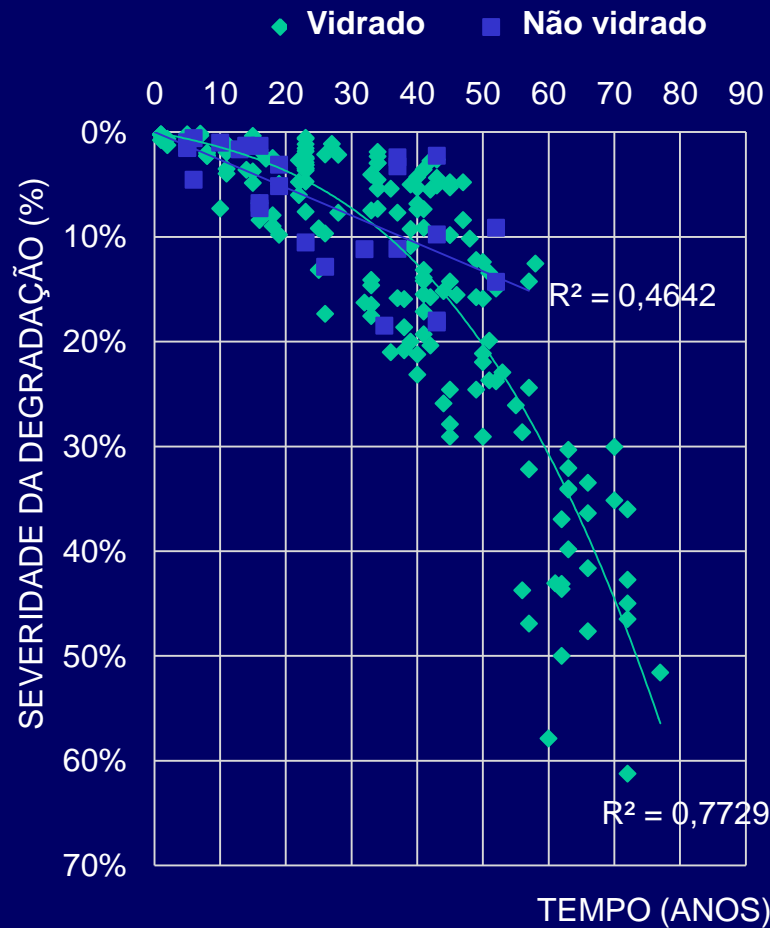
Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

