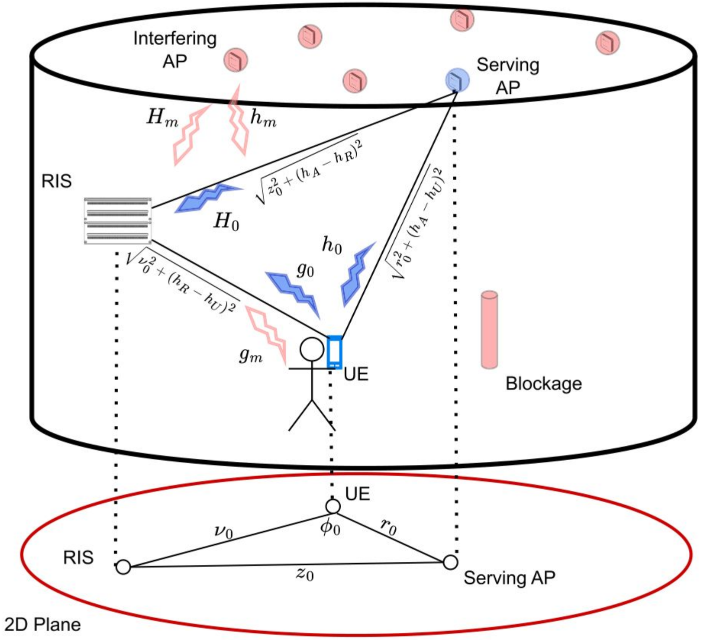
Estudo sobre o artigo “On the Downlink Coverage Performance of RIS-Assisted THz Networks”

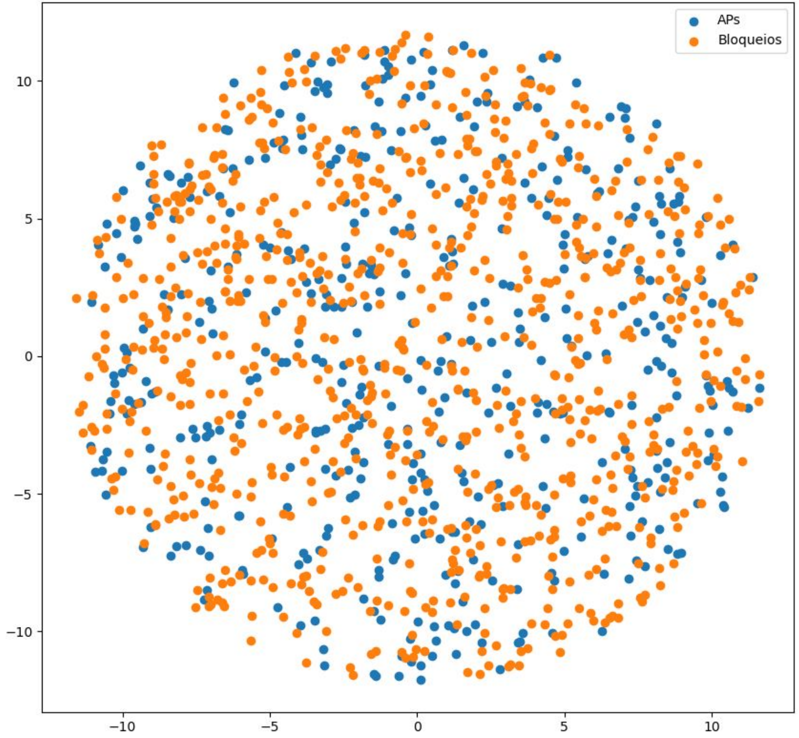
Paulo Tealdi

Modelo do sistema



- Região de análise em formato cilíndrico
- APs e bloqueios modelados por PPP homogêneo (Poisson point process)
- UE sempre fixo em em [0,0,hU]
- Bloqueios com altura 1,63m e raio 0,22m
- RIS acima dos bloqueios
- Apenas 1 AP de serviço

Realização do PPP



Com os dados do artigo:

- $\lambda_A = 1$ (1 AP/m^2)
- $\lambda_B = 2$ (2 Bloqueios/m^2)

