



Homeworks 3 e 4 referentes às aulas do Capítulos II e III de
“Técnicas de Radar – UFSM00271 – 2026_I”, aulas disponibilizadas em
<http://www.fccdecastro.com.br/download.html>

Centro de Tecnologia – Departamento de Eletrônica e Computação UFSM00271 – TÉCNICAS DE RADAR

Prof. Fernando DeCastro

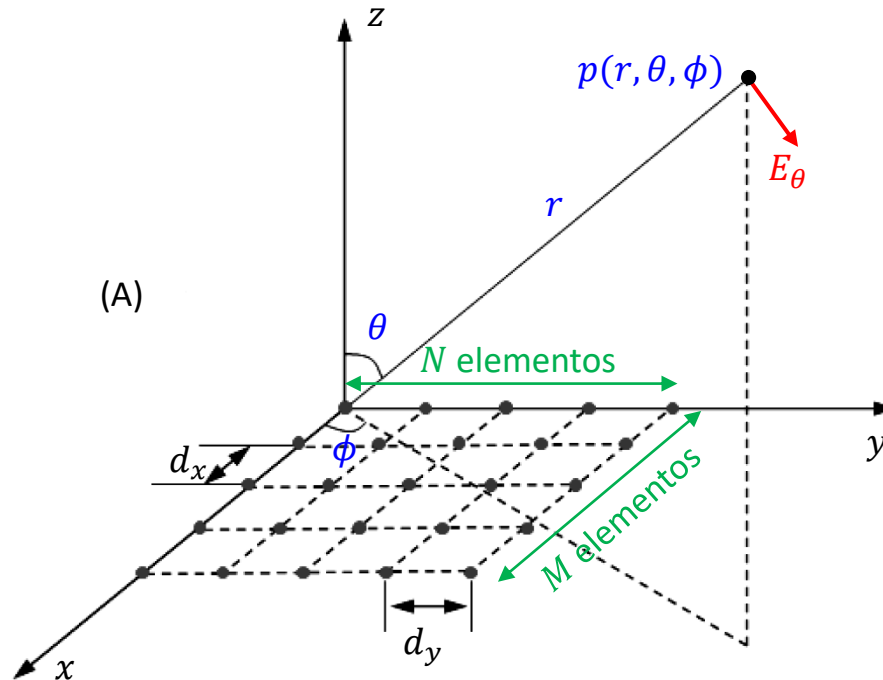
A solução deste
homework deve ser
enviada por e-mail
em 23/06.



Homework 3

Um radar opera em $f = 10$ [GHz] e utiliza como antena um *phased array* planar uniforme, conforme mostrado em (A) abaixo. Os elementos do *array* podem ser aproximados por antenas isotrópicas todos eles excitados por correntes de igual magnitude e fase. O número de elementos do *array* ao longo das direções x e y é respectivamente $M = 9$ e $N = 5$ e a distância entre os elementos é respectivamente $d_x = \lambda/4$ e $d_y = \lambda/2$, onde $\lambda = c/f$ [m] é o comprimento de onda na frequência f [Hz] de operação do radar, com $c = 2.9979246 \times 10^8$ [m/s] sendo a velocidade de propagação da onda EM no espaço livre. O controlador do *phased array* recebe do *beamformer* o comando para posicionar o lobo principal (*boresight*) do diagrama de radiação em $\theta_0 = 45^\circ$ e $\phi_0 = 70^\circ$.

Pede-se: Determine a matriz $\angle \mathbf{i}_{n,m}^{(y,x)}$ em $[\circ]$, sendo $n = 1,2 \dots N$ e $m = 1,2 \dots M$, matriz que define a fase \angle necessária para cada um dos fasores de corrente respectivos aos $N \times M$ elementos do *array* para efeito de o lobo principal do diagrama de radiação do *array* se posicionar nos ângulos θ_0 e ϕ_0 .