5. FACTORES DE DEGRADAÇÃO

Características do material

Revestimentos cerâmicos aderentes





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

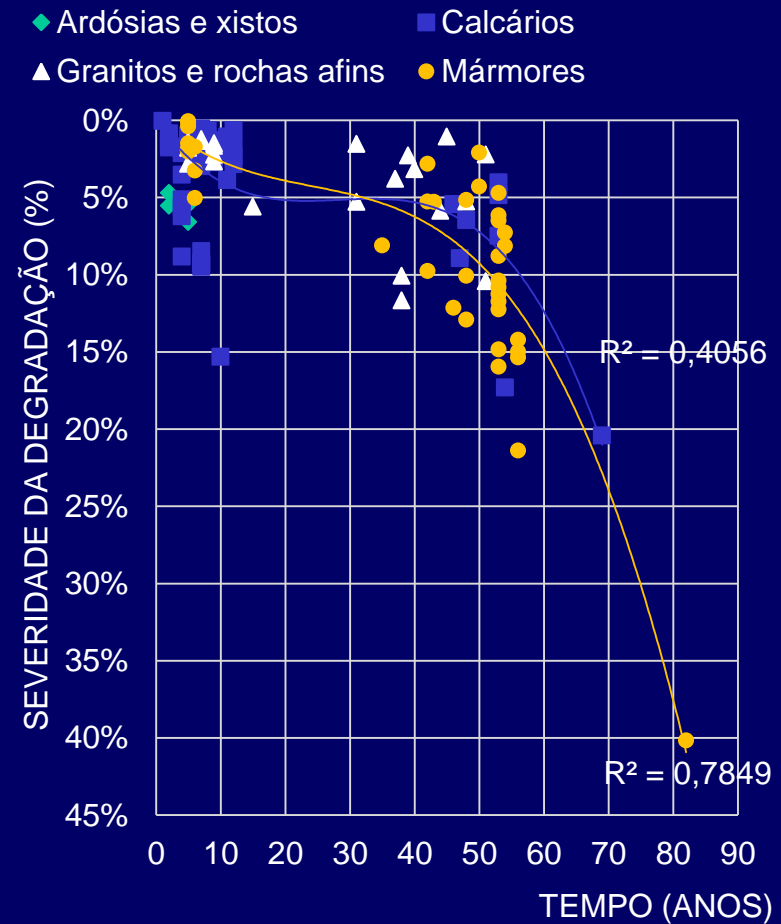
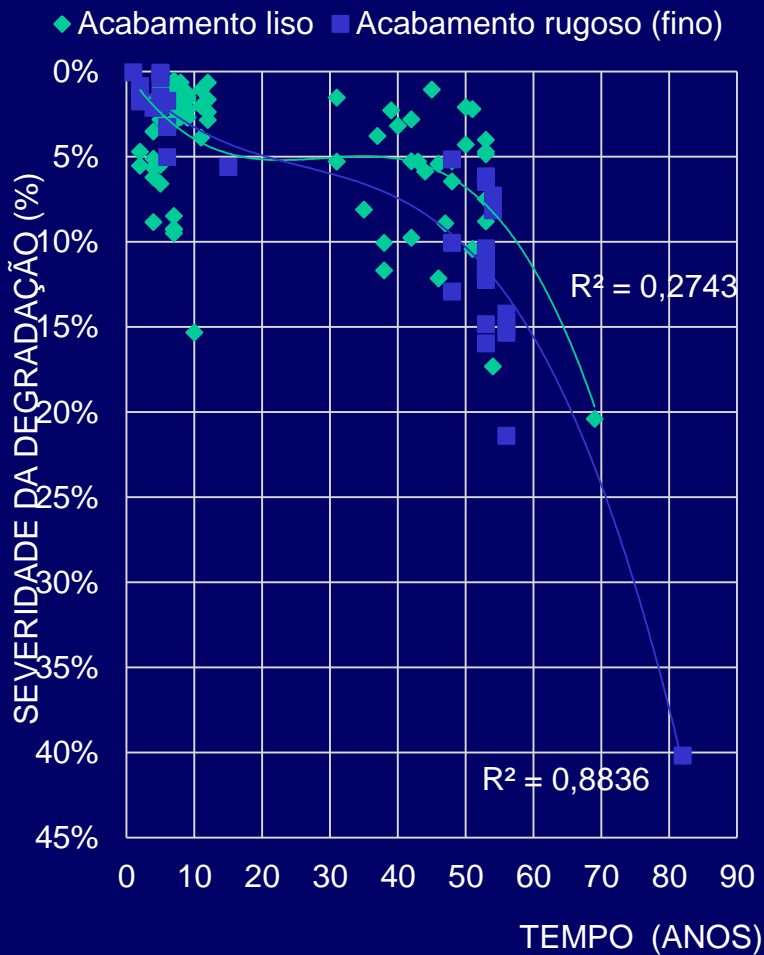
TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

