



Homework 34 referente às aulas do Capítulo III de “Técnicas de Radar – ELC1149”, aulas disponibilizadas em <http://www.fccdecastro.com.br/download.html>.

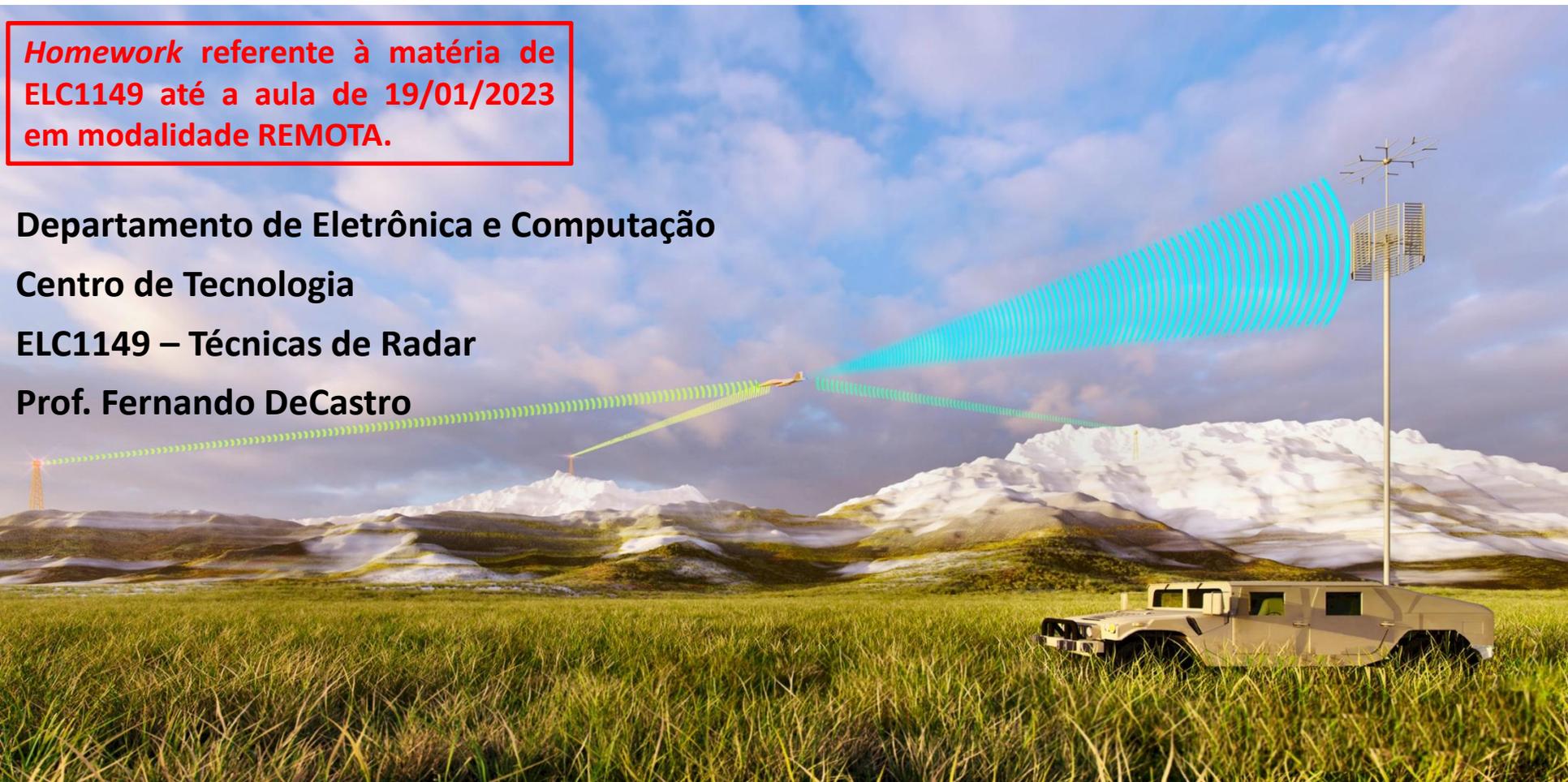
Homework referente à matéria de ELC1149 até a aula de 19/01/2023 em modalidade REMOTA.

