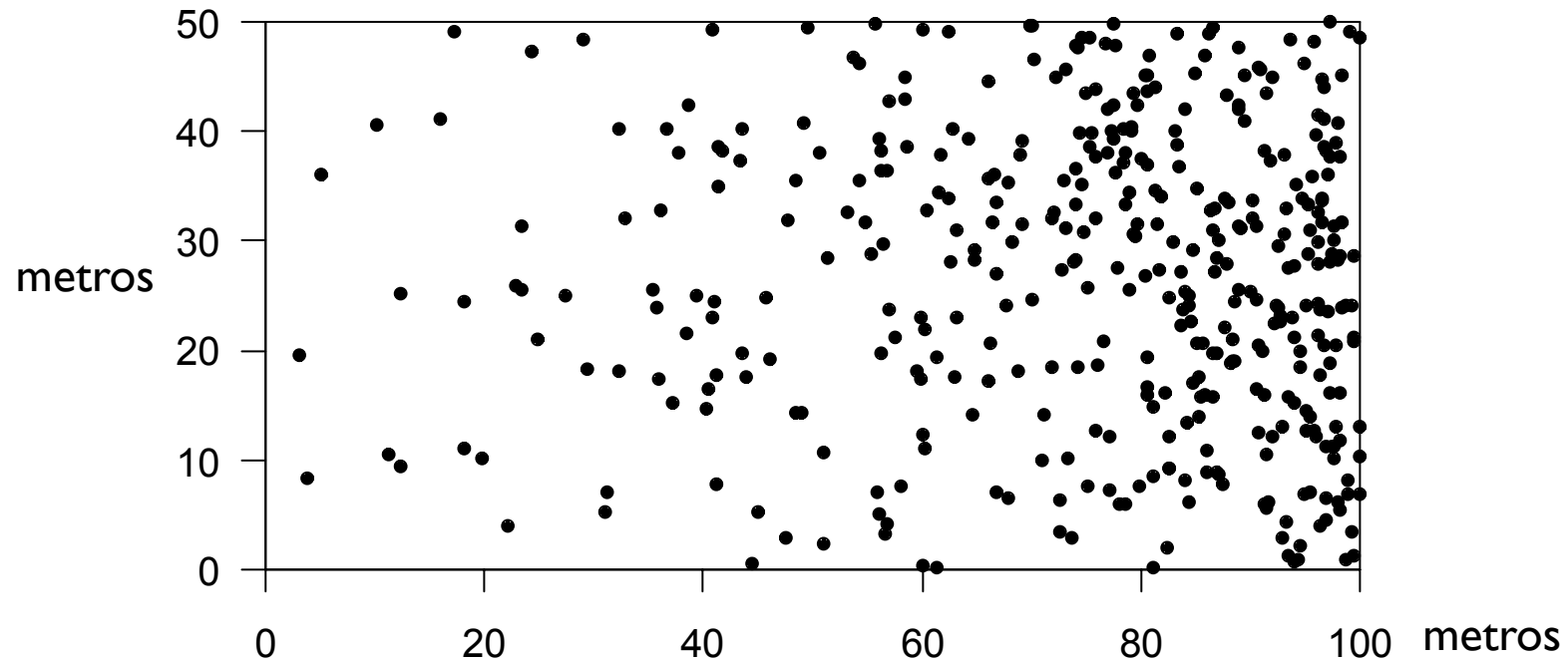


Métodos de Amostragem de Populações de Animais Silvestres

Amostragem de Distâncias
(Distance Sampling)

2009

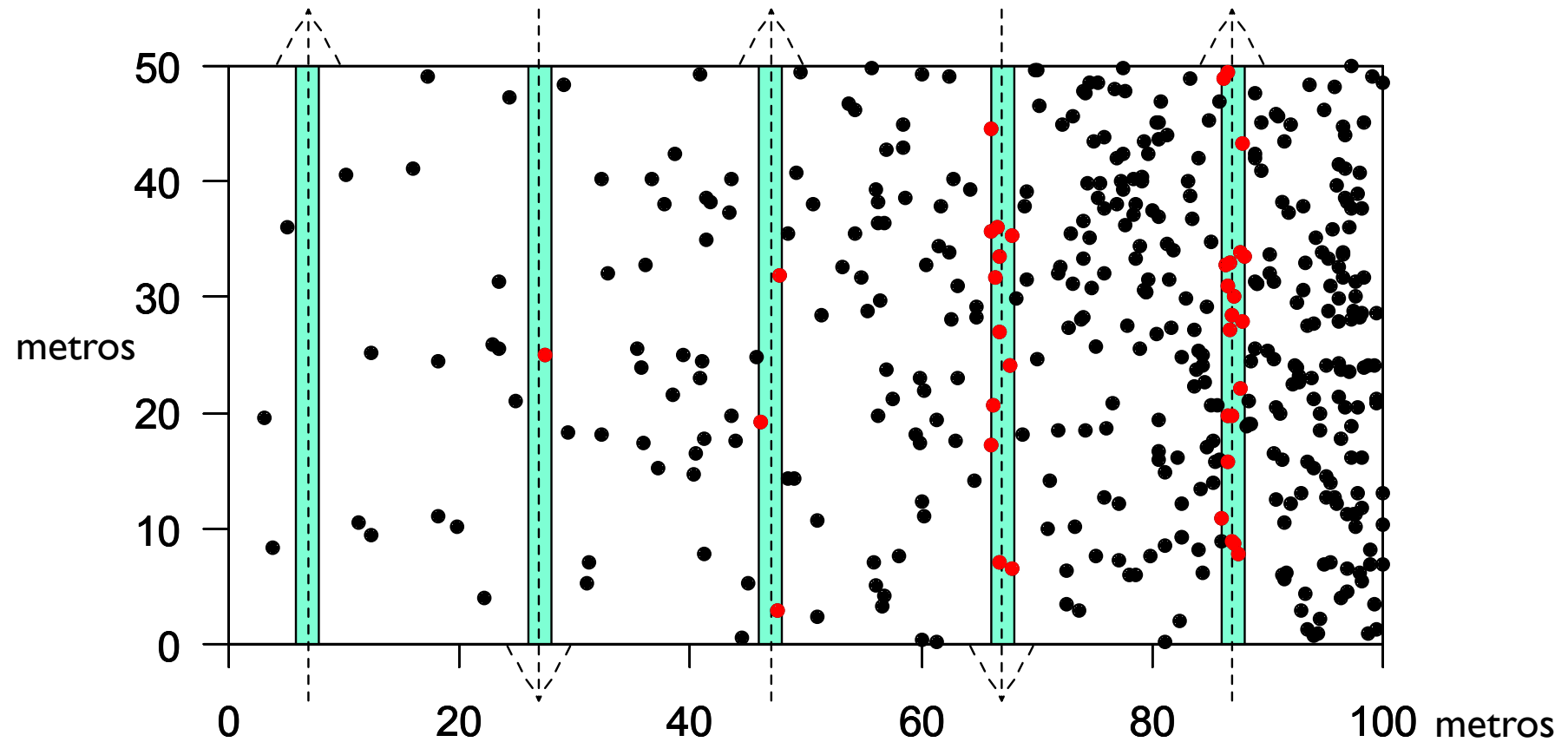
Objetivo de estimar o tamanho de uma população em uma determinada área



- ▶ Temos
 - N = tamanho da população (abundância)
 - A = tamanho da área de estudo = 5000 m² or 0,5 hectares
 - D = densidade da população = N/A
- ▶ Método: contar todos os animais, ou seja, fazer o censo
 - $N = 412$
 - $D = 412/5000 = 0,0824$ animais/m² ou 824 animais/ha

▶ Isto raramente é possível na prática!

Amostragem em faixas



$$\text{Área Total} = A = 5000 \text{ m}^2$$



Amostragem em faixas (trajeto)

► Temos

k = número de faixas = 5

L = Comprimento total da linha de amostragem = $50 \times 5 = 250$ m

w = comprimento da metade da faixa de amostragem = 1 m

Então:

a = área da região amostrada = $2wL = 2 \times 1 \times 250 = 500$ m²

n = número de animais contados dentro das faixas = 36

Daí extrapola-se para toda área.