5. FACTORES DE DEGRADAÇÃO

Características do material Revestimentos em pedra natural





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

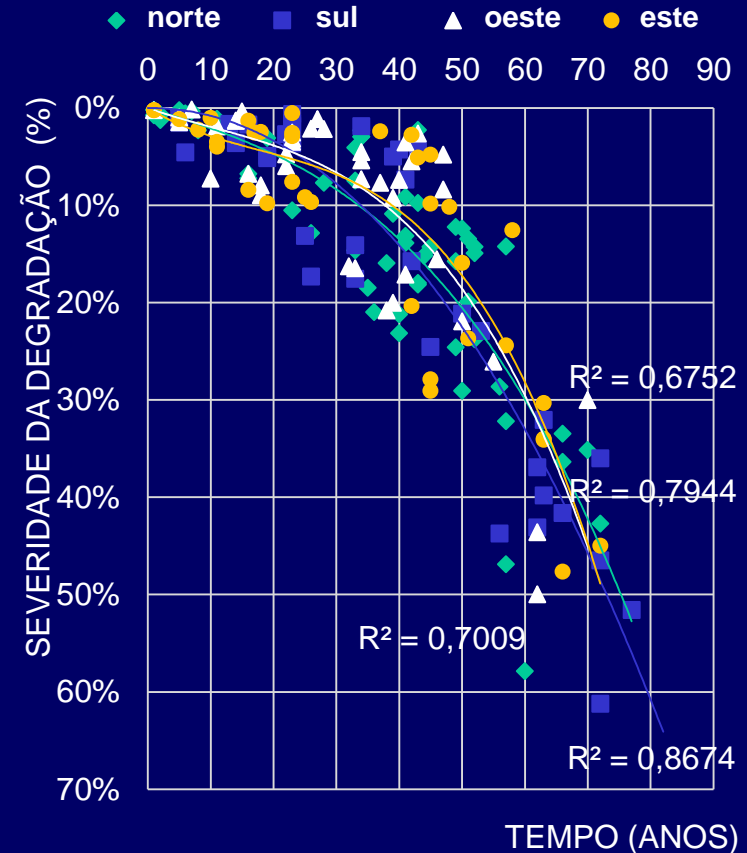
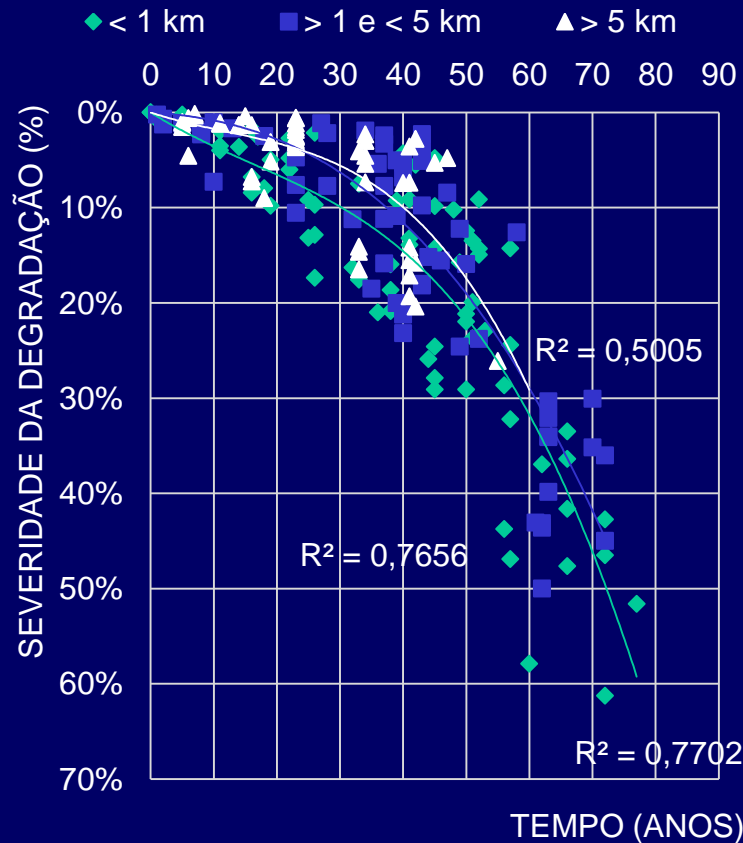
LISBOA
TeKtónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

