

PREDIÇÃO DE OCORRÊNCIAS ARQUEOLÓGICAS EM OBRAS DE INFRAESTRUTURA

Antoniél Campos
Engº Civil

Árlon Facynek de Oliveira Carvalho
Arqueólogo



11 A 15
SETEMBRO | 2023
SÃO PAULO - SP

REALIZAÇÃO



IBAPE NACIONAL
Instituto Brasileiro de Avaliações
e Perícias de Engenharia

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

- **OBJETIVO:** apresentar um modelo matemático de predição de sítios arqueológicos, capaz de identificar as áreas mais propensas a essas ocorrências.

Por quê?
Para quê?

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

Data	UF	Manchete
out-19	PA	<i>Órgão responsável pela obra disse que achado de possível sítio arqueológico teria embargado o empreendimento.</i>
jan-21	SP	<i>Justiça manda paralisar obras da linha 2-verde do Metrô de SP</i>
nov-21	AL	<i>Vestígios históricos encontrados no Centro podem ter de 100 a 150 anos</i>
jun-22	PR	<i>Iphan autoriza início da duplicação de trecho da PR-445; obras estão atrasadas por impasse com sítios arqueológicos</i>
jun-22	SP	<i>Metrô toca em sítio arqueológico; parada Saracura/Vai-Vai</i>
ago-22	SC	<i>Obras de pavimentação da estrada de Congonhas são embargadas pelo IPHAN</i>
jan-23	RR	<i>Trecho da BR-174/RR paralisado: necessidade de realizar acompanhamento arqueológico solicitado pelo Iphan</i>
jan-23	PA	<i>Sítio arqueológico: MPF pede paralisação de obras no PA entre Óbidos e Oriximiná</i>

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

Data	UF	Manchete
out-19	PA	Órgão responsável pela obra disse que achado de possível sítio arqueológico teria embargado o empreendimento .
jan-21	SP	Justiça manda paralisar obras da linha 2-verde do Metrô de SP
nov-21	AL	Vestígios históricos encontrados no Centro podem ter de 100 a 150 anos
jun-22	PR	Iphan autoriza início da duplicação de trecho da PR-445; obras estão atrasadas por impasse com sítios arqueológicos
jun-22	SP	Metrô toca em sítio arqueológico; parada Saracura/Vai-Vai
ago-22	SC	Obras de pavimentação da estrada de Congonhas são embargadas pelo IPHAN
jan-23	RR	Trecho da BR-174/RR paralisado : necessidade de realizar acompanhamento arqueológico solicitado pelo Iphan
jan-23	PA	Sítio arqueológico: MPF pede paralisação de obras no PA entre Óbidos e Oriximiná

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

- Da magnitude do problema a ser enfrentado

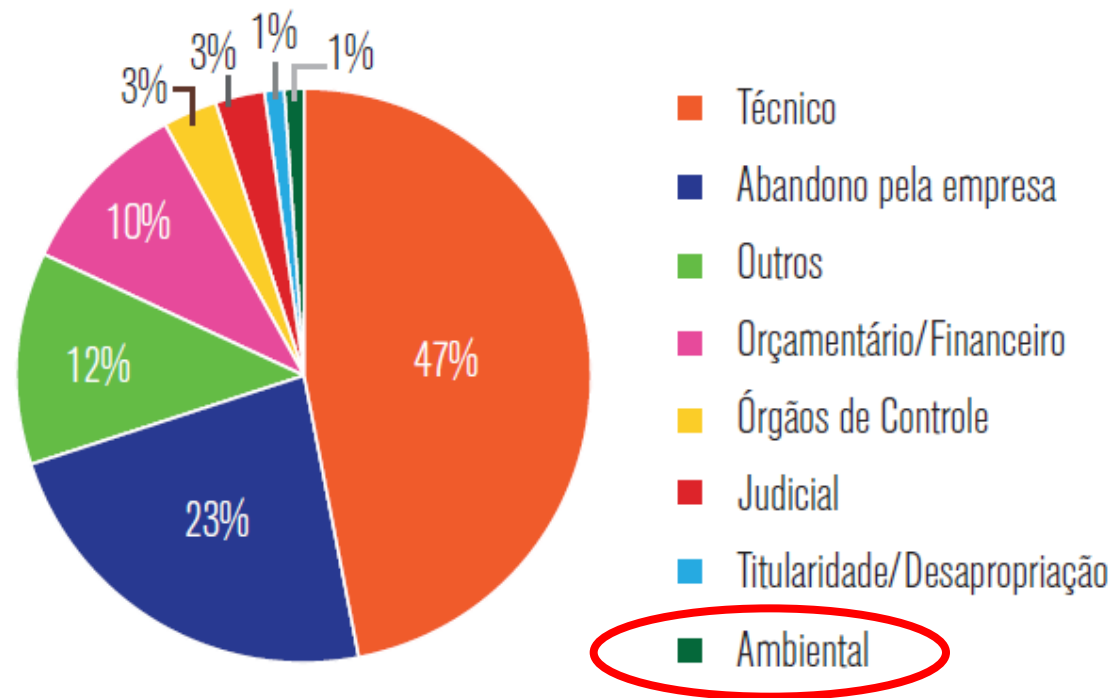
Situação	Obras analisadas		Investimento inicialmente previsto	
	Qtde	% relativo	R\$	% relativo
Em reformulação	590	1,54%	204.988.942,85	0,03%
Adiantada	950	2,47%	957.961.227,72	0,13%
Atrasada	2.700	7,03%	4.105.680.314,13	0,57%
Normal/Em execução	19.728	51,36%	575.829.146.944,31	79,37%
Obra iniciada s/ medição	41	0,11%	44.541.721,12	0,01%
Paralisada/Inacabada	14.403	37,50%	144.314.132.476,62	19,89%
Total Geral	38.412	100,00%	725.456.451.626,74	100,00%