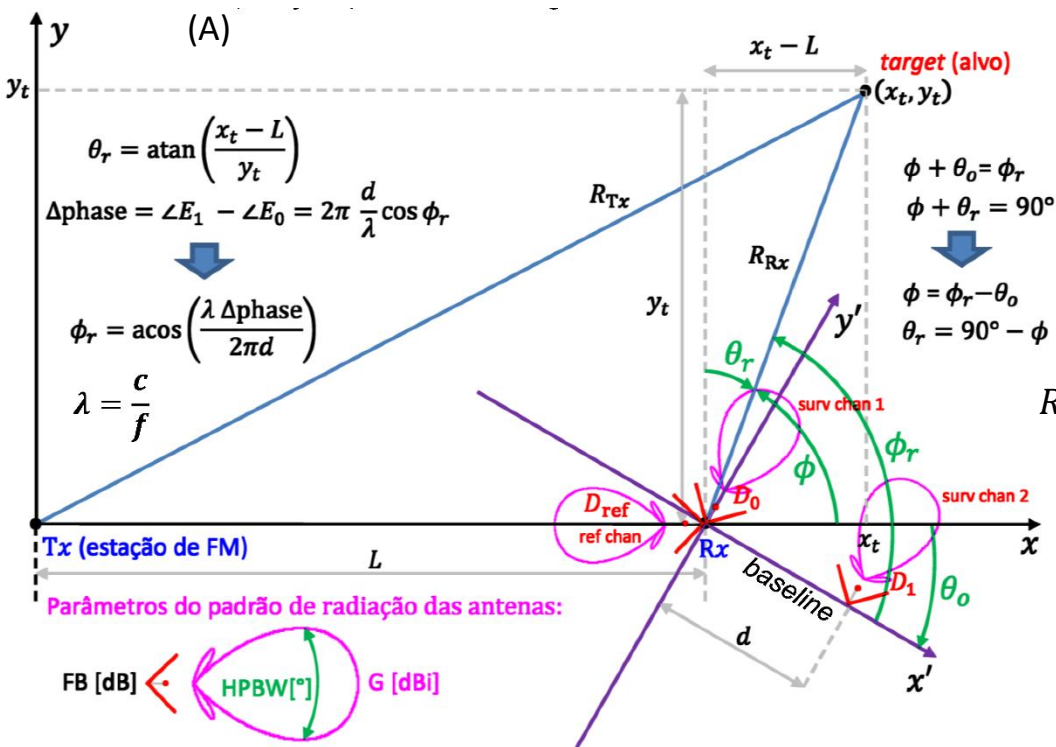
Homework 4

A figura (A) abaixo mostra a localização e o posicionamento geométrico das antenas de um radar PBR (*passive bistatic radar*) para efeito de determinação da distância R_{RX} e do ângulo de azimute ϕ_r que definem as coordenadas polares (R_{RX}, ϕ_r) do alvo (*target*) no sistema de eixos cartesianos $x'y'z'$.

R_{RX} é obtido a partir do *range* bistático diferencial dado por $range = R_{TX} + R_{RX} - L$ conforme equação (1) abaixo, sendo *range* determinado pelo algoritmo CFAR no processamento em banda-base do radar PBR efetuado em um PC, conforme mostram os diagramas de blocos nos slides 4 e 5 a seguir.

ϕ_r é determinado por interferometria a partir do ângulo Δ_{phase} entre as ondas EM que incidem nas antenas D_0 e D_1 .

L é a distância entre a antena da estação de FM cujo sinal ilumina o alvo e o centro de fase do *array* formado pelas antenas dos *surveillance channels* 1 e 2 (antenas D_0 e D_1 na figura (A) abaixo). D_{ref} é a antena que capta o sinal da estação de FM e que é usado como sinal de referência para determinação das funções de ambiguidade $\Psi_1(range, v)$ e $\Psi_2(range, v)$ respectivas aos *surveillance channels* 1 e 2.