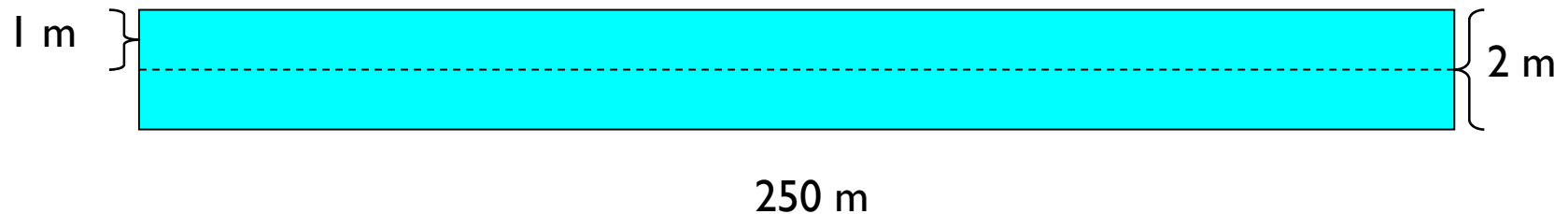
Amostragem em faixas (trajetos)

Ou seja:

36 animais em 500 m² ou 360 animais/0,5 ha

Valor real = 412 animais na área de estudo

$a = \text{área amostrada} = 500 \text{ m}^2$



Exercício

- ▶ No levantamento aéreo por faixas, em uma área de 16000 hectares, foram amostradas sistematicamente 12 faixas de 5 km de comprimento por 300 m de largura.
- ▶ Os dados obtidos foram:

Faixa	Indiv.	Faixa	Indiv.	Faixa	Indiv.
1	12	5	6	9	4
2	8	6	4	10	9
3	11	7	6	11	12
4	9	8	8	12	7



Fazer um programa SAS para calcular o número total de animais na área de estudo e o respectivo intervalo de confiança e erro de amostragem (%)

Prob.= 95%

Programa SAS (1)

```
OPTIONS PS=54 PAGENO=1 NODATE;
```

```
DATA A;
```

```
INPUT UNIDADE INDIV;
```

```
DATALINES;
```

```
1 12
```

```
2 8
```

```
3 11
```

```
4 9
```

```
5 6
```

```
6 4
```

```
7 6
```

```
8 8
```

```
9 4
```

```
10 9
```

```
11 12
```

```
12 7
```

```
;;;
```



Programa SAS (2)

```
ODS PDF FILE='.....\AEREO.PDF';  
PROC MEANS DATA=A NOPRINT;  
  VAR INDIV;  
  OUTPUT OUT=B MEAN= MEDIA VAR=VARIAN N=UNID;  
DATA C;  
  SET B;  
  ARTOT=16000; * VALOR EM HECTARES;  
  ARPAR=300*5000/10000; * VALOR EM HECTARES;  
  GL=UNID-1;  
  T=TINV(0.975,GL);  
  NTOT=ARTOT/ARPAR;  
  VARMED=(VARIAN/UNID)*(1-(UNID/NTOT));  
  ERPAMED=SQRT(VARMED);  
  ERPADTOT=NTOT*ERPAMED;  
  TOT=NTOT*MEDIA;  
  ICTOT=T*ERPADTOT;  
  ERAMOS=ICTOT/TOT*100;
```



Programa SAS (final)

```
TITLE2'Análise de uma amostragem feita por levantamento aéreo';  
TITLE4'Amostragem em faixas';  
PROC PRINT DATA=C NOOBS LABEL SPLIT='*';  
  VAR TOT ICTOT ERAMOS;  
  LABEL TOT='Número de*Animais na Área de*Estudo'  
        ICTOT='Intervalo*de*confiança*do TOTAL'  
        ERAMOS='Erro*de*amostragem*(%)*Probabilidade=95%';  
  FORMAT TOT ICTOT COMMAX8.0 ERAMOS COMMAX8.2;  
RUN;  
ODS PDF CLOSE;
```



Resultado

<i>The SAS System</i>
<i>Análise de uma amostragem feita por levantamento aéreo</i>
<i>Amostragem em faixas</i>

Número de Animais na Área de Estudo	Intervalo de confiança do TOTAL	Erro de amostragem (%) Probabilidade=95%
853	176	20,68



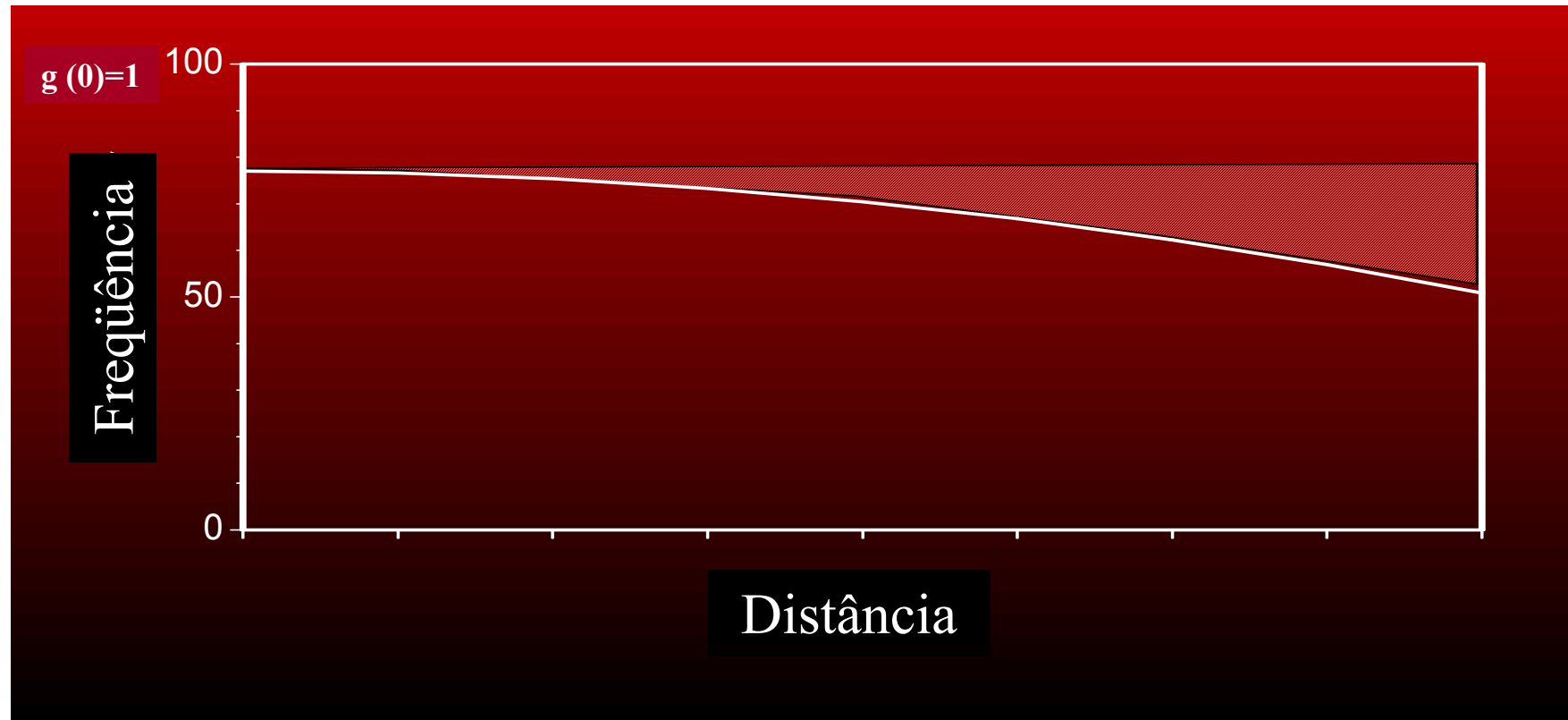
Amostragem de distâncias - Conceitos

- ▶ Um observador percorre uma linha e conta os animais e mede a distância perpendicular.
- ▶ A probabilidade de detecção está relacionada a distância perpendicular.
- ▶ Existe uma função de detecção $g(x)$ que começa em 1 e diminui monotonicamente com o aumento da distância
- ▶ Estimamos $g(x)$ e a usamos para calcular a probabilidade de detecção dos animais na faixa de amostragem.

$$P_a = \int_0^w \frac{g(x)dx}{w}$$



Probabilidade de detecção na faixa de amostragem



$$P_a = \int_0^w \frac{g(x)dx}{w} = \frac{\text{área sob a curva}}{\text{área em perfeita detecção}}$$

Suposições do modelo

Estimativas não tendenciosas (exatas) da densidade populacional podem ocorrer se certas suposições são consideradas. Estas suposições são importante para estabelecer um protocolo de coleta de dados em campo:

1. Os animais na linha são detectados com probabilidade = 1, $p=1$;
2. Os animais são detectados na sua posição inicial, antes de se mover (não contar mais de uma vez).
3. Distâncias e ângulos são medidos com grande exatidão.
4. Os animais são distribuídos espacialmente de acordo com algum processo aleatório.
5. As linhas percorridas no levantamento são distribuídas sistematicamente ou aleatoriamente.