5. FACTORES DE DEGRADAÇÃO

Condições de exposição ambiental Revestimentos cerâmicos aderentes





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

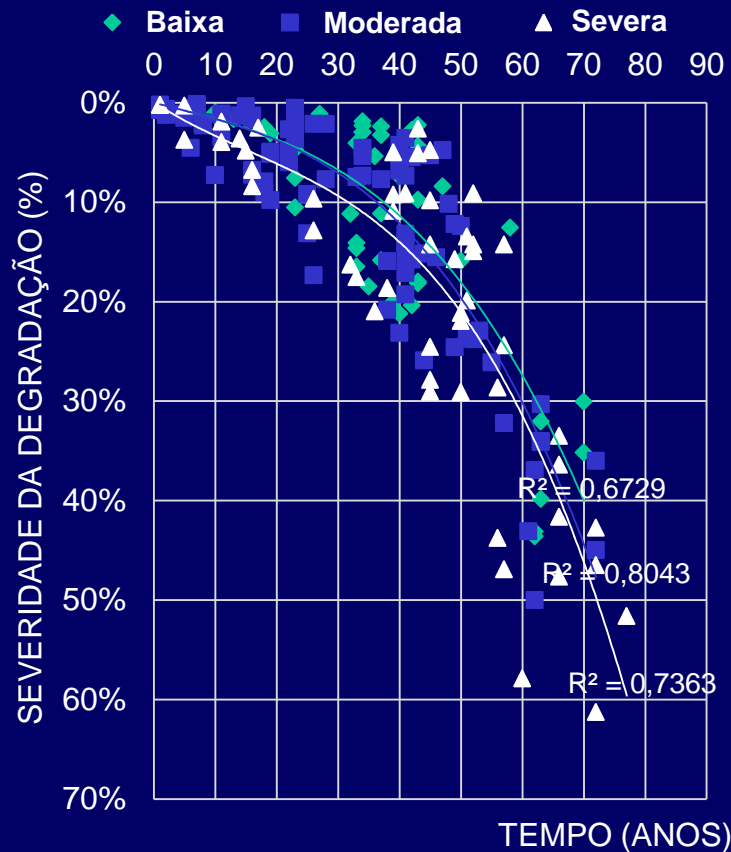
LISBOA
TeKtónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

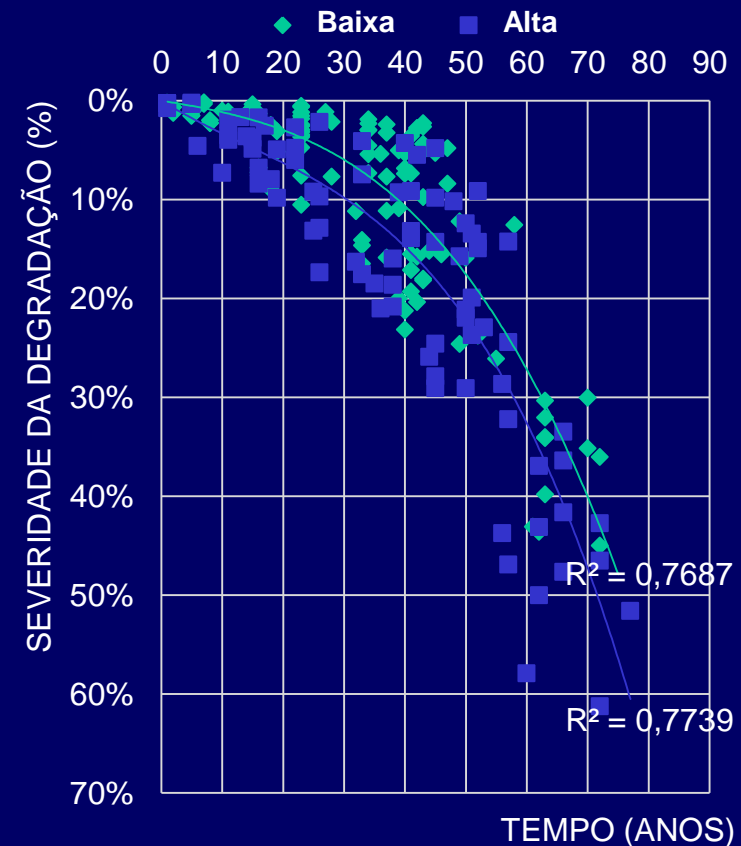
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