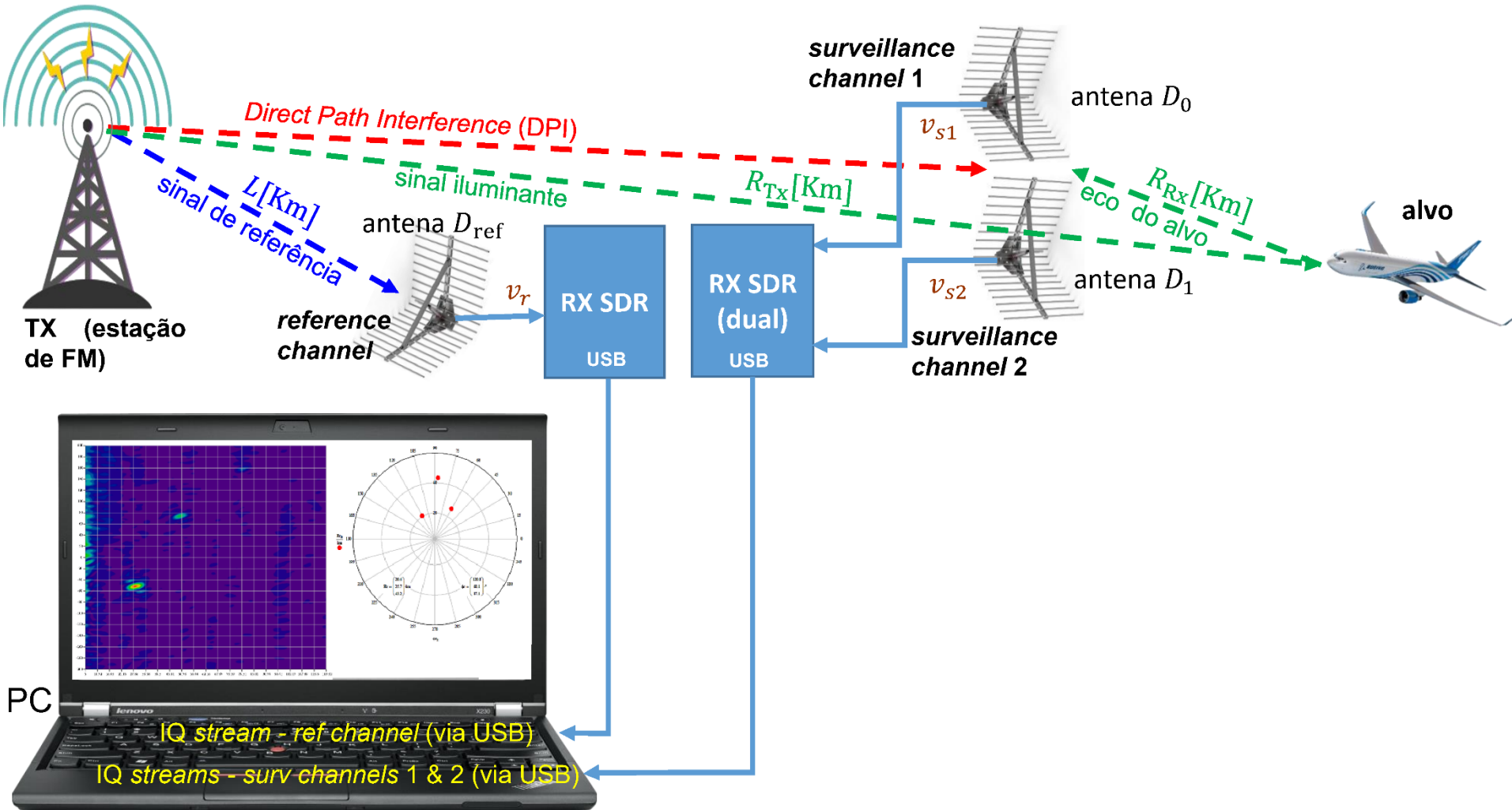


A relação sinal-ruído nos *surveillance channels* 1 e 2 é $SNR = 35$ [dB].

$$R_{RX} = \frac{(range + L)^2 - L^2}{2(range + L + L \sin(90^\circ - (\phi_r - \theta_0)))} \quad (1)$$