Animais que ocorrem em grupos (clusters)

- ▶ **Em muitas situações os animais ocorrem em grupos (primatas, por exemplo).**
- ▶ **O protocolo envolve então detectar o grupo, medir a distância do observador ao centro do grupo e contar com exatidão quantos animais estão no grupo (cluster)**



Equipamentos usados para coleta de dados (GPS)



32 canais receptores



66 canais receptores



Receptores de alta sensibilidade



Equipamentos para medição de distâncias e ângulos (bússola)



Trena



Distanciômetro com bússola



Distanciômetro
(rangefinder)

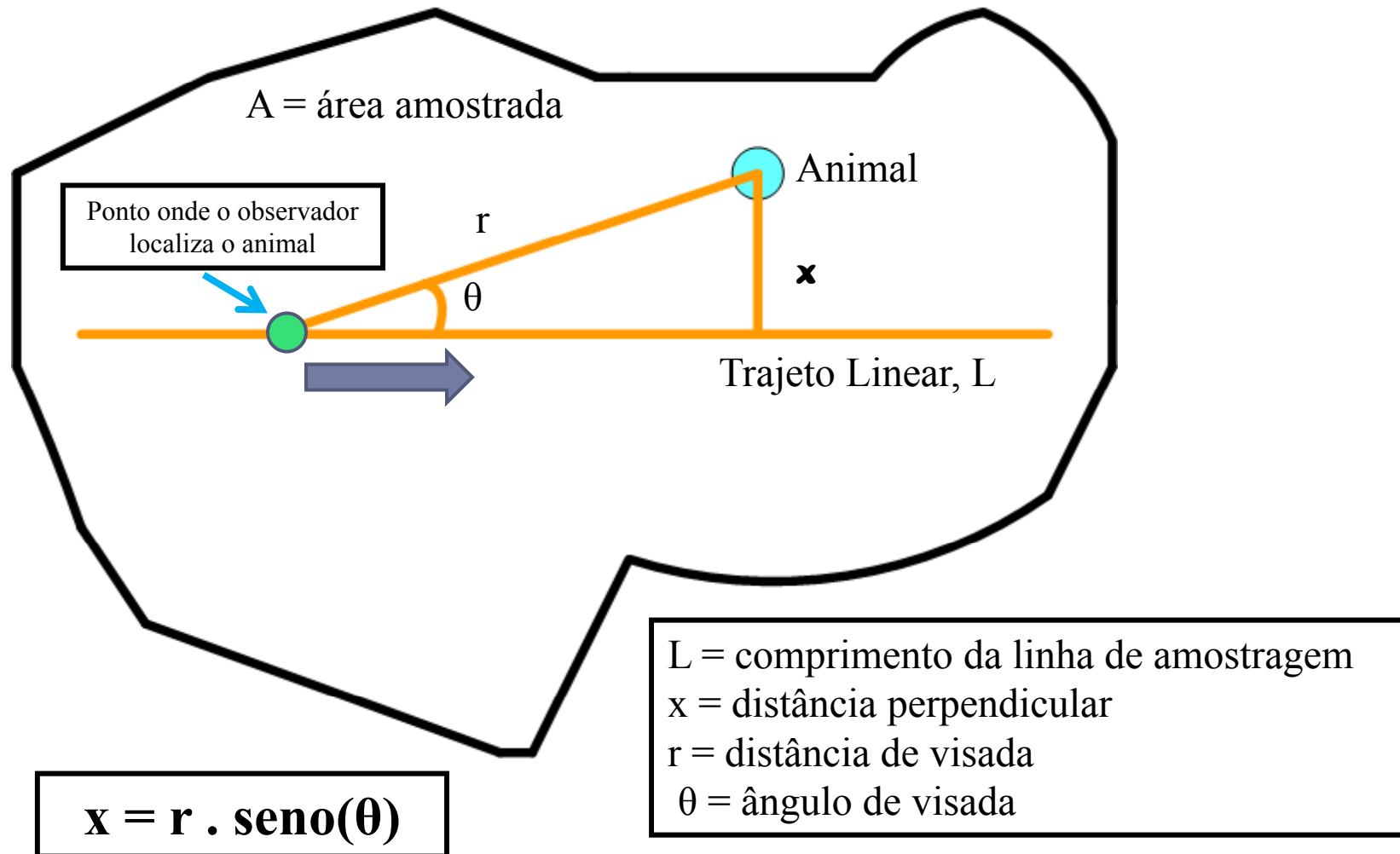


Bússola

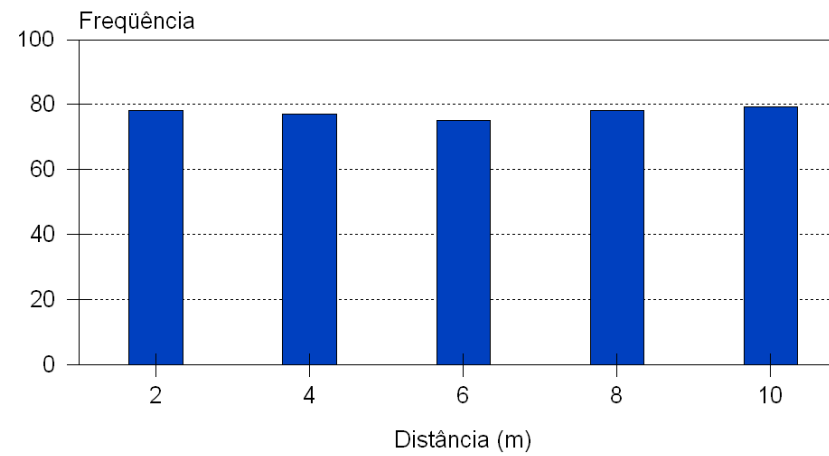
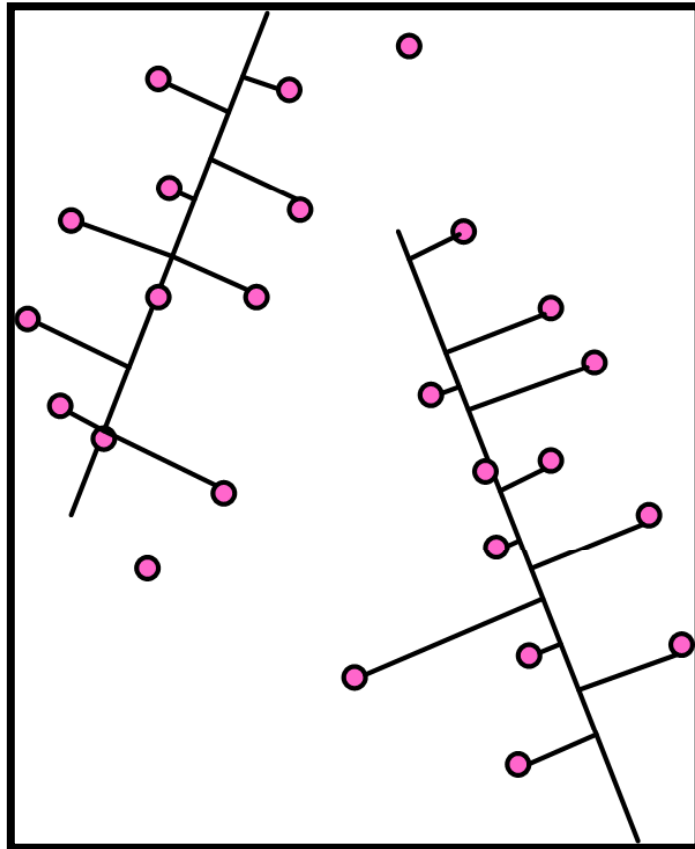