5. FACTORES DE DEGRADAÇÃO

Condições de exposição ambiental Revestimentos cerâmicos aderentes



Exposição à acção vento-chuva



Exposição à humidade



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TekTónica

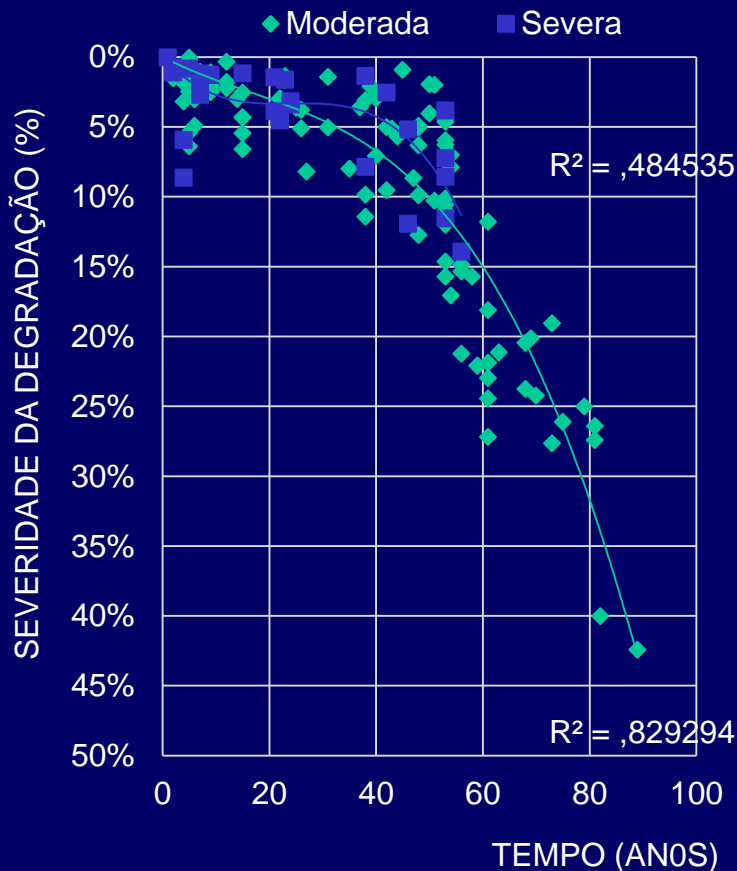
Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