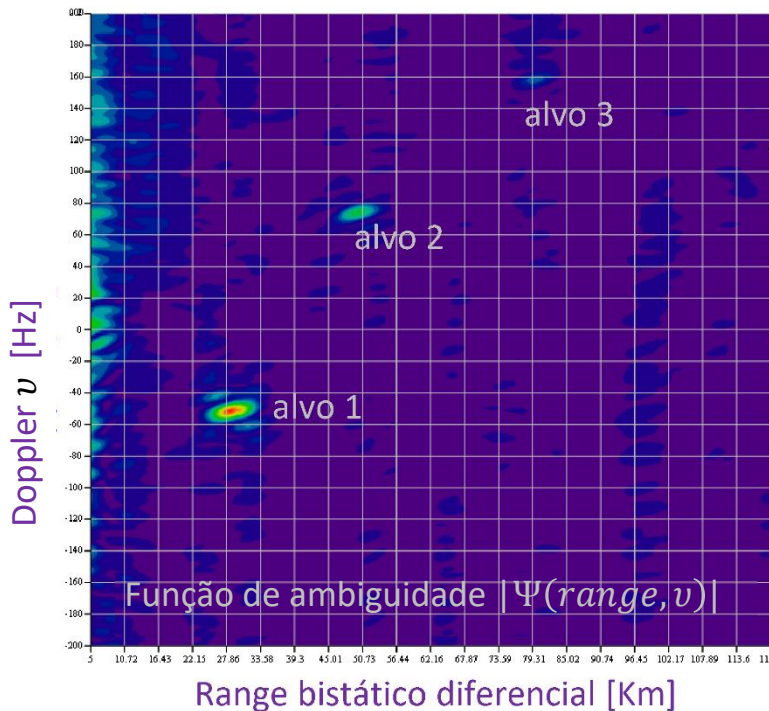
Diagrama de blocos do *Passive Bistatic Radar (PBR)*

Homework 4



Homework 4

Processamento em banda-base efetuado no PC



Supressão do *Direct Path Interference* (DPI)

RX SDR

reference channel

v_r

USB

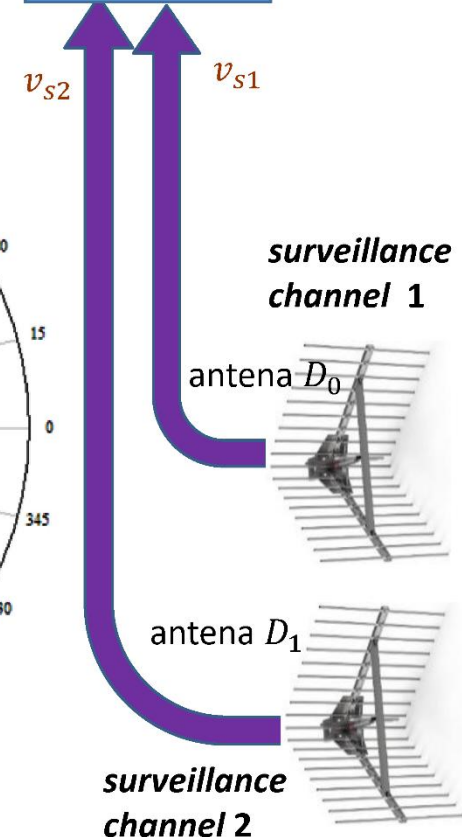
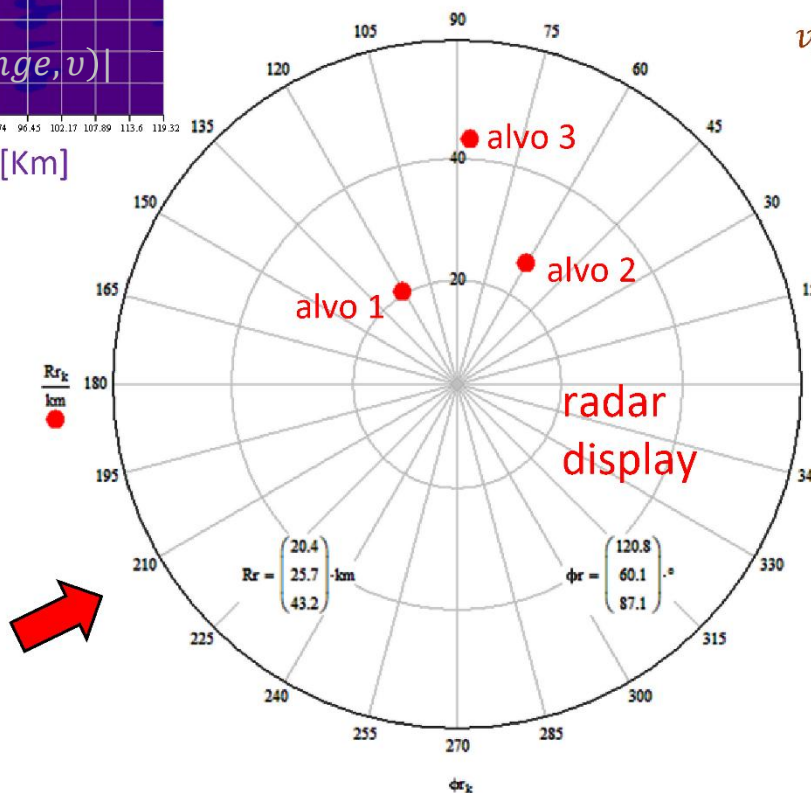
RX SDR (dual)