Fonte: Tribunal de Contas da União – Acórdão 1.079/2019 – TCU – Plenário

Desse total de obras, 1% tem motivação de cunho ambiental

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

- Motivos de paralisação das obras:



1% ≈ R\$ 1,5 bi em obras públicas

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

- Efeitos incidentais da paralisação de obras (TCU, IPHAN):
- O ctto. Acessório de Monit. Arqueológico abre frentes de trabalho para o ctto. Principal (Obras)
 - Com a paralisação do ctto. Principal, o ctto. Acessório também é paralisado, cessando o Monitoramento e Resgate arqueológico.
 - Após o reinício do ctto. Principal, o ctto. Acessório retoma suas atividades, o que impõe um período adicional de paralisação das obras, até que as frentes possam ser liberadas.

É NECESSÁRIO SABER A LOCALIZAÇÃO PRÉVIA DOS SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS!

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

- Premissas adotadas na construção de modelos preditivos:
 - 1) A escolha do local dos acampamentos dos povos pré-históricos foi influenciada por variáveis ambientais, naturais e físicas;
 - 2) Essas variáveis podem ser representadas por dados atuais;
 - 3) Há correlação entre a localização dos sítios arqueológicos e as variáveis ambientais.

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

- Abordagens usuais em Modelagem Preditiva Arqueológica:

“Tratamento científico”

“Tratamento por fatores”

INDUTIVA	DEDUTIVA
Orientada por dados empíricos tratados de forma estatística.	A modelagem é orientada pela experiência prévia do arqueólogo.
Dados empíricos para verificação das correlações entre sítios arqueológicos e variáveis ambientais. Aplicação de testes estatísticos.	Formulação de hipóteses sobre a localização dos sítios (por exemplo, proximidade de água).
Uso de técnicas inferenciais, como a regressão logística	Para cada variável atribui-se diferentes pesos através de uma equação matemática.
Possibilidade de extrapolar os resultados para uma área maior	Não há a criação de novos conhecimentos e sim, a utilização de um conhecimento prévio.

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

- Variáveis independentes utilizáveis em Mod. Pred. Aqueológica:

VARIÁVEIS	RELEVÂNCIA
Distância da água	Representa a maior ou menor distância à fonte de água e sua influência na escolha de locais de habitação
Declividade	Representa a energia dispendida até às fontes (água, alimentos)
Elevação	representa a altimetria do terreno em relação ao nível do mar
Vegetação	Representa o tipo de vegetação predominante, pretérita e atual
Clima	informa quanto aos períodos de seca e médias térmicas
Radiação solar	representa o nível de exposição à claudicância
Geologia	estudo da crosta terrestre, da matéria que a compõe, o seu mecanismo de formação, as alterações que ocorrem desde a sua origem e a estrutura que a sua superfície possui atualmente
Geomorfologia	estuda a origem e a estrutura das formas de relevo. A formação de elementos da superfície terrestre é identificada pela natureza das rochas, pelo clima e por fatores endógenos e exógenos.
Pedologia	Refere-se ao estudo dos solos no seu ambiente natural.
Litologia	estudo especializado em rochas e suas camadas
Hidrogeologia	identifica a presença de aquíferos
Rugosidade do terreno	Identifica solos planos ou irregulares