Bússola $\neq$ clinômetro

Medições realizadas no levantamento de distâncias



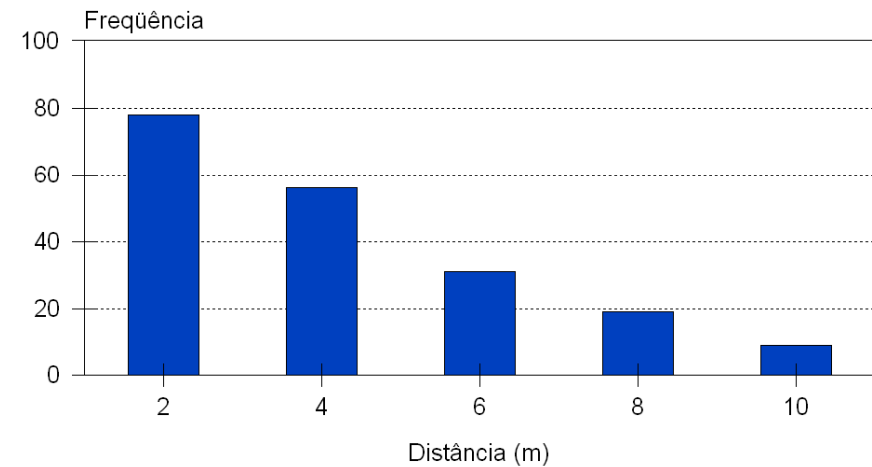
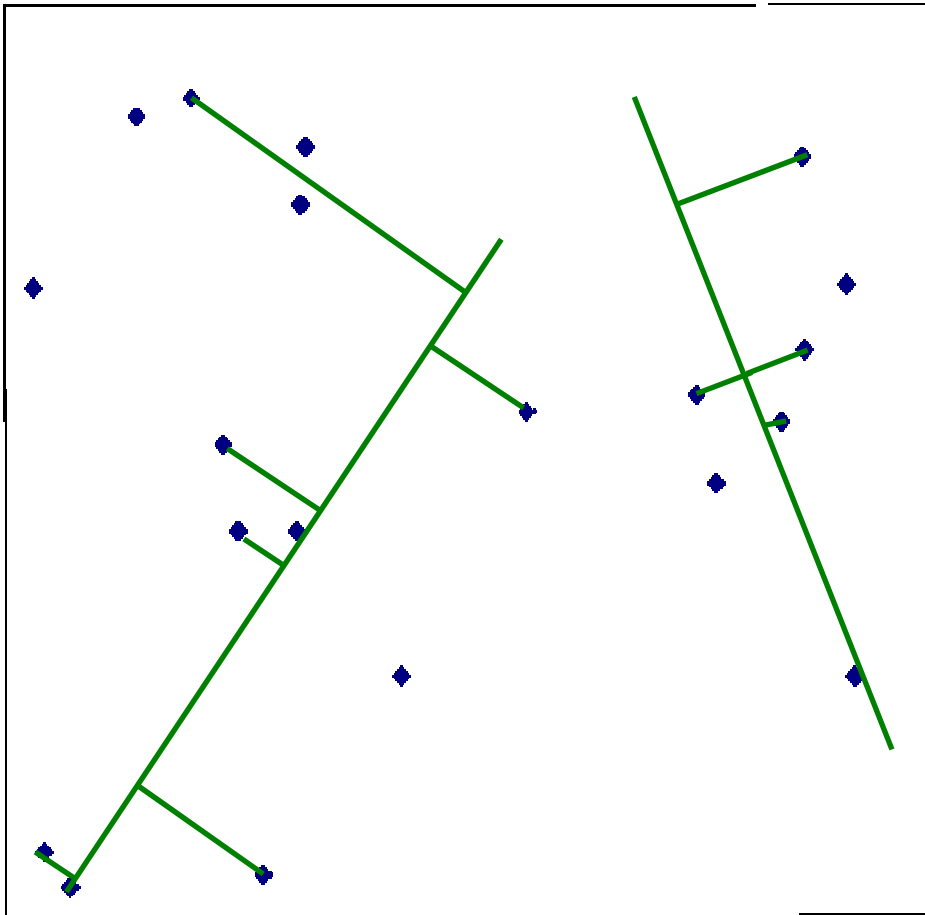
Detecção perfeita



$$\hat{D} = \frac{n}{a} = \frac{n}{2wL}$$

$$\hat{N} = \hat{D}A$$

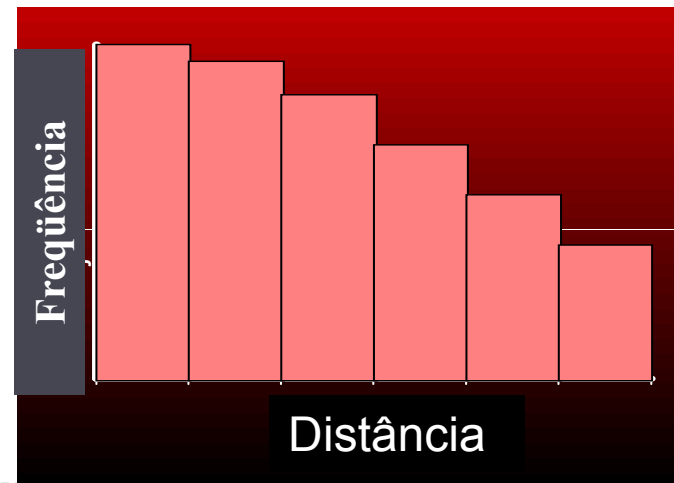
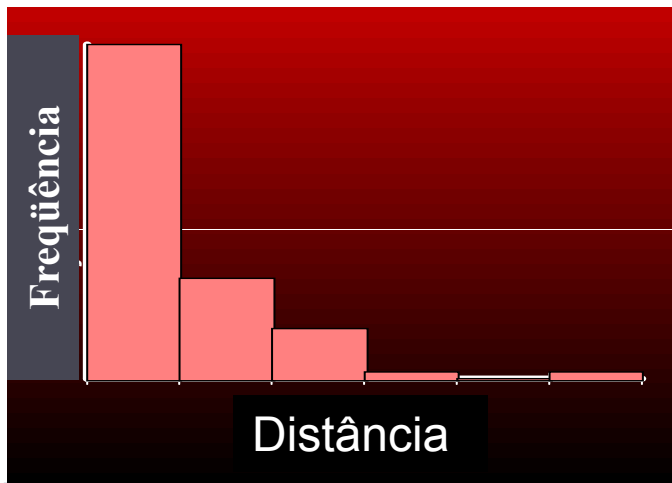
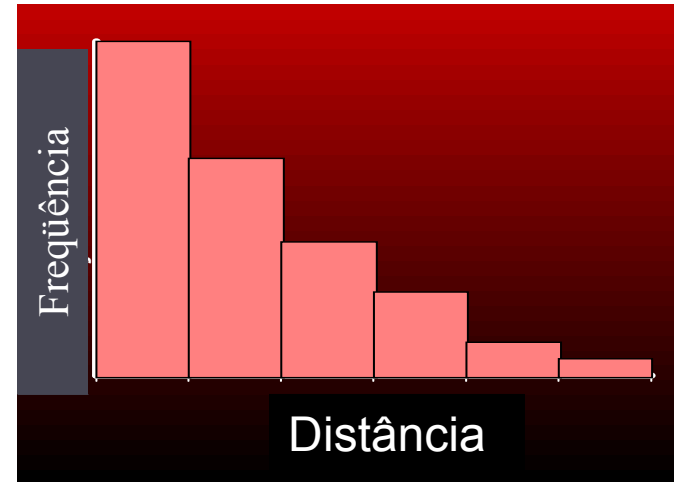
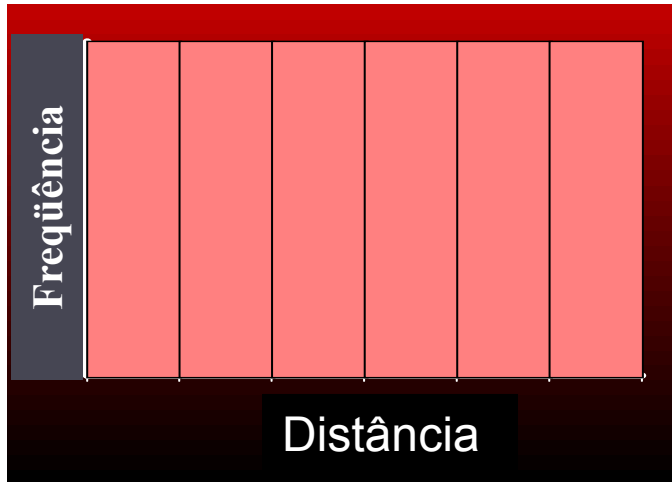
Detecção imperfeita