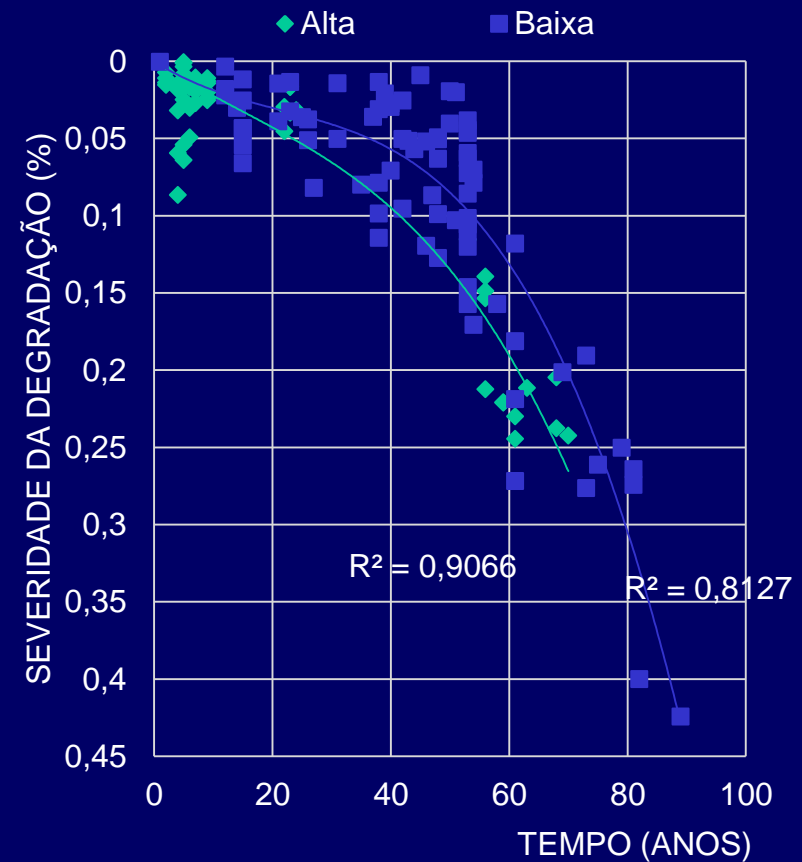
5. FACTORES DE DEGRADAÇÃO

Condições de exposição ambiental

Revestimentos em pedra natural



Exposição à acção vento-chuva



Exposição à humidade



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

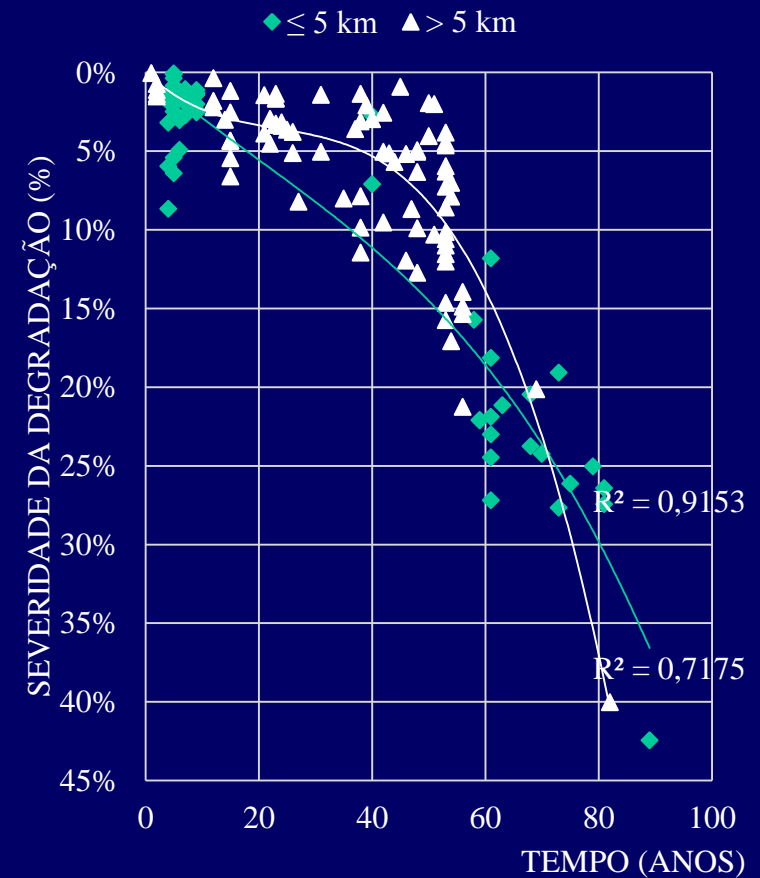
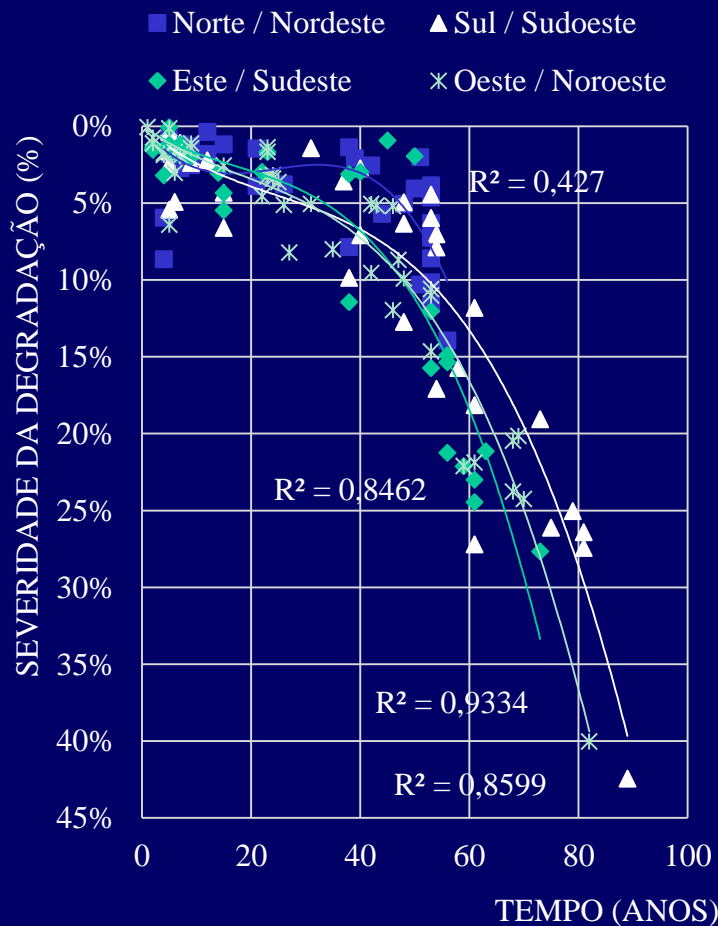
TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