Análise de cobertura (Probabilidades de associação)

$$A_{\mathrm{D}}(r_0) = \exp\left(-\beta_{\mathrm{D}} r_0\right)\left(1 - \exp\left(-\beta_{\mathrm{R}} v_0\right)\right).$$

$$A_{\mathrm{R}}(r_0) = \left(1 - \exp\left(-\beta_{\mathrm{D}} r_0\right)\right)\exp\left(-\beta_{\mathrm{R}} v_0\right).$$

$$A_{\mathrm{C}}(r_0) = \exp\left(-\beta_{\mathrm{D}} r_0\right)\exp\left(-\beta_{\mathrm{R}} v_0\right).$$

$$\beta_{\mathrm{D}} = 2\lambda_{\mathrm{B}} r_{\mathrm{B}} \left|\frac{\hat{h}_{\mathrm{B}}}{\hat{h}_{\mathrm{A}}}\right| \qquad \beta_{\mathrm{R}} = 2\lambda_{\mathrm{B}} r_{\mathrm{B}} \left|\frac{\hat{h}_{\mathrm{B}}}{\hat{h}_{\mathrm{R}}}\right|$$

Cálculo da potência de interferência

Modelo de pathloss:

$$\mathrm{PL_D}(r) = \frac{G_\mathrm{U} G_\mathrm{A} c^2}{(4\pi f)^2} e^{-k_a(f)\sqrt{r^2+\hat{h}_\mathrm{A}^2}} (r^2 + \hat{h}_\mathrm{A}^2)^{-1}$$

Sinal recebido:

$$y_\mathrm{D} = \sqrt{P_\mathrm{A} \mathrm{PL_D}(r_0)}\, \mathbf{h_0}^T \mathbf{f_0} x$$

Sendo que:

$$\mathbf{h_0} = [h_1, \ldots, h_{N_\mathrm{A}}]^T \qquad h_j \sim \mathcal{CN}(0,1)$$

é o vetor de canal

Segue que a potência do sinal recebido é dada por:

$$\mathcal{S}_{\mathrm{D}} = P_{\mathrm{A}} \mathrm{PL}_{\mathrm{D}}(r_0) |\mathbf{h_0}^T \mathbf{f_0} x|^2$$

Para saber a potência total de interferência, soma-se todas as potências dos sinais recebidos por APs que não são a AP de serviço (mais próxima):

$$\boxed{I_{\mathrm{D}} = P_{\mathrm{A}} \frac{G_{\mathrm{U}} G_{\mathrm{A}} c^2}{(4\pi f)^2} \sum_{\mathbf{a_m} \in \Pi_{\mathrm{D}} / \mathbf{a_0}} \frac{e^{-k_a(f)\sqrt{r_m^2 + \hat{h}_{\mathrm{A}}^2}}}{(r_m^2 + \hat{h}_{\mathrm{A}}^2)} |\mathbf{h_m}^T \mathbf{f_m} x|^2}$$

O mesmo processo é feito para o link com a RIS.

De forma geral:

$$I_D = \sum_{a_m \in \Pi_D / a_0} P_A P L_D(r_m) |h_m^T f_m x|^2 = \sum_{a_m \in \Pi_D / a_0} P_A P L_D(r_m) \gamma_m$$

Portanto:

$$\mathcal{L}_{I_D}(s) = \mathbb{E}_{I_D}[e^{-sI_D}] = \mathbb{E}_{\Pi_D, \gamma_m}\left[\exp(-s \sum_{a_m \in \Pi_D / a_0} P_A P L_D(r_m) \gamma_m)\right]$$

$$= \mathbb{E}_{\Pi_D, \gamma_m}\left[\prod_{a_m \in \Pi_D / a_0} \exp(-s P_A P L_D(r_m) \gamma_m)\right] = \mathbb{E}_{\Pi_D}\left[\prod_{a_m \in \Pi_D / a_0} \mathbb{E}_{\gamma_m}[\exp(-s P_A P L_D(r_m) \gamma_m)]\right]$$

$$= \mathbb{E}_{\Pi_D}\left[\prod_{a_m \in \Pi_D / a_0} \frac{\kappa_D}{\kappa_D + s P_A P L_D(r_m)}\right]$$