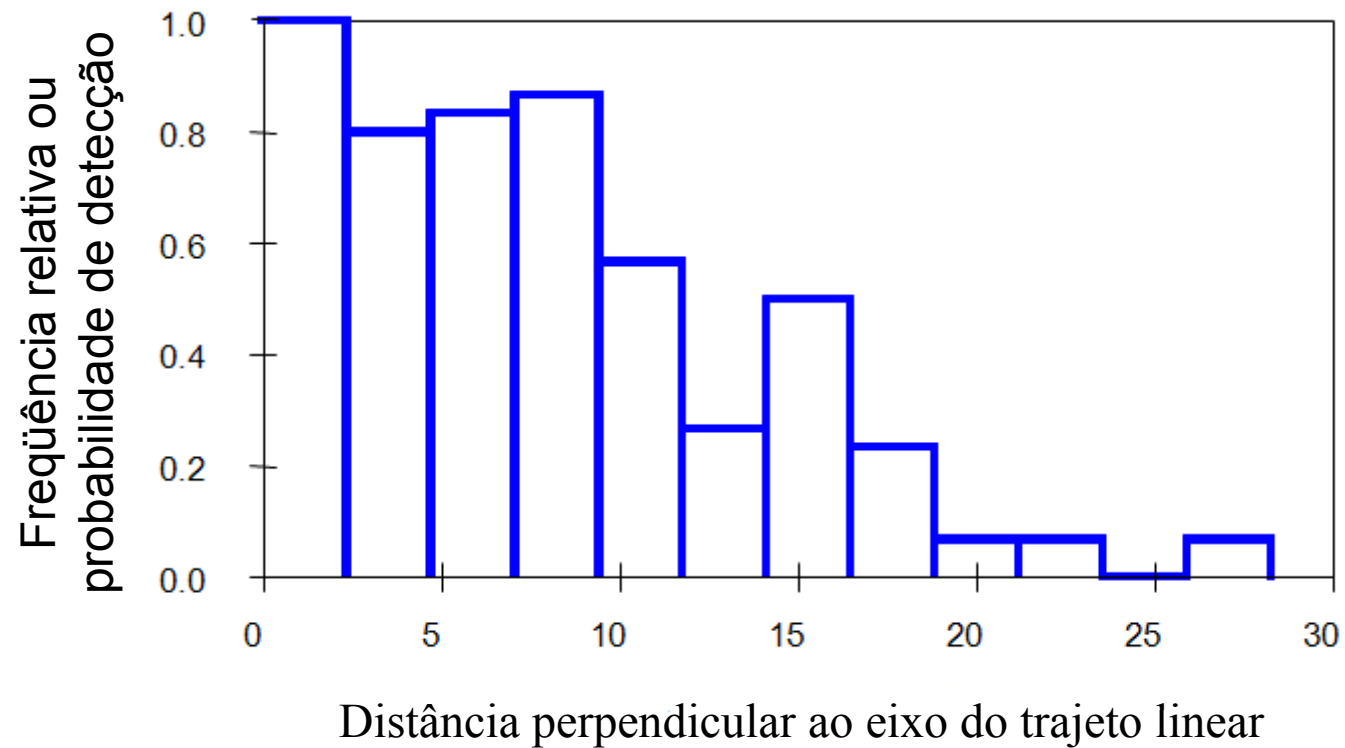
$$\hat{D} = \frac{n}{aP_a} = \frac{n}{2wLP_a}$$

P_a = probabilidade de detecção na área 'a'