5. FACTORES DE DEGRADAÇÃO

Condições de exposição ambiental Revestimentos em pedra natural





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

5. FACTORES DE DEGRADAÇÃO

Revestimentos cerâmicos aderentes (195 casos de estudo)

Características do revestimento		Vida útil estimada (anos)
Orientação da fachada	Sul / Sudoeste	47
	Este / Sudeste	53
	Oeste / Noroeste	52
	Norte / Nordeste	50
Exposição à humidade	Alta	48
	Baixa	53
Proximidade do mar	≤ 1km	48
	> 1 e < 5km	51
	≥ 5km	53
Exposição à acção vento - chuva	Severa	49
	Moderada	51
	Baixa	53
Manutenção	Sim	54
	Não	50

Características do revestimento		Vida útil estimada (anos)
Nível de execução	Adequado	50
	Inadequado	24
Cor do ladrilho	Branco	-
	Cores claras	49
	Cores escuras	54
Dimensão do ladrilho	L < 20	51
	L ≥ 20	46
Tipo de substrato	Alvenaria	49
	Betão	52
Tipo de acabamento	Vidrado	50
	Não vidrado	-
Juntas periféricas	Sim	52
	Não	49
Protecção periférica	Sim	51
	Não	50



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

5. FACTORES DE DEGRADAÇÃO

Revestimentos em pedra natural (142 casos de estudo)

VUE para as diferentes características dos revestimentos pétreos

Características do revestimento		Vida útil estimada (anos)	Características do revestimento		Vida útil estimada (anos)
Tipo de pedra	Mármore	67	Exposição à humidade	Alta	62
	Calcários	71		Baixa	70
	Granitos e rochas afins	93	Orientação da fachada	Sul / Sudoeste	71
	Xistos ou ardósias	-		Este / Sudeste	62
Tipo de acabamento	Rugoso fino	66		Oeste / Noroeste	65
	Liso	72	Norte / Nordeste	66	
Cor da pedra natural	Branco	66	Exposição à acção vento - chuva	Moderada	68
	Cores claras	71		Severa	65
	Cores escuras	109	Proximidade do mar	≤ 5 km	63
		> 5 km		68	



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TekTónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

6. CONCLUSÕES

Resultados obtidos pelos diferentes métodos utilizados na previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos colados

Susceptibilidade dos revestimentos face a factores de construção, utilização e manutenção (adaptado de Shohet e Laufer, 1996)