Transformada de Laplace da interferência

A transformada de Laplace da potência total de interferência no link direto é dada por:

$$\mathcal{L}_{I_{\mathrm{D}}}(s) = \exp\left[-2\pi\lambda_{\mathrm{A}}\int_{r_0}^{R_t}\left(1-\frac{\kappa_{\mathrm{D}}}{\kappa_{\mathrm{D}}+sP_{\mathrm{A}}\mathrm{PL}_{\mathrm{D}}(r)}\right)P_{\mathrm{D}}^{\mathrm{LoS}}(r)r\mathrm{d}r\right]$$

Em que:

$$\kappa_{\mathrm{D}} = \frac{1}{2\left(\sum_{j=1}^{N_{\mathrm{A}}}|f_j|^2\right)^2}$$

Para o link com a RIS a transformada de Laplace é dada por:

$$\mathcal{L}_{I_{\mathrm{R}}}(s) = \exp\left[-2\pi\lambda_{\mathrm{A}} \int_0^{\pi} \int_{r_0}^{R_t} \left(1 - Q\left(sP_{\mathrm{A}}\mathrm{PL}_{\mathrm{R}}\left(\sqrt{r^2 + v_0^2 - 2rv_0\cos\phi}\right)\right)\right) r\mathrm{d}r\mathrm{d}\phi \right]$$

Em que:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{1+2x}} \exp\left(-\frac{\kappa_{\mathrm{I}} x}{1+2x}\right), \ \kappa_{\mathrm{I}} = \frac{\mu_B}{2\left(\sum_{j=1}^{N_{\mathrm{A}}} |f_j^m|\right)\sigma_B^2}$$

No caso direto tem-se a MGF da distribuição exponencial e, no caso do link com a RIS, tem-se a MGF da distribuição χ^2

As probabilidades condicionais de cobertura são dadas por:

$$P_{\mathrm{D}}(r_0) = \mathcal{L}_{I_{\mathrm{D}}}\left(\frac{\tau\kappa_{\mathrm{D}}}{P_{\mathrm{A}}\mathrm{PL}_{\mathrm{D}}(r_0)}\right)$$

$$P_{\mathrm{R}}(r_0, \phi_0) = \mathcal{L}_{I_{\mathrm{D}}}\left(\tau\kappa_{\mathrm{R}}(z_0)\right)\mathcal{L}_{I_{\mathrm{R}}}(\tau\kappa_{\mathrm{R}}(z_0))$$

$$P_{\mathrm{C}}(r_0, \phi_0) = \mathcal{L}_{I_{\mathrm{D}}}\left(\tau\kappa_{\mathrm{C}}(r_0, z_0)\right)\mathcal{L}_{I_{\mathrm{R}}}(\tau\kappa_{\mathrm{C}}(r_0, z_0))$$

E os termos utilizados nas funções são encontrados com um limiar de SIR:

$$\begin{aligned} P_{\mathrm{D}}(r_0) &= \mathbb{P}\left[\frac{\mathcal{S}_{\mathrm{D}}}{I_{\mathrm{D}}} > \tau\right] = \mathbb{P}\left[|\mathbf{h_0}^T\mathbf{f_0}|^2 > \frac{\tau I_{\mathrm{D}}}{P_{\mathrm{A}}\mathrm{PL}_{\mathrm{D}}(r_0)}\right] \\ &\overset{(a)}{=} \mathbb{E}_{I_{\mathrm{D}}}\left[\exp\left(-\kappa_{\mathrm{D}}\tau\frac{I_{\mathrm{D}}}{P_{\mathrm{A}}\mathrm{PL}_{\mathrm{D}}(r_0)}\right)\right] \overset{(b)}{=} \mathcal{L}_{I_{\mathrm{D}}}\left(\frac{\tau\kappa_{\mathrm{D}}}{P_{\mathrm{A}}\mathrm{PL}_{\mathrm{D}}(r_0)}\right) \end{aligned}$$