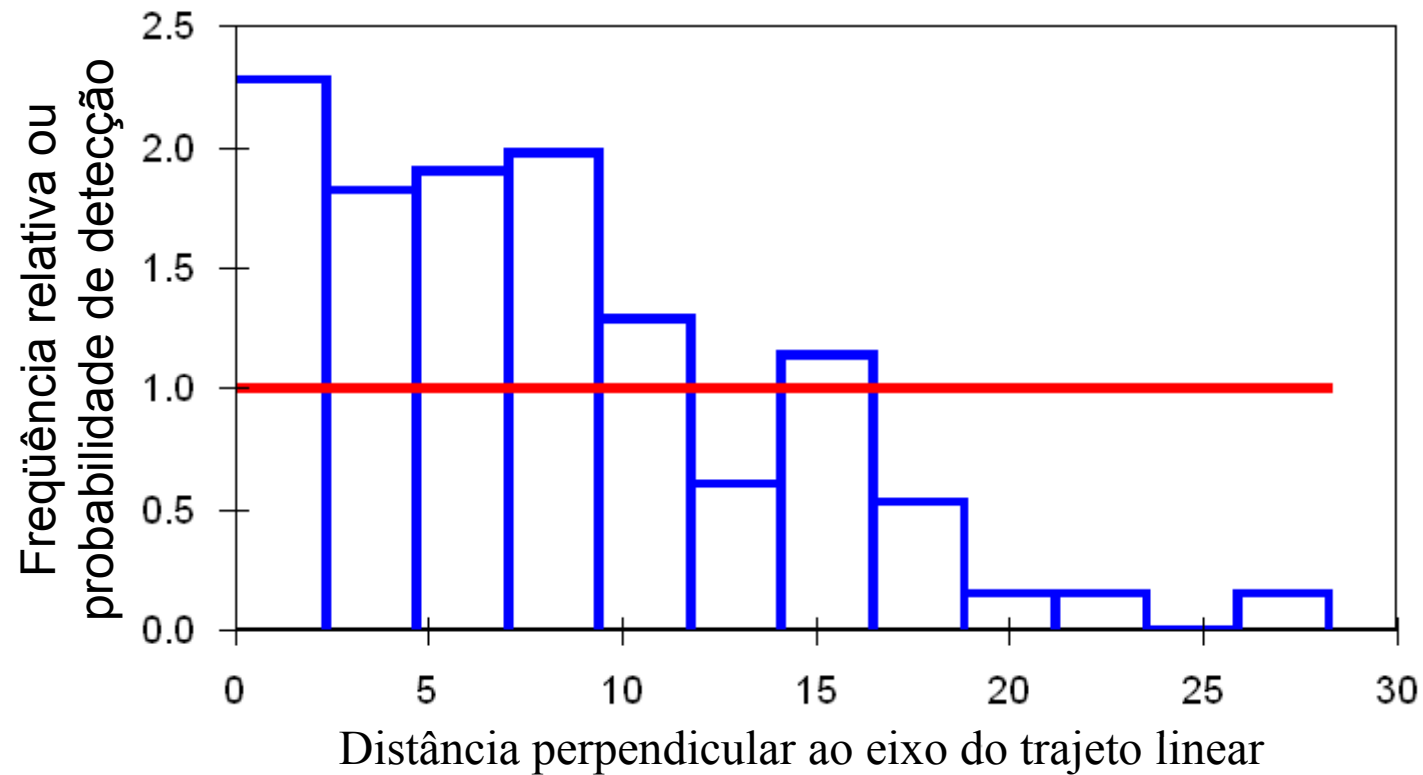
Exemplos de funções de detecção



Valores observados de um levantamento de distância

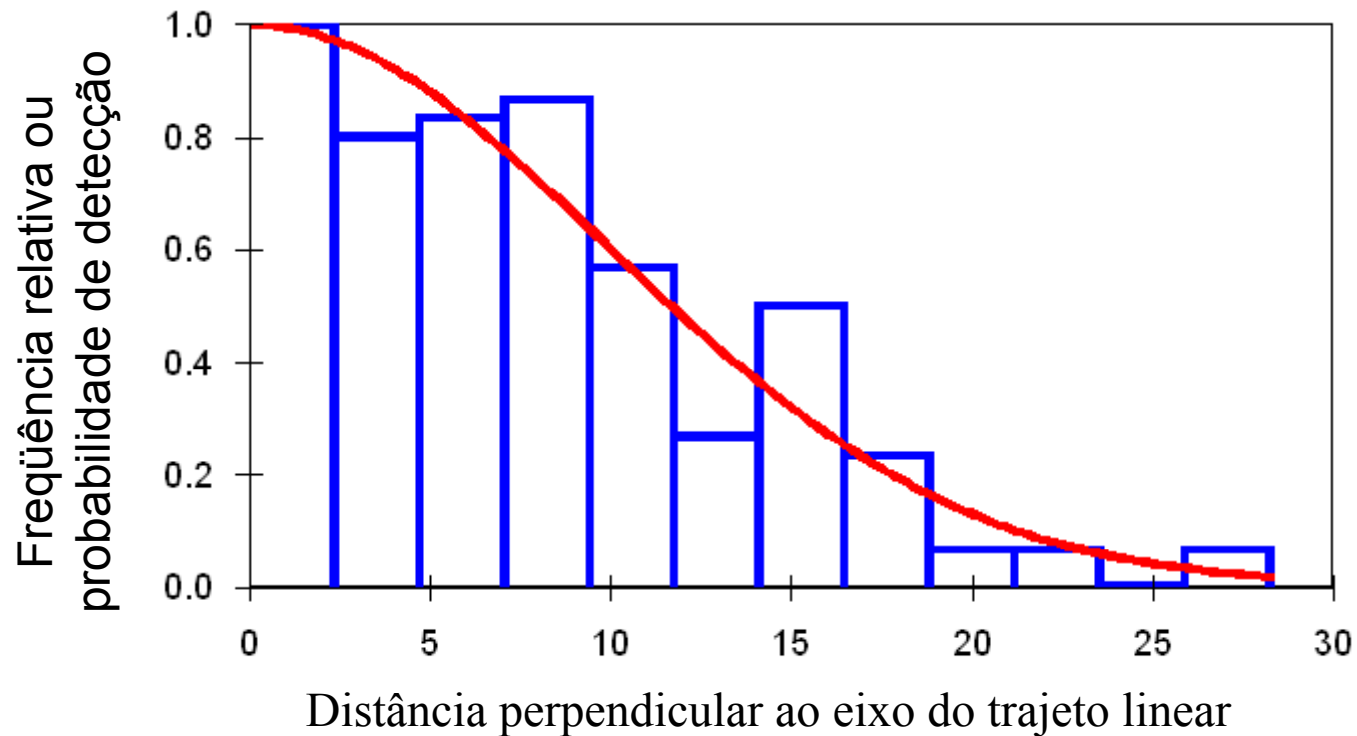


Ajuste de uma função uniforme



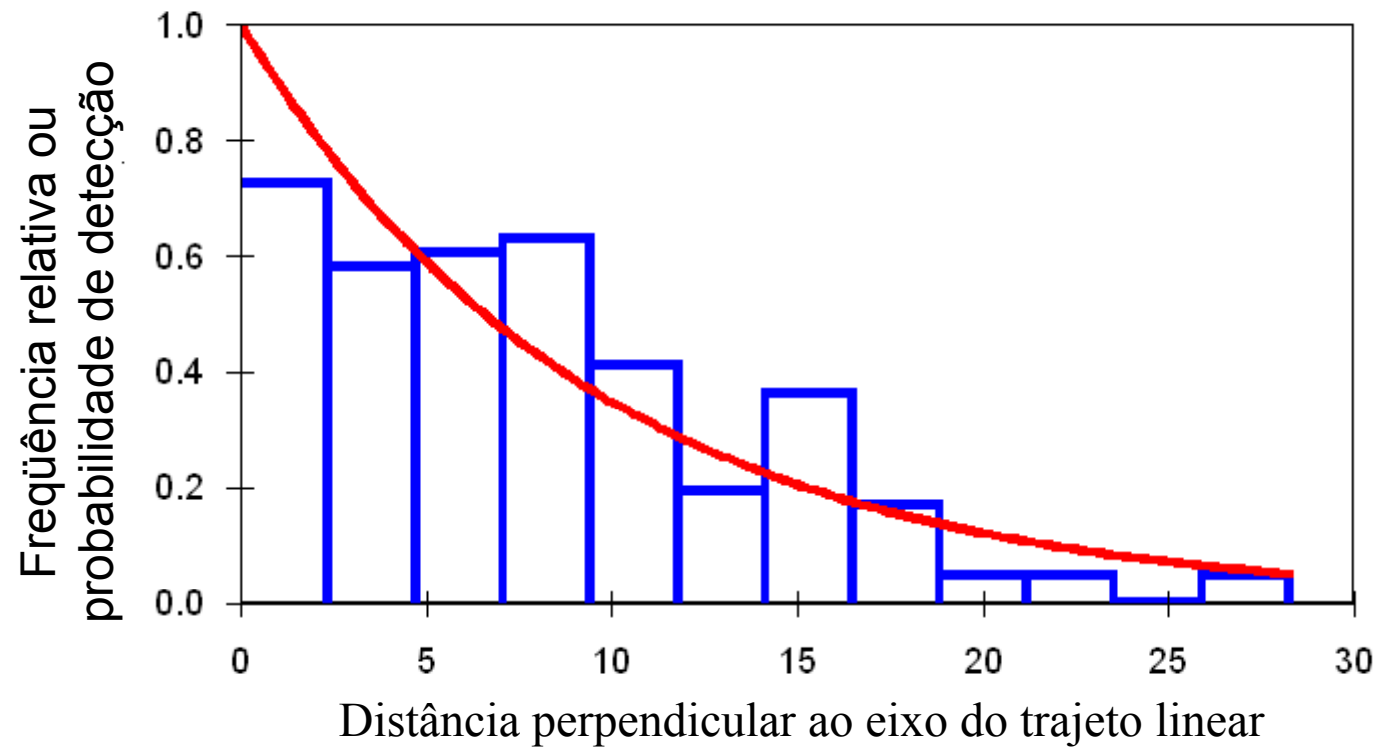
$$g(x) = 1/w$$

Ajuste de uma distribuição meio-normal



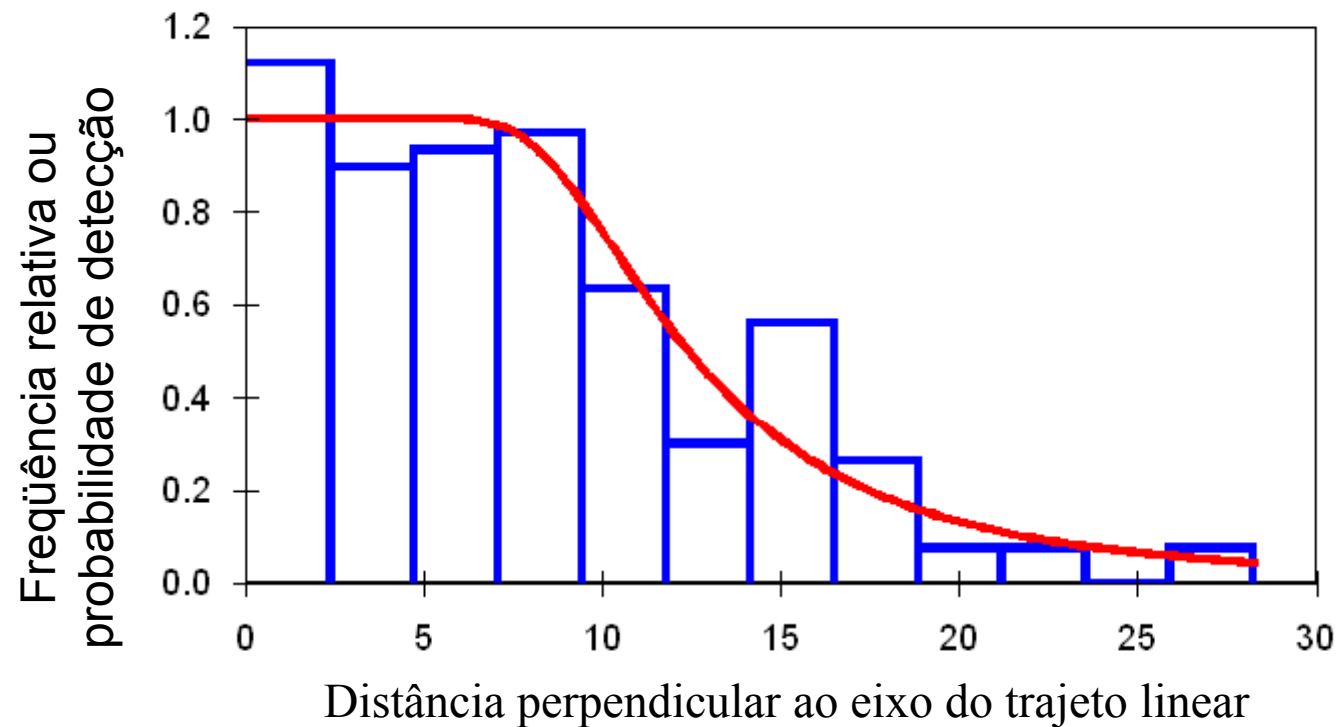
$$g(x) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