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

- A Variável dependente (**Ra = risco arqueológico**) é uma resposta entre **0 e 1**, ou seja, fornece o percentual (a probabilidade) de ocorrência de sítios arqueológicos no local de interesse.
- Na abordagem INDUTIVA (trat. científico), **Ra** é obtida com o uso da **REGRESSÃO LOGÍSTICA**.
- Assim, em uma amostra com “k” variáveis independentes, Ra assume os valores **0 (não há sítio arqueológico)** ou **1 (há sítio arqueológico)**.

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

	Variáveis independentes							Variável dependente
	contínuas			binárias				binária
Sítio	Dist. da água (m)	Decliv.	Clima (°C)	Veget. 1	Veget. 2	Solo 1	Solo 2	Ra (risco arqueológico)
1	42,0	-0,7500	23	0	0	0	1	1
2	0,0	0,1000	29	0	1	1	0	0
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
198	10,0	0,4000	28	0	0	0	1	1
199	8.000,0	-0,2900	31	0	1	0	0	0
200	194,0	0,5300	15	1	0	1	0	1

PROBLEMA DE PESQUISA:



1ª vertente: na amostra, Ra = 0 é uma **certeza** (o sítio NÃO existe)



2ª vertente: na amostra, Ra = 0 é uma **incerteza** (o sítio pode não existir)

- Na 2ª vertente (**incerteza**), os dados da amostra com **Ra=0** são escolhidos aleatoriamente na área de interesse, assumindo-se ali como **sítio inexistente**.
- Risco de falso negativo: locais assumidos como Ra=0 pode ser um Ra=1

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

- **ESTRATÉGIA PARA CONTORNAR O PROBLEMA DE PESQUISA:**
- **Gujarati** (2019): numa amostra composta por “ $Ra = 1$ ”, é feito o agrupamento de dados conforme as variáveis independentes (transformadas em binárias), estabelecendo-se uma hierarquia conforme a frequência desses agrupamentos.
- A escala hierárquica gerada pode então ser dividida em faixas potenciais de ocorrências arqueológicas, como de “**Alto**”, “**Médio**” ou “**Baixo**” potencial.

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

- ÁREA DE INTERESSE: RN



- Amostra: 84 Sítios arqueológicos (Δ)

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

Segregação de variáveis

Dist.Água (A1)		Declividade (D1)		Classe de solo			
< 1.500 m		< 0,090		Neossolos (S1)		Planossolos (S2)	
Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
1	0	1	0	1	0	1	0

#	A1	D1	S1	S2	Quant.	Frequência (Ra)
1	1	1	1	0	14	0,1667
2	1	1	0	1	28	0,3333
3	1	1	0	0	18	0,2143
4	1	0	1	0	5	0,0595
5	1	0	0	1	0	0,0000
6	1	0	0	0	0	0,0000
7	0	1	1	0	12	0,1429
8	0	1	0	1	3	0,0357
9	0	1	0	0	4	0,0476
10	0	0	1	0	0	0,0000
11	0	0	0	1	0	0,0000
12	0	0	0	0	0	0,0000

Total:

84

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

- Foi utilizada Regressão Linear. O modelo de regressão de melhor ajuste é dado pela equação:

$$Ra = -0,01872 + 0,0564 \times A1 + 0,11198 \times D1 + 0,0268 \times S1 - 0,02551 \times S2$$

Onde:

Ra: Probabilidade de encontrar um sítio arqueológico no local de interesse;

A1: Distância da massa aquática ao sítio arqueológico, em metros, assumindo o valor “1”, caso a distância seja < 1.500 m, ou valor “0”, caso a distância seja ≥ 1.500 m;