Departamento de Eletrônica e Computação

Centro de Tecnologia

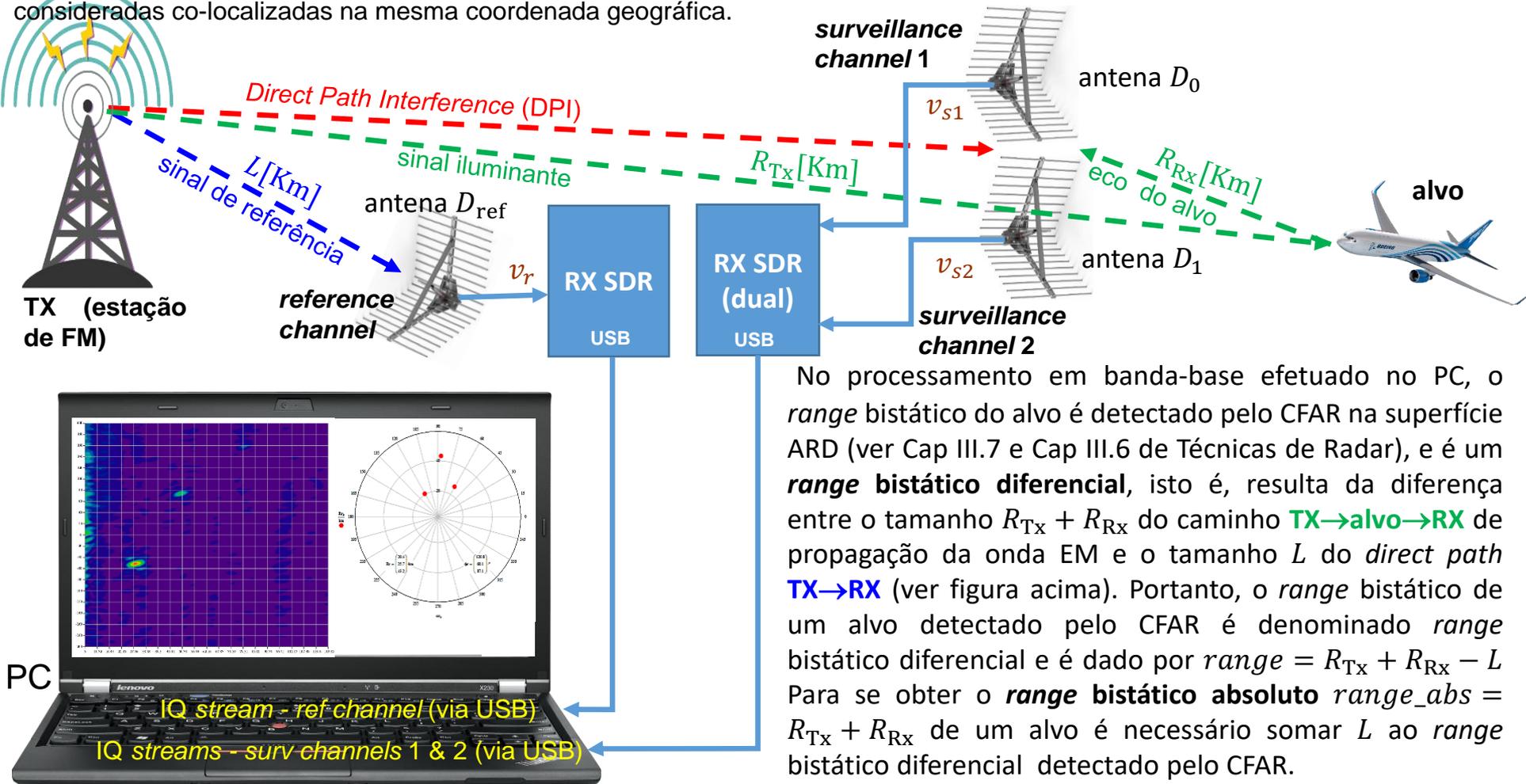
ELC1149 – Técnicas de Radar

Prof. Fernando DeCastro



Homework 34

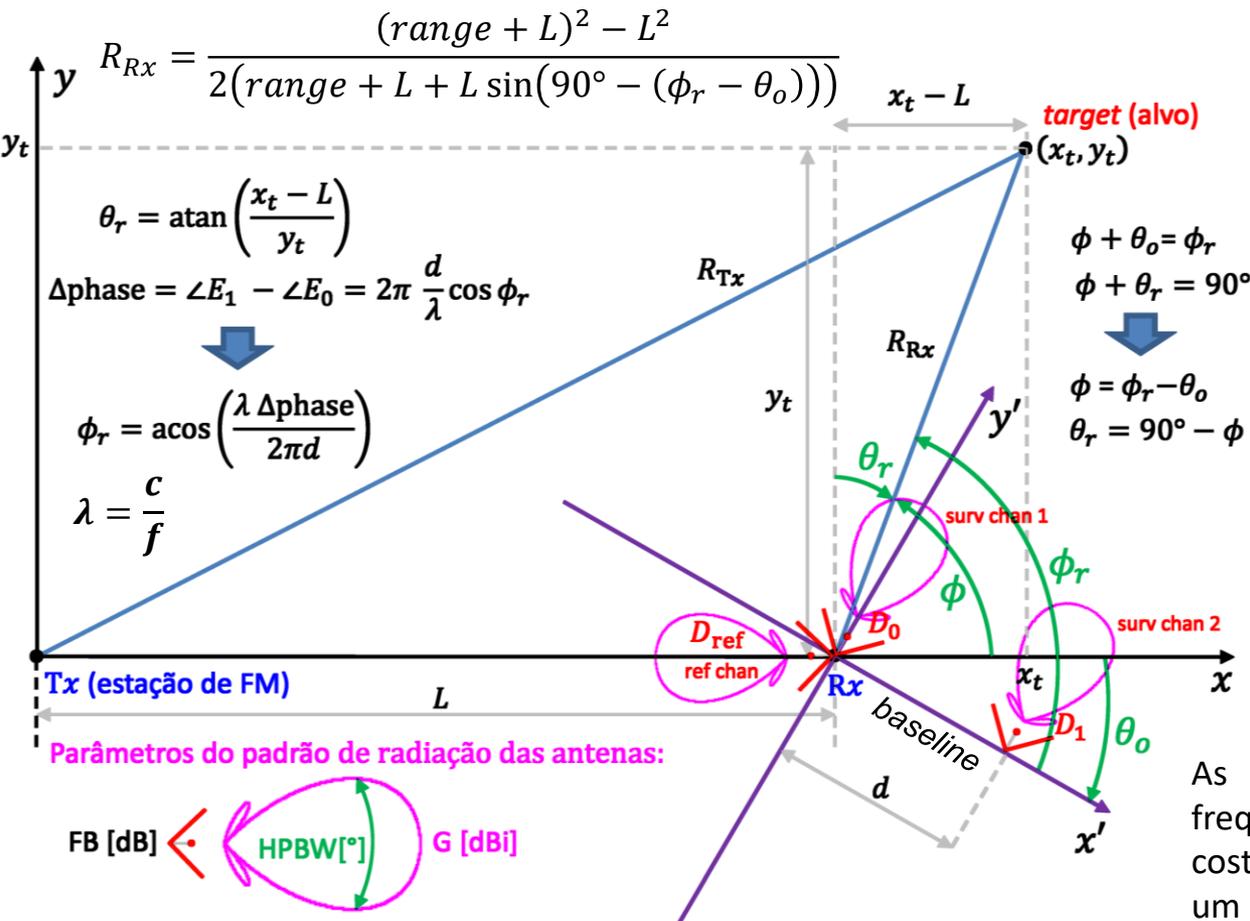
Conforme já descrito no enunciado do Homework 33 (ver http://www.fccdecastro.com.br/HW/TR_2022-2_HW33.pdf), a figura abaixo mostra o diagrama simplificado de um PBR (*passive bistatic radar*) com dois canais de vigilância (*surveillance channels*) e um canal de referência (*reference channel*), com capacidade para determinar conjuntamente o *range* e o ângulo de azimute ϕ_r do alvo. O sinal iluminante que ilumina o alvo é proveniente do TX de uma estação comercial de FM operando na frequência f na faixa de 88-108 [MHz]. O sinal de referência proveniente da estação de FM é recebido pela antena D_{ref} do *reference channel*. O sinal de eco proveniente do alvo é recebido pelo array de duas antenas D_0 e D_1 respectivas aos *surveillance channels* 1 e 2. A antena D_{ref} está localizada próxima ao array dos *surveillance channels* 1 e 2, de modo que as antenas D_0 , D_1 e D_{ref} podem ser consideradas co-localizadas na mesma coordenada geográfica.