Função exponencial negativa



$$g(x) = e^{-\frac{x}{\lambda}}$$

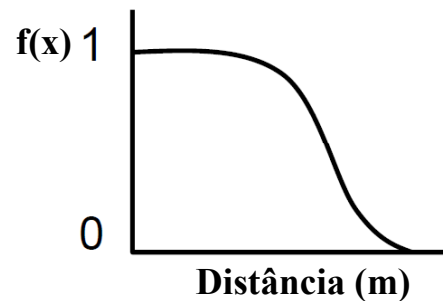
Função taxa de falha (hazard-rate)



$$g(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^{-b}}$$

Função de densidade probabilística - pdf

Distância (m)	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	Total
Número de animais detectados	35	25	20	15	10	5	110
Pr(detecção/distância) [g(x)]	1,0000	0,7143	0,5714	0,4286	0,2857	0,1429	3,1429
Função de densidade probabilística [f(x)]	0,3182	0,2273	0,1818	0,1364	0,0909	0,0454	1,0000



$$f(x) = \frac{g(x)}{\int_0^w g(x)dx}$$

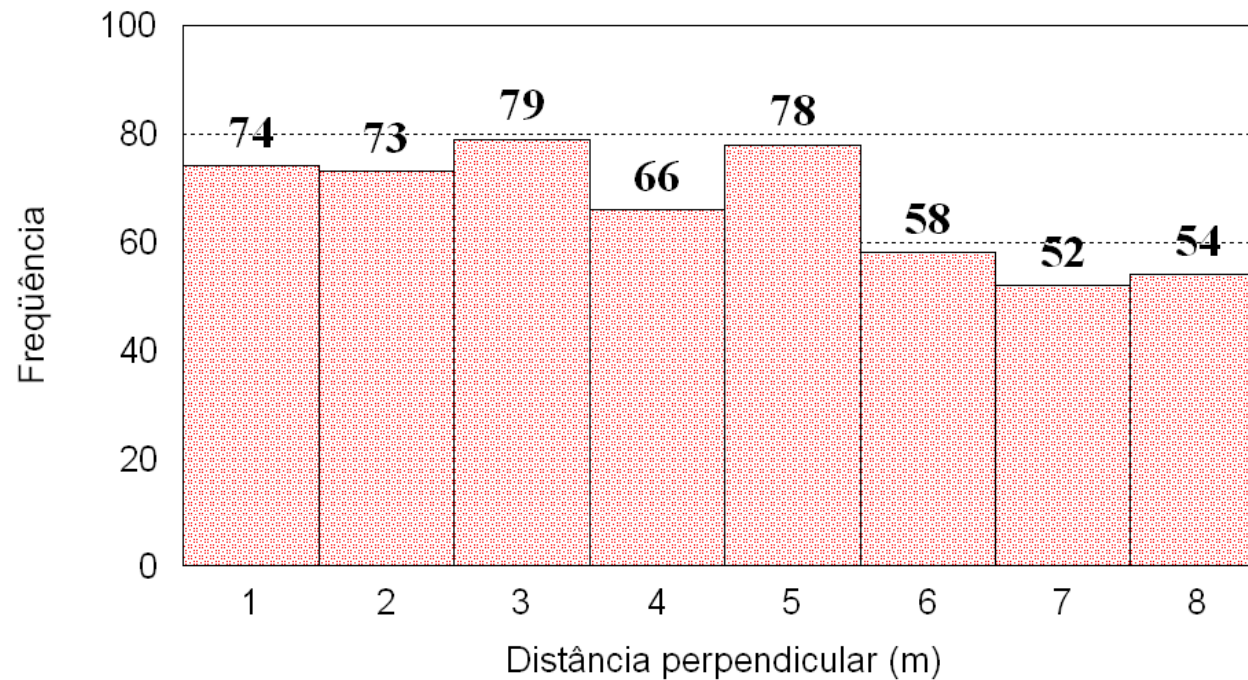


Exemplo de aplicação do método

- ▶ Anderson e Pospahala(1970) J.W.M. 34,141-146, apresentaram os resultados da análise de um levantamento através de amostragem de distância, de ninhos de patos, nos Estados Unidos.
- ▶ Foram percorridas 1600 milhas (1 milha=1,609 km) em uma trajetória de 8 pés (1 pé = 30,48 cm) de largura.
- ▶ Foram levantados 534 ninhos em 1967 e 1968.
- ▶ Os valores obtidos a cada pé foram: 74, 73, 79, 66, 78, 58, 52, 54.

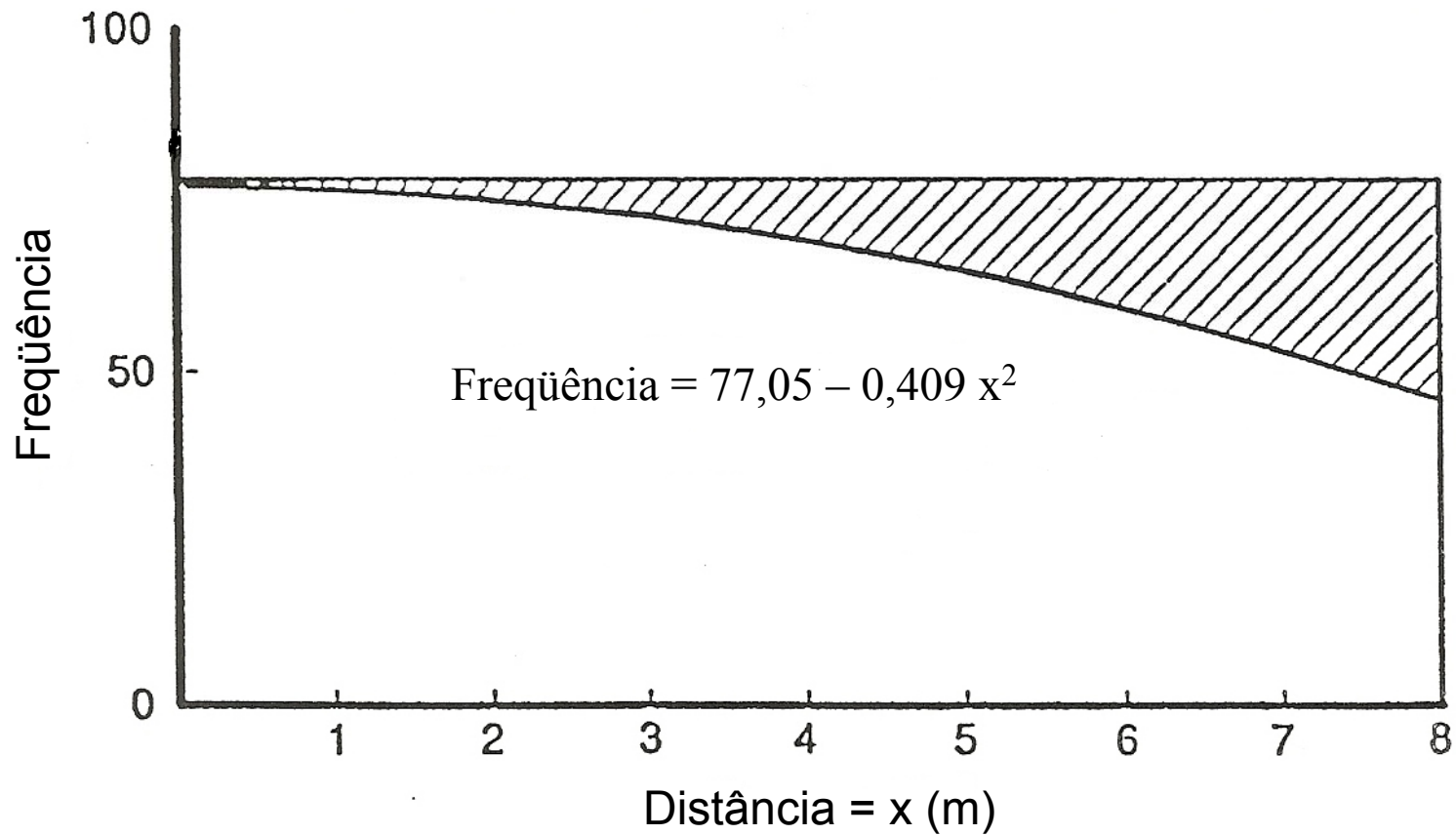


Dados obtidos no levantamento



Para fins de ilustração vamos considerar o comprimento da linha $L = 1600$ km e a distância perpendicular x em metros

Ajustamento de uma função de detecção



Como ajustaram a equação de detecção?

- ▶ Através da análise de regressão.
- ▶ Foram testados diferentes modelos matemáticos e selecionaram o que melhor se ajustou.
- ▶ Isto pode ser feito com o SAS usando o Proc Reg.