Factores extrínsecos ao revestimento	Argamassa cimentícia	Argamassa sintética	Revestimentos cerâmicos aderentes	Revestimento pétreo fixado mecanicamente	Revestimento pétreo fixado directamente
Actividade do edifício	Moderada a alta	Moderada a alta	Alta	Baixa	Muito alta
Qualidade dos materiais	Alta	Moderada	Muito alta	Alta	Alta
Qualidade de aplicação	Alta	Moderada a alta	Muito alta	Muito alta	Alta
Qualidade da mão-de-obra	Moderada a alta	Moderada a alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta
Deformações estruturais	Moderada	Moderada	Muito alta	Moderada a alta	Baixa a moderada
Facilidade de manutenção	Muito alta	Excelente	Muito alta	Variável	Moderada



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

6. CONCLUSÕES

Resultados obtidos pelos diferentes métodos utilizados na previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos colados

Método factorial

- VUE média $\approx 50,3$ anos
- Desvio padrão $\approx 10,3$ anos
- Amplitude de VUE $\approx 50,4$ anos



Regressão múltipla linear

- VUE média $\approx 46,2$ anos
- Desvio padrão $\approx 4,3$ anos
- Amplitude de VUE $\approx 18,6$ anos





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas
Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

6. CONCLUSÕES

Resultados obtidos pelos diferentes métodos utilizados na previsão da vida útil dos revestimentos pétreos (fixados directamente ao suporte)

Método factorial

- VUE média $\approx 64,6$ anos
- Desvio padrão $\approx 12,5$ anos
- Amplitude de VUE $\approx 67,4$ anos

Regressão múltipla linear

- VUE média ≈ 77 anos
- Desvio padrão $\approx 11,2$ anos
- Amplitude de VUE $\approx 48,5$ anos

Análise de trajectórias

- VUE média ≈ 77 anos
- Desvio padrão $\approx 7,9$ anos
- Amplitude de VUE ≈ 32 anos

Redes neuronais artificiais

- VUE média ≈ 80 anos
- Desvio padrão $\approx 9,3$ anos
- Amplitude de VUE ≈ 37 anos

Regressão logística

- A probabilidade de um caso atingir o fim da vida útil é praticamente nula até aos 50 anos;
- A partir dos 70 anos, a probabilidade de um revestimento pétreo ter atingido o fim da vida útil é superior a 90%.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TeKtónica LISBOA

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

6. CONCLUSÕES

- ✓ A previsão da vida útil permite desenvolver metodologias que apoiem as tomadas de decisão, a optimização das acções de manutenção, comparação de diferentes soluções técnicas e determinar os períodos óptimos para as efectuar, sem nunca esquecer o factor custo.
- ✓ O limite que estabelece o fim da vida útil é um conceito subjectivo, que varia de acordo com as exigências dos utilizadores, com o contexto do edifício e até inclusive com os fundos disponíveis para as acções de manutenção.
- ✓ Os modelos propostos são baseados em dados recolhidos em campo, originando um modelo cuja aplicação é relativamente simples.
- ✓ O desenvolvimento da metodologia proposta poderá permitir, em termos práticos, conhecer melhor a interacção deste tipo de revestimentos com o meio envolvente.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas

Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais

6. CONCLUSÕES

A modelação estatística da previsão da vida útil permite:

- conhecer melhor um fenómeno complexo como é a degradação das fachadas;
- avaliar as variáveis que contribuem para a degradação das fachadas;
- hierarquizar essas variáveis;
- perceber a forma como as diferentes variáveis se combinam e explicam entre si;
- obter uma fórmula matemática, cuja aplicação pode ser estendida a outros casos;
- determinar a vida útil estimada para cada caso analisado.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

LISBOA
TeKtónica

PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DE REVESTIMENTOS COLADOS CERÂMICOS E EM PEDRA NATURAL



*Feira Internacional de Construção e Obras
Públicas*

*Seminário sobre colagem de cerâmicos
e rochas ornamentais*

Jorge de Brito (IST)

Ana Silva (IST)

Lisboa - 9 MAIO 2014