No processamento em banda-base efetuado no PC, o *range* bistático do alvo é detectado pelo CFAR na superfície ARD (ver Cap III.7 e Cap III.6 de Técnicas de Radar), e é um **range bistático diferencial**, isto é, resulta da diferença entre o tamanho $R_{Tx} + R_{Rx}$ do caminho **TX→alvo→RX** de propagação da onda EM e o tamanho L do *direct path* **TX→RX** (ver figura acima). Portanto, o *range* bistático de um alvo detectado pelo CFAR é denominado *range* bistático diferencial e é dado por $range = R_{Tx} + R_{Rx} - L$. Para se obter o **range bistático absoluto** $range_{abs} = R_{Tx} + R_{Rx}$ de um alvo é necessário somar L ao *range* bistático diferencial detectado pelo CFAR.

Homework 34

Conforme descrito no Cap III.9 de Técnicas de Radar, a figura abaixo mostra a geometria e a equação para a determinação da distância R_{Rx} do alvo a partir do *range* bistático diferencial definido por $range = R_{Tx} + R_{Rx} - L$, sendo o valor de *range* determinado pelo algoritmo CFAR no processamento em banda-base efetuado no PC. Na figura e na equação que define R_{Rx} abaixo, L é a distância entre a antena da estação de FM e o centro de fase do *array* formado pelas antenas dos *surveillance channels* 1 e 2 (antenas D_0 e D_1 na figura abaixo). O ângulo ϕ_r de azimuth do alvo é também determinado no processamento efetuado no PC, que determina ϕ_r por interferometria a partir do ângulo elétrico de diferença de fase Δ_{phase} entre os dois *streams* de símbolos IQ que resultam respectivamente dos sinais captados pelas antenas D_0 e D_1 , conforme descrito no Cap III.8 de Técnicas de Radar. ϕ é o ângulo de azimuth do alvo referido ao sistema cartesiano xyz .



O ângulo θ_o é o ângulo de rotação no plano xy que controla o azimuth da *baseline* de tamanho d do *array* formado pelas antenas D_0 e D_1 .

Para efeito de minimizar o DPI, deve-se adotar um valor para θ_o de modo que, idealmente, os alvos estejam angularmente posicionados o mais próximo do *boresight* das antenas D_0 e D_1 , enquanto que o TX de FM deve estar angularmente posicionado o mais próximo do azimuth antipodal (= azimuth girado de 180°) ao *boresight* das antenas D_0 e D_1 . Esta situação de posicionamento ideal é a mostrada na figura do slide 2.

As antenas D_0 , D_1 e D_{ref} operam na frequência f , apresentam uma relação frente-costa FB[dB], um ganho G[dBi] no *boresight* e um ângulo de meia-potência HPBW[°].

Homework 34

Conforme descrito no Cap III.10 de Técnicas de Radar , para efeito de simular o desempenho de um radar PBR em seu cenário operacional, é necessário previamente identificar para cada alvo:

- A magnitude do eco do alvo em [dB] em relação à magnitude do sinal de referência recebido através do *direct path*.
- A diferença de fase Δ_{phase} [°] entre as ondas EM do eco que incidem respectivamente nas antenas D_0 e D_1 dos *surveillance channels* 1 e 2.
- O atraso no tempo (*delay*) [μs] da onda EM do eco do alvo em relação à onda EM do sinal de referência recebido através do *direct path*.