USB

Constant False Alarm Rate (CFAR)

Supressão dos *multiple hits*

Localização dos alvos (*range*, *azimute*)



Homework 4

A frequência e a potência ERP do sinal transmitido pelo TX da estação de FM são $f = 106.2$ [MHz] e $P_{tx} = 100$ [Kw]. A distância entre o local da antena do TX da estação de FM e o local das antenas D_0 , D_1 e D_{ref} do radar PBR é $L = 20$ [Km]. A onda EM do sinal de referência da estação de FM que incide na antena D_{ref} gera um *stream* de $N = 65536$ símbolos IQ na saída USB do RX SDR. De mesma forma, as ondas EM do sinal do eco dos alvos e que incidem nas antenas D_0 e D_1 geram respectivamente *streams* de $N = 65536$ símbolos IQ nas saídas USB do RX SDR(dual).

Conforme descrito em <https://www.fccdecastro.com.br/pdf/FMDSP.pdf> e codificado na forma de pseudo-código MathCad em <https://www.fccdecastro.com.br/ZIP/FMBasebandIQStreamGenerator.zip>, o sinal de áudio $Msg(t)$ transmitido pela estação de FM é aproximado por uma sequência discreta $Msg[n]$ de $N = 65636$ amostras de *pink noise*, de amplitude máxima $V_m = 10$ [volt]. A constante de desvio de frequência do TX é $Df = 3840\pi$ [rad/(volt*s)]. O modulador do TX de FM integra no tempo o sinal $Msg(t)$ e multiplica por Df , resultando no sinal $P(t)$. A seguir, o TX efetua a contenção espectral de $P(t)$ limitando a largura de seu espectro através de um filtro passa baixa, e utiliza este $P(t)$ filtrado para variar a fase de um sinal senoidal de frequência f , resultando em um sinal transmitido pelo TX da estação de FM com banda $BW = 200$ [KHz]. O desvio máximo da frequência da portadora f do TX é $\Delta f_{max} = 75$ [KHz].

Os 3 RXs SDR deste radar PBR digitalizam o sinal recebido da estação de FM a uma taxa de amostragem $SymbolRate = 250$ [KHz] resultando na porta USB de cada respectivo RX SDR uma sequência de N símbolos $x[n] = I[n] + jQ[n]$ em banda-base, sendo $A_c/2 = 3$ [volt] a amplitude máxima das amostras em cada uma das sequências $I[n]$ e $Q[n]$, onde $n = 0, 1 \dots N - 1$.