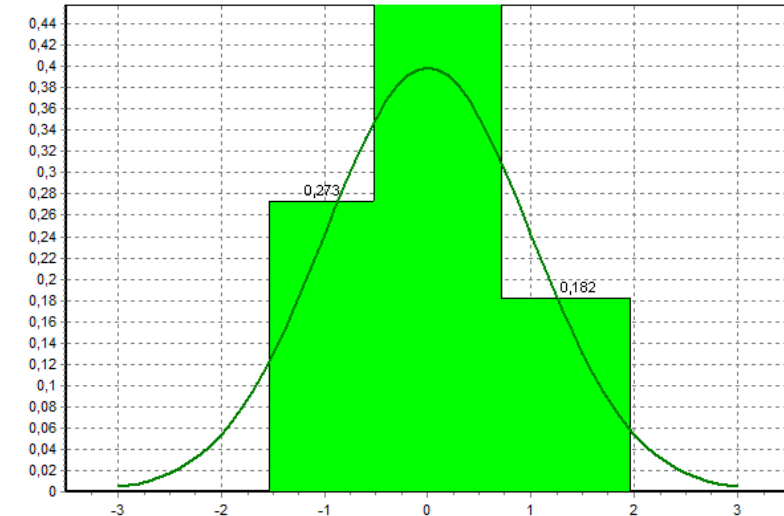
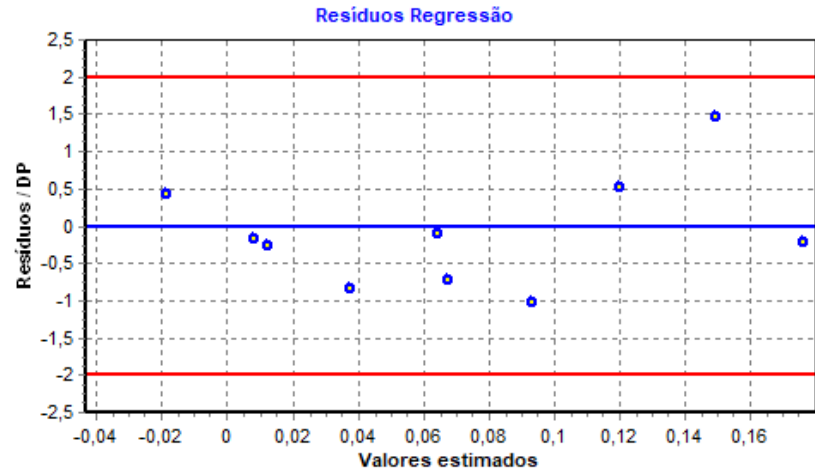
D1: Declividade predominante no local de interesse, adimensional, assumindo o valor “1”, para uma declividade < 0,090, ou valor “0”, caso a declividade seja ≥ 0,090;

S1: Classe de solo. Assume o valor “1”, caso o solo seja da classe Neossolos, ou valor “0”, caso não seja;

S2: Classe de solo. Assume o valor “1”, caso o solo seja da classe Planossolos, ou valor “0”, caso não seja.

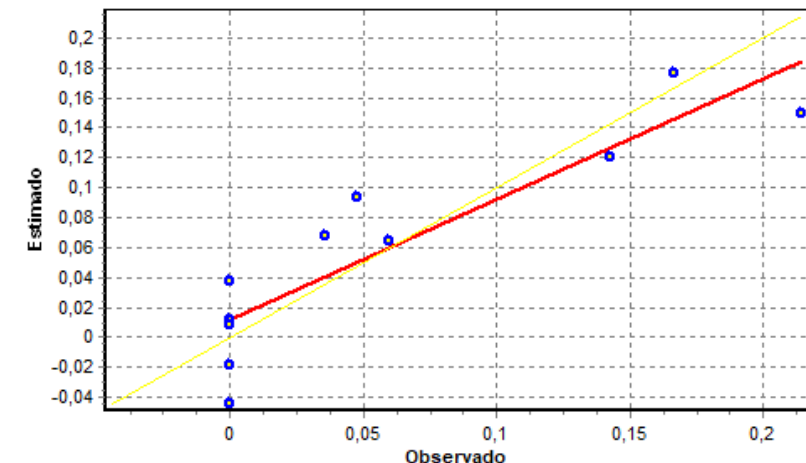
Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

- ANÁLISE DOS PRESSUPOSTOS BÁSICOS:



- PODER DE PREDIÇÃO DO MODELO:

- “r” = 0,897
- “r²” = 0,804



Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

Acurácia do modelo:

Potencial arqueológico	
Risco (Ra)	Potencial
< 0,068	Baixo
$0,068 \leq Ra \leq 0,124$	Médio
> 0,124	Alto

Sítio	A1	D1	S1	S2	QUANT	Ra_calc	Potencial
1	1	1	0	0	1	0,1497	Alto
2	1	1	0	0	1	0,1497	Alto
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
10	0	1	0	0	1	0,0933	Médio
11	0	1	0	0	1	0,0933	Médio
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
17	1	0	1	0	1	0,0645	Baixo
18	1	0	1	0	1	0,0645	Baixo

Totalização:	
Baixo	8
Médio	16
Alto	60
Total	84

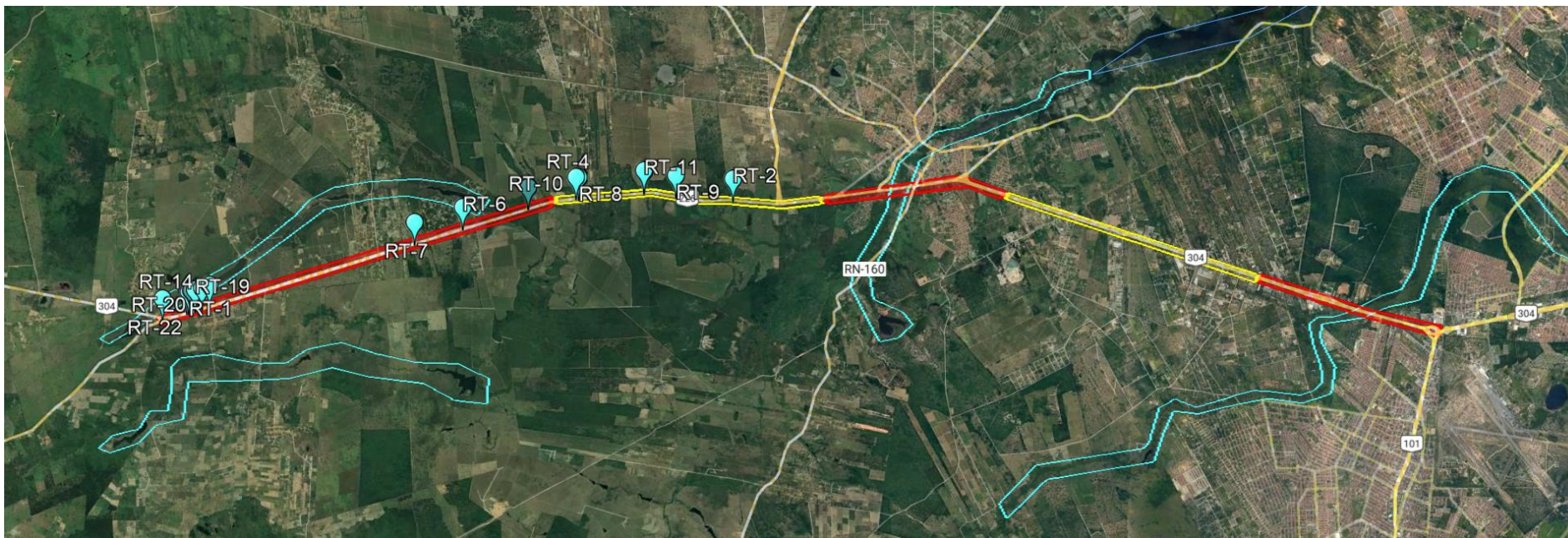
$$\text{Acurácia} = [\Sigma \text{“Alto”} + 50\% \Sigma \text{“Médio”}] / \text{Total}$$

$$\text{Acurácia} = (60 + 0,50 \times 16) / 84 = 0,81, \text{ ou } 81\%$$

=> O modelo “acerta” **81%** dos seus prognósticos.

Predição de ocorrências arqueológicas em obras de infraestrutura

ESTUDO DE CASO: Duplicação de 27 km rodovia (BR-304/RN)



📍 RT = Relatório Técnico de Monitoramento Arqueológico:

Acurácia = $(15 + 0,50 \times 7) / 22 = 0,84$, ou **84%** 👍

RT "Alto"	15
RT "Médio"	7
RT total	22

OBRIGADO!



antonielcampos@uol.com.br