(a): CCDF da exponencial | (b): Definição da transformada de Laplace

Probabilidade de cobertura

$$P_{\mathrm{Cov}} = \int_0^{\pi} \frac{1}{\pi} \int_0^{R_t} f_{r_0}(r_0)\left(A_{\mathrm{D}}(r_0) P_{\mathrm{D}}(r_0) + A_{\mathrm{R}}(r_0) P_{\mathrm{R}}(r_0, \phi_0) + A_{\mathrm{C}}(r_0) P_{\mathrm{C}}(r_0, \phi_0)\right) \mathrm{d}r_0 \mathrm{d}\phi_0$$

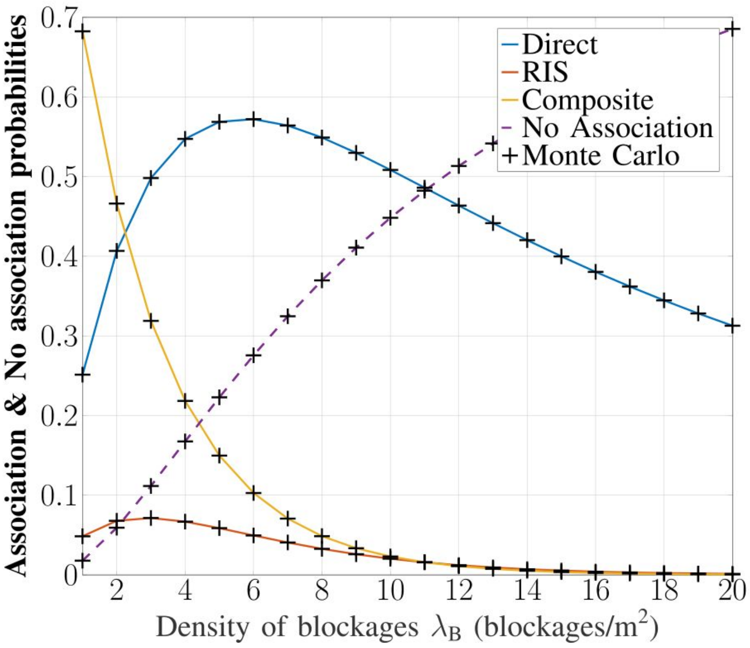
Em que:

$$f_{r_0}(r_0) \quad = 2\pi\lambda_{\mathrm{A}} r_0 \exp\left(-\lambda_{\mathrm{A}} \pi r_0^2\right)$$

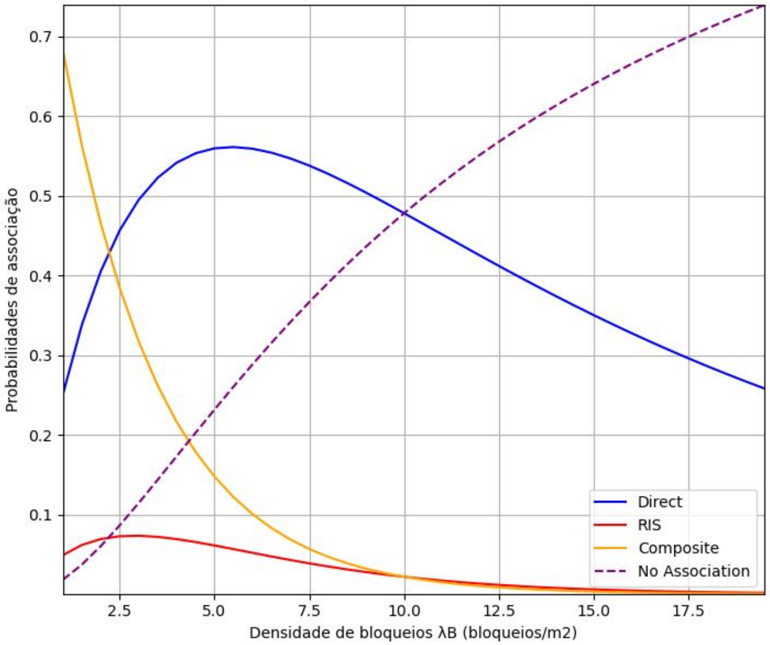
Representa a PDF da distância 2D entre UE e AP mais próxima.