Homework 4

As antenas D_0 , D_1 e D_{ref} operam na frequência f do TX de FM, apresentando ganho $G_{rx} = 11$ [dBi], impedância $R_r = 50$ [Ω] e relação frente-costas $FB = 32$ [dB]. A distância entre os centros de fase das antenas D_0 e D_1 respectivas aos *surveillance channels* 1 e 2 é $d = 0.5\lambda$. O ângulo de rotação no plano xy entre os sistema cartesianos xyz e $x'y'z'$ é $\theta_o = 60^\circ$ (θ_o é o ângulo de rotação no plano xy que controla o azimute da *baseline* de tamanho d do *array* formado pelas antenas D_0 e D_1).

Quatro alvos são iluminados pela onda EM irradiada pela antena da estação de FM, conforme especificado na tabela abaixo. Os alvos estão em movimento e a tabela indica suas respectivas velocidades radiais em relação à localização geográfica onde situam-se antenas D_0 , D_1 e D_{ref} , que são consideradas serem co-localizadas. Uma velocidade radial negativa indica um alvo se afastando das antenas D_0 , D_1 e D_{ref} e uma velocidade radial positiva indica um alvo se aproximando das antenas.

	Range bistático absoluto [Km]	Azimute ϕ do alvo [$^\circ$]	RCS [m ²]	Velocidade radial [Km/h]
Alvo 1:	45	75	85	-250
Alvo 2:	55	25	70	410
Alvo 3:	75	40	100	870
Alvo 4:	90	10	90	-705

Os dois filtros GAL (*Gradient Adaptive Lattice*) para minimização do DPI (*Direct Path Interference*) operam sob os seguintes parâmetros:

Ordem do filtro GAL: $M = 10$.

Constante do *single pole averaging filter* (que opera sobre os erros de predição quadráticos): $\beta = 0.95$.

Passo de adaptação dos coeficientes de reflexão do *lattice*: $\mu_{\text{GAL}} = 0.0004$.

Passo do adaptação do algoritmo NMLS que segue o *lattice* do GAL: $\mu_{\text{NLMS}} = 0.003$.

$\delta = 20$ e $\alpha = 1.0$

Homework 4

O procedimento que implementa a função de ambiguidade $\Psi(\text{range}, \text{Doppler}F)$ opera sob os seguintes parâmetros:

Frequência mínima do desvio Doppler dos alvos: $\text{MinDoppler}F = -200$ [Hz].

Frequência máxima do desvio Doppler dos alvos: $\text{MaxDoppler}F = 200$ [Hz].

Número de frequências Doppler no domínio $\text{Doppler}F$ da função Ψ : $\text{NumDoppler}F = 200$

Range mínimo dos alvos: $\text{MinRange} = 0$ [Km].

Range máximo dos alvos: $\text{MaxRange} = 100$ [Km].

Número de pontos de range no domínio range da função Ψ : $\text{NumRangePoints} = 200$

O algoritmo *Constant False Alarm Rate* (CFAR), especificamente o CFAR-CA-2D (CFAR *Cell Averaging* em duas dimensões), adota uma janela retangular de tamanho $\text{WindowSize} = 23$ e $\text{Threshold} = 4.0$.

Pede-se:

- (a) Plote o gráfico do módulo da função de ambiguidade $\Psi(\text{range}, \text{Doppler}F)$ para este radar PBR que opera sob os parâmetros acima referidos. Através da inspeção visual do gráfico obtido, estime aproximadamente a resolução de range em [Km] resultante para este radar PBR.
- (b) Plote o *display (scope)* deste radar PBR, mostrando os *blips* dos alvos e o valor numérico de suas respectivas coordenadas polares (R_{RX}, ϕ_r) . Compare o quanto as coordenadas (R_{RX}, ϕ_r) detectadas para os alvos se aproximam das coordenadas (R_{RX}, ϕ_r) originais implicitamente especificadas na tabela do slide 7.
- (c) Desative os 2 filtros GAL e refaça os itens (a) e (b). Analise comparativamente os resultados obtidos em (c) em relação aos resultados obtidos em (a) e (b).