Estas informações são reunidas em uma matriz de dados denominada **delay profile**, conforme descrito no Cap III.10. A amplitude, fase e *delay* da onda EM do sinal de referência e das ondas EMs dos ecos de alvos que se propagam nos *surveillance channels* 1 e 2 são descritos pelos respectivos *delay profiles* 1 e 2.

Seja então um radar PBR conforme discutido nos slides anteriores, operando na faixa de 88-108 MHz, em que o sinal que ilumina os alvos detectados pelo radar é a onda EM irradiada pelo TX de uma estação comercial de FM. A frequência e a potência ERP do TX de FM são $f = 105.1$ [MHz] e $P_{tx} = 100$ [Kw] . A distância entre TX e RX é $L = 25$ [Km].

As antenas D_0 , D_1 e D_{ref} operam na frequência f do TX de FM, apresentando ganho $G_{rx} = 12$ [dBi], impedância $R_r = 50$ [Ω] e FB = 35 [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 $\theta_o = 30^\circ$ (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).

Três alvos são iluminados pela onda EM irradiada pela antena da estação de FM, conforme especificado na tabela abaixo:

	Range bistático absoluto [Km]	Azimute ϕ do alvo [°]	RCS [m ²]
Alvo 1:	40	95	80
Alvo 2:	60	35	80
Alvo 3:	80	60	100

Homework 34

Pede-se:

(a) Determine os *delay profiles* 1 e 2 para os ecos respectivos ao Alvo 1, Alvo 2 e Alvo 3 em relação ao sinal de referência. Cada *delay profile* deve informar (I) as magnitudes dos ecos dos 3 alvos em [dB] em relação à magnitude de 0 [dB] do sinal de referência recebido através do *direct path*, (II) as diferenças de fase Δ_{phase} [°] entre as ondas EM dos ecos dos 3 alvos que incidem nas antenas D_0 e D_1 do *array*, e (III) os atrasos no tempo (*delay*) [μs] das ondas EM dos ecos dos 3 alvos em relação à onda EM do sinal de referência recebido através do *direct path* (ver, por exemplo, os *delay profiles* 1 e 2 especificados para os 3 ecos respectivos aos 3 alvos do exemplo no slide 63 de http://www.fccdecastro.com.br/pdf/TR_CapIII.pdf). **Dica:** A determinação da magnitude, Δ_{phase} e *delay* para o eco respectivo ao Alvo 1 e os *delay profiles* 1 e 2 resultantes especificamente para o Alvo 1 encontra-se desenvolvida passo a passo no *script* MathCad em https://www.fccdecastro.com.br/HW/DelayProfiles1e2_Alvo1.zip .

(b) Determine a magnitude da tensão V_{t_Alvo1} nos terminais das antenas D_0 e D_1 do *array*, tensões que resultam da onda EM incidente no *array* originada pela reflexão da onda EM iluminante no alvo 1 (= eco do alvo 1).

(c) Determine a magnitude da tensão V_{t_Alvo2} nos terminais das antenas D_0 e D_1 do *array*, tensões que resultam da onda EM incidente no *array* originada pela reflexão da onda EM iluminante no alvo 2 (= eco do alvo 2).

(d) Determine a magnitude da tensão V_{t_Alvo3} nos terminais das antenas D_0 e D_1 do *array*, tensões que resultam da onda EM incidente no *array* originada pela reflexão da onda EM iluminante no alvo 3 (= eco do alvo 3).

(e) O ângulo ϕ_r de azimute do alvo é obtido através do processamento em banda-base efetuado no PC, que determina ϕ_r por interferometria a partir do ângulo elétrico de diferença de fase Δ_{phase} entre os dois *streams* de símbolos IQ que resultam respectivamente dos sinais captados pelas antenas D_0 e D_1 . Neste contexto, qual cuidado é necessário ter quanto ao tamanho e quanto ao fator de velocidade dos cabos coaxiais que interligam as antenas D_0 e D_1 aos respectivos *ports* de entrada do RX SDR dual (ver figura no slide 2)? Justifique analiticamente a sua resposta.