Dados usados

Distância (m)	Indivíduos
1	74
2	73
3	79
4	66
5	78
6	58
7	52
8	54



Programa SAS

```
OPTIONS PS=56 PAGENO=1 NODATE;  
DATA A;  
INPUT X CONT;  
X2=X*X;  
DATALINES;  
1 74  
2 73  
3 79  
4 66  
5 78  
6 58  
7 52  
8 54  
...  
ODS PDF FILE='.....\DISTANCIA.PDF';  
TITLE2'Análise de regressão dados levantamento ninhos de patos';  
TITLE4'*** Ajuste de uma função de detecção';  
PROC REG DATA=A;  
    MODEL CONT = X2;  
        RUN;  
ODS PDF CLOSE;
```



Resultado programa SAS

Análise de regressão dados levantamento ninhos de patos

***** Ajuste de uma função de detecção**

The REG Procedure

Model: MODEL1

Dependent Variable: CONT

Number of Observations Read	8
Number of Observations Used	8

Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	582.45490	582.45490	14.38	0.0091
Error	6	243.04510	40.50752		
Corrected Total	7	825.50000			

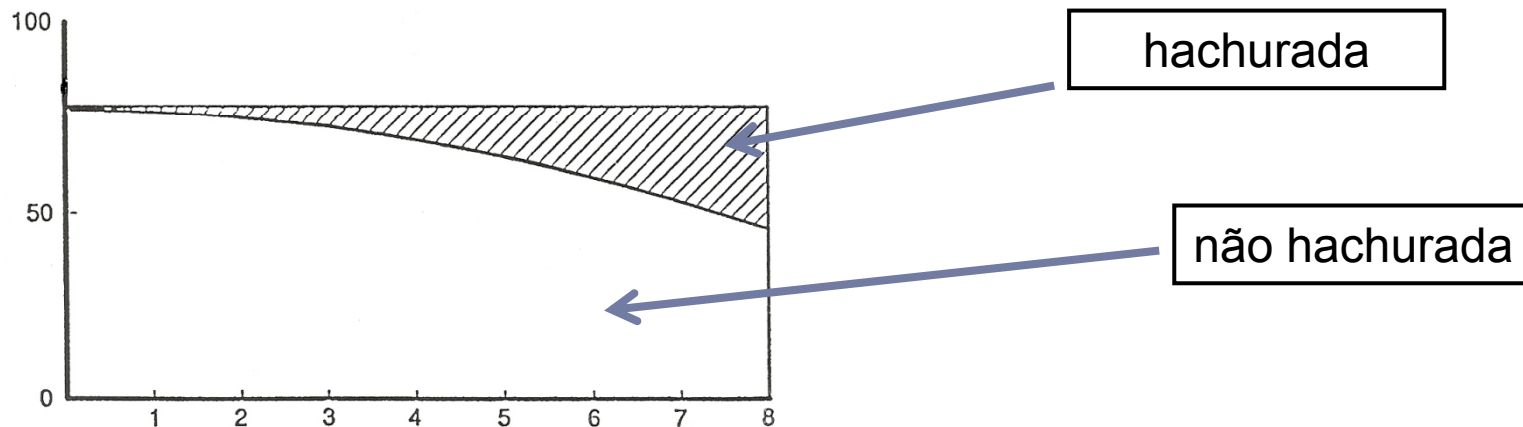
Root MSE	6.36455	R-Square	0.7056
Dependent Mean	66.75000	Adj R-Sq	0.6565
Coeff Var	9.53491		

Parameter Estimates					
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	77.05000	3.52726	21.84	<.0001
X2	1	-0.40392	0.10652	-3.79	0.0091

Modelo de detecção

- ▶ Portanto a função de detecção será:
- ▶ Freqüência = $77,05 - 0,40392 x^2$
- ▶ Com isso podemos calcular P_a

$$P_a = \frac{\text{área não hachurada}}{\text{área do retângulo}}$$



Como calcular P_a

- ▶ Calcular a frequência esperada quando $(x=0) = 77,05$
- ▶ Área do retângulo $= 77,05 \times 8 = 616,40$
- ▶ Calcular para cada distância, calcular a frequência esperada e somar $(76,641 + 75,414 + 73,369 + 70,506 + 66,825 + 62,326 + 57,009 + 50,874 = 532,964 = \text{área não hachurada})$
- ▶ Portanto $P_a = 532,964 / 616,40 = 0,865$



Estimativa da densidade populacional

- ▶ Para calcular a densidade do número de ninhos de patos por km² temos:

$$\hat{D} = \frac{n}{2 L w P_a} = \frac{534}{2 \cdot 1600 \cdot 0,008 \cdot 0,864} = 24,14 \text{ ninhos por km}^2$$



Exercício

- Fazer um programa SAS para calcular o número de codornas por km² com os seguintes dados:

Distância (m)	Indivíduos	Distância (m)	Indivíduos
0	36	4	21
1	31	5	19
2	28	6	18
3	29	7	15

Área percorrida = 800 km



Usando o modelo de detecção de Anderson e Pospahala:

```
OPTIONS PS=56 PAGENO=1 NODATE;  
DATA A;  
INPUT X CONT;  
X2=X*X;  
DATALINES;  
0 36  
1 31  
2 28  
3 29  
4 21  
5 19  
6 18  
7 15  
;;;  
ODS PDF FILE='.....\DISTANCIA.PDF';  
TITLE2'Análise de regressão dados levantamento de codornas';  
TITLE4'*** Ajuste de uma função de detecção';  
PROC REG DATA=A;  
    MODEL CONT = X2;  
        RUN;  
ODS PDF CLOSE;
```



Resultado

The SAS System

Análise de regressão dados levantamento de codornas

***** Ajuste de uma função de detecção *****

Number of Observations Read	8
Number of Observations Used	8

Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	324.19149	324.19149	33.72	0.0011
Error	6	57.68351	9.61392		
Corrected Total	7	381.87500			

Root MSE	3.10063	R-Square	0.8489
Dependent Mean	24.62500	Adj R-Sq	0.8238
Coeff Var	12.59140		

Parameter Estimates					
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	31.30346	1.58884	19.70	<.0001
X2	1	-0.38163	0.06572	-5.81	0.0011

Programa SAS (Parte I)

```
OPTIONS PS=56 PAGENO=1 NODATE;  
DATA B;  
INPUT X CONT;  
DETECT=31.30346 - 0.38163 * (X*X);  
AREA=31.30346*7;  
W=7/1000;  
L=800; * EM KM;  
DATALINES;  
0 36  
1 31  
2 28  
3 29  
4 21  
5 19  
6 18  
7 15  
...  
;;;
```



Programa SAS (Parte II)

```
ODS PDF FILE='.....\DISTANCIA3.PDF';
TITLE2'Cálculo da densidade populacional - CODORNAS ';
TITLE4'*** Método de amostragem de distâncias ***';
PROC SORT DATA=B;
    BY AREA W L;
PROC MEANS DATA=B NOPRINT;
    BY AREA W L;
VAR CONT DETECT;
OUTPUT OUT=C SUM= N DETECT;
DATA D;
    SET C;
PA=DETECT/AREA;
DENSID=N/(2*L*W*PA);
```



Programa SAS (Final)

```
PROC PRINT DATA=D NOOBS LABEL SPLIT='*';  
  VAR N L W PA DENSID;  
  LABEL N ='Número*de*animais*observados'  
        L ='Comprimento*do*trajeto*(km)'  
        W ='Largura*do*trajeto*(km)'  
        PA='Probabilidade*de*detecção'  
        DENSID='Densidade*de*animais*(por km2)';  
  FORMAT DENSID COMMAX8.2 PA W COMMAX8.4;  
  RUN;  
  ODS PDF CLOSE;
```



Resultado

The SAS System
Cálculo da densidade populacional - CODORNAS

**** Método de amostragem de distâncias ****

Número de animais observados	Comprimento do trajeto (km)	Largura do trajeto (km)	Probabilidade de detecção	Densidade de animais (por km2)
197	800	0,0070	0,8990	19,56



Bibliografia

- ▶ **Anderson, D. R., J. L. Laake, B. R. Crain, and K. P. Burnham.** 1979. Guidelines for line transect sampling of biological populations. *J. Wildl. Manage.* 43:70-78.
- ▶ **Anderson, D. R. and R. S. Pospahala.** 1970. Correction of bias in belt transect studies of immotile objects. *J. Wildl. Manage.* 34: 141–146.
- ▶ **Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., and Laake, J. L.** 1993. Distance sampling: estimating abundance of biological populations. Chapman and Hall, Londres.
http://warnercnr.colostate.edu/class_info/fw663/
- ▶ **Burnham, K. P., D. R. Anderson, and J. L. Laake.** 1980. Estimation of density from line transect sampling of biological populations. *Wildl. Monogr.* 72:1-202.
- ▶ **Eberhardt, L. L.** 1978. Transect methods for population studies. *J. Wildl. Manage.* 32:1-31.
- ▶ **Gates, C. E.** 1979. Line transects and related issues. Pages 71-154 in R. M. Cormack, G. P. Patil, and D. S. Robinson, eds. *Sampling biological populations*. Internatl. Co-op. Publ. House, Fairland, Md.



**Obrigado pela atenção
e Boa Sorte**