Figura 2.(a)

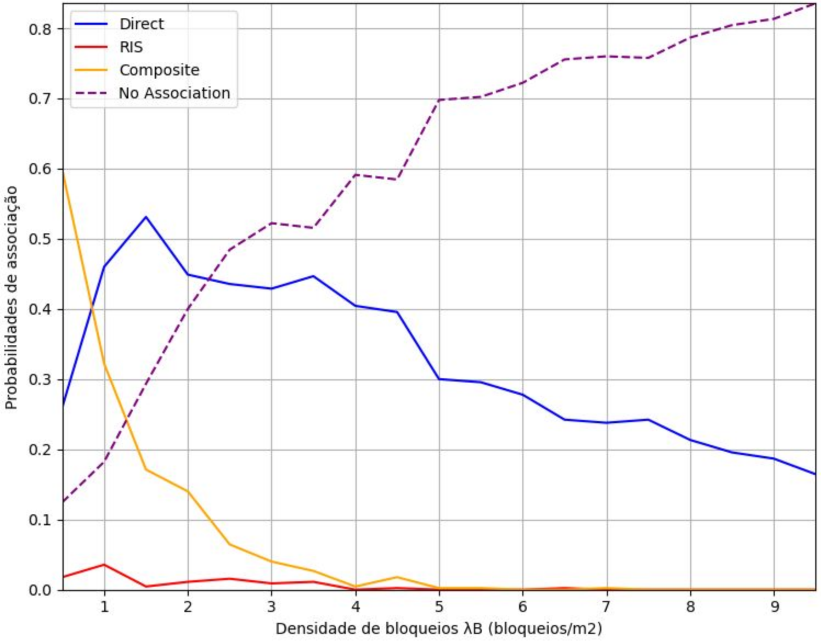
Resultado do artigo:



Minha simulação:



Minha simulação Monte-Carlo da figura 2.(a)

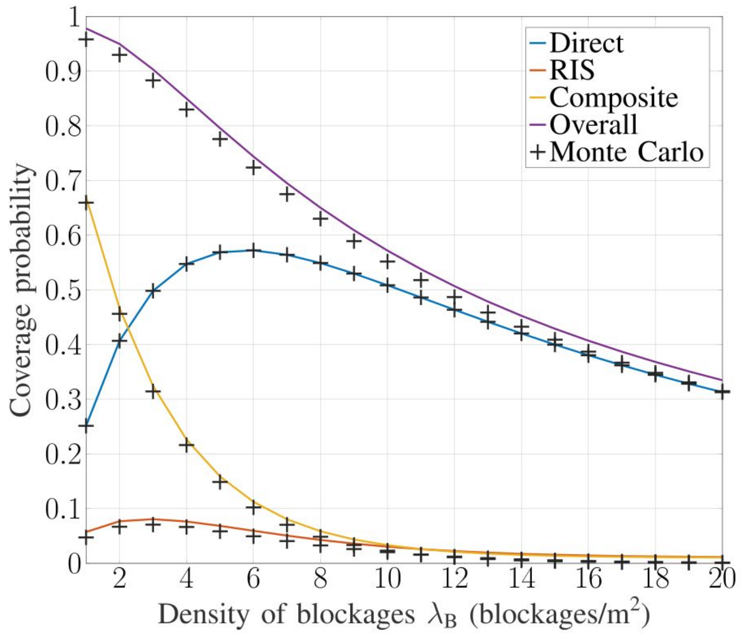


Número de realizações Monte-Carlo = 450

No artigo foram utilizadas 10^6

Figura 2.(b)

Resultado do artigo:



Minha simulação:

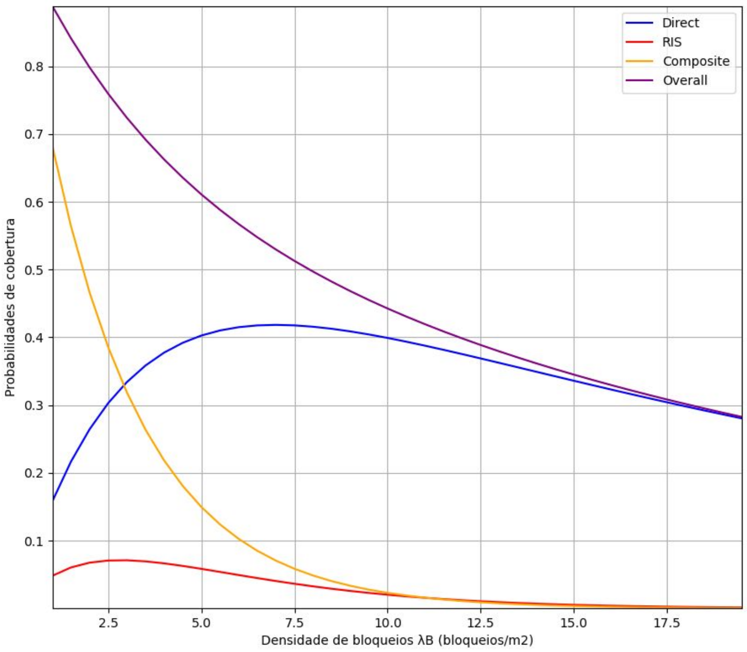
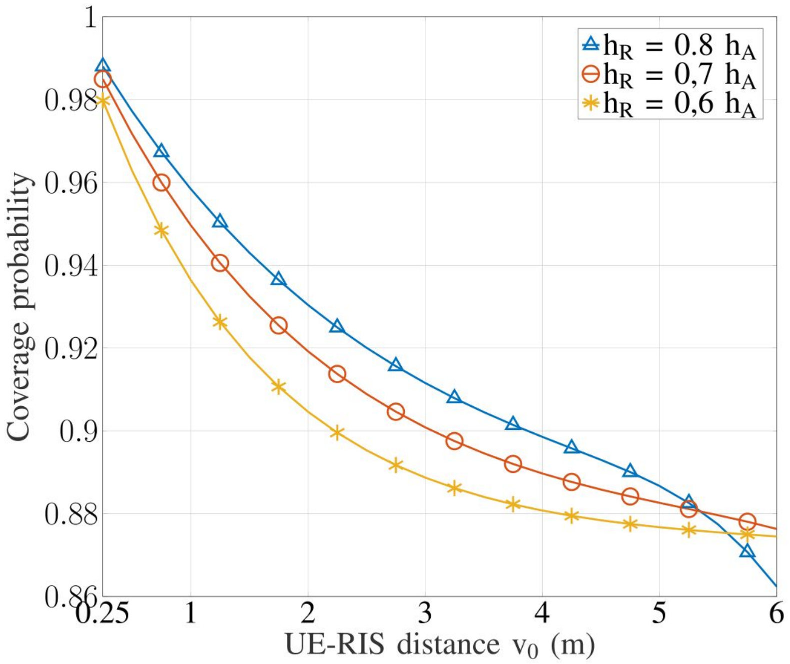


Figura 3.(a)

Resultado do artigo:



Minha simulação:

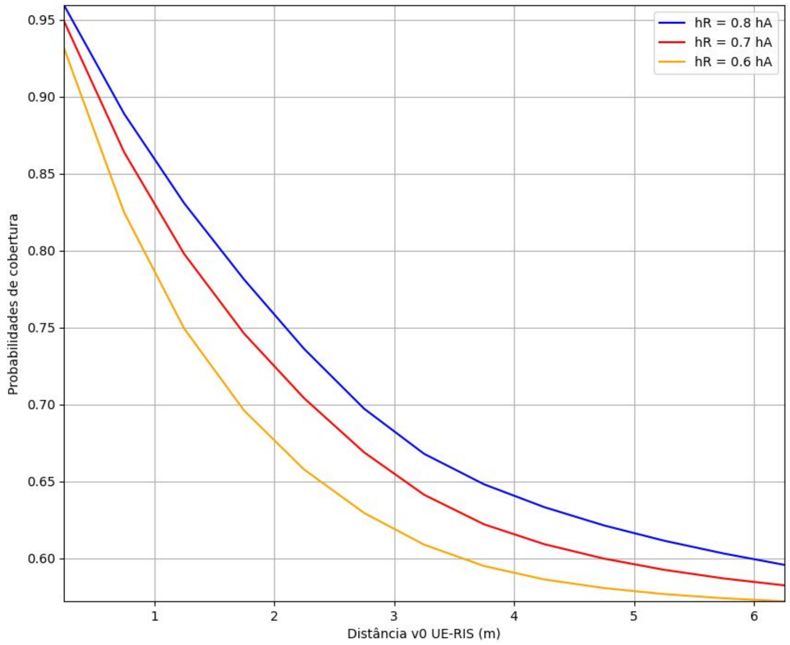
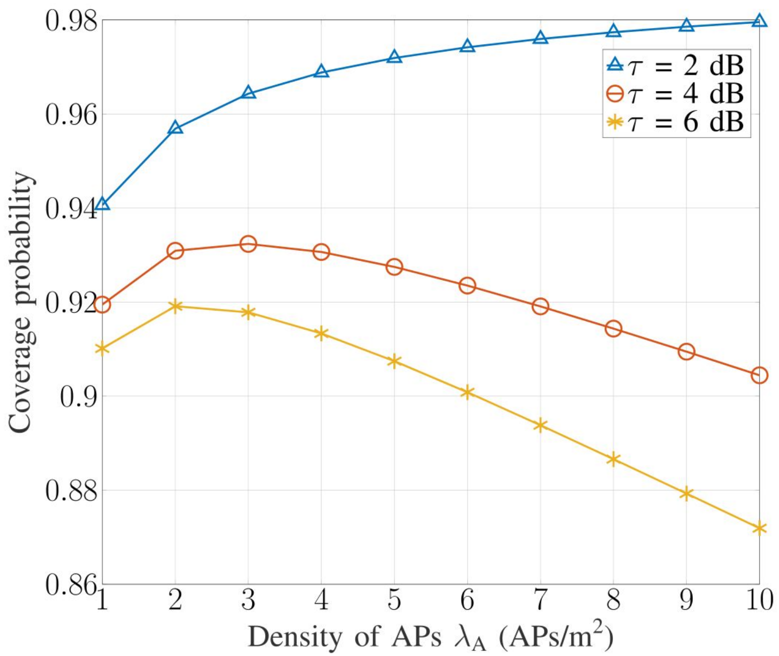


Figura 3.(b)

Resultado do artigo:



Minha simulação:

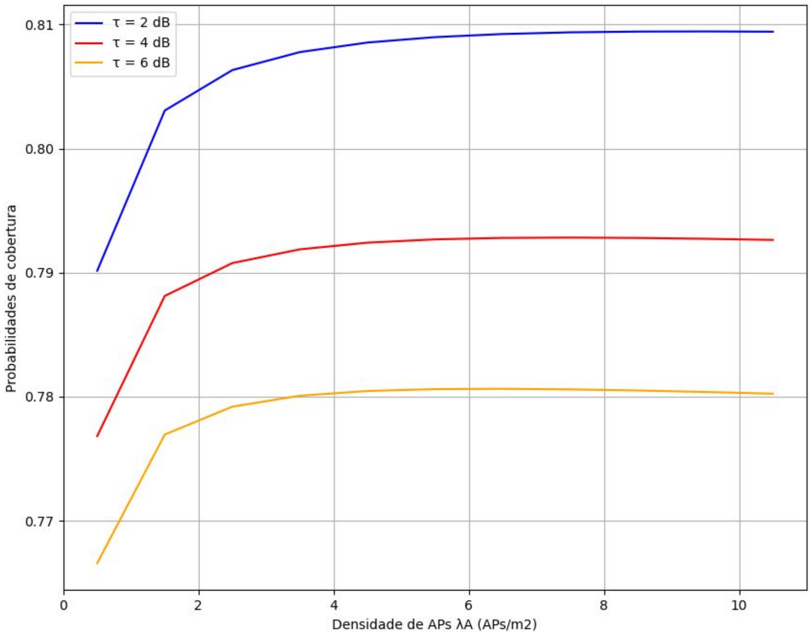
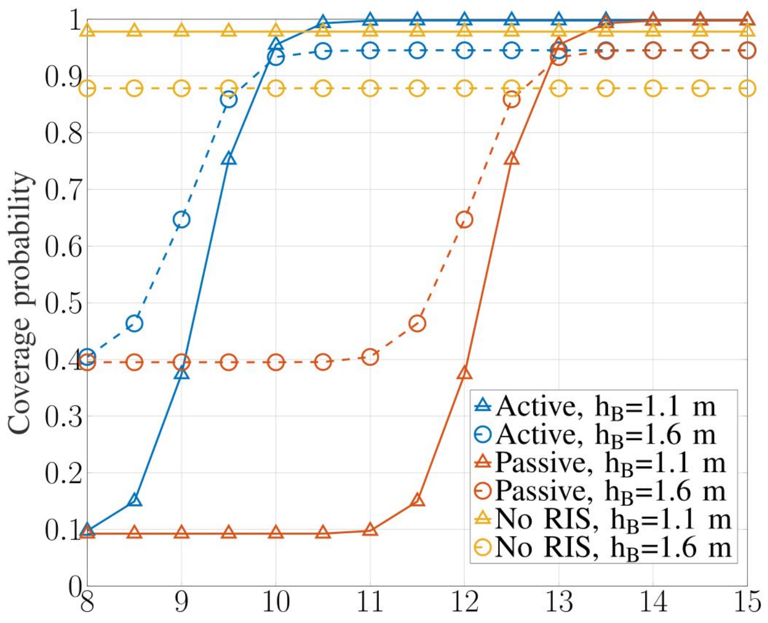
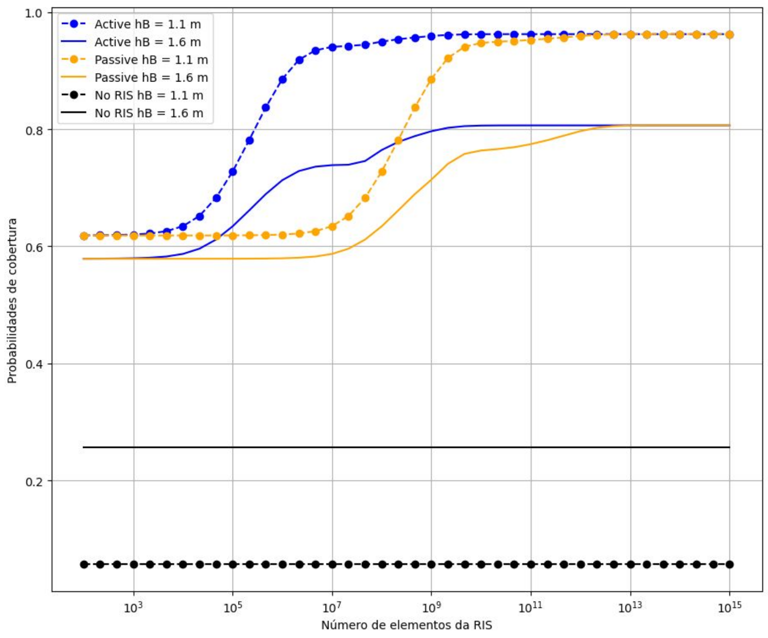


Figura 3.(c)

Resultado do artigo:



Minha simulação:



Cerise

Referências

[1] W. Aman, N. Kouzayha, M. M. U. Rahman and T. Y. Al-Naffouri, "On the Downlink Coverage Performance of RIS-Assisted THz Networks," in IEEE Communications Letters, vol. 28, no. 1, pp. 228-232, Jan. 2024, doi: 10.1109/LCOMM.2023.3332173.

[2] SINTUHAKARAN, Sudarshan; ANDREWS, Jeffrey G. A primer on cellular network analysis using stochastic geometry. arXiv preprint arXiv:1604.03183, 2016. Disponível em: https://arxiv.org/abs/1604.03183. Acesso em: *15/09/2024*.