



# Mapeamento de Redes Virtuais Secundárias em Substrato Sem Fio Baseado em Rádio Cognitivo: Formulação Multi-objetivo e Análise

Andson M. Balieiro, Kelvin L. Dias

{amb4, kld}@cin.ufpe.br



UNIVERSIDADE  
FEDERAL  
DE PERNAMBUCO

**UPE**  
UNIVERSIDADE  
DE PERNAMBUCO



# Agenda

- Motivação e Cenário
- Desafio do Mapeamento de SVN
- Objetivos
- Formulação Cenário, métricas e Problema
- Análise de Influência de Parâmetros e Métrica
- Considerações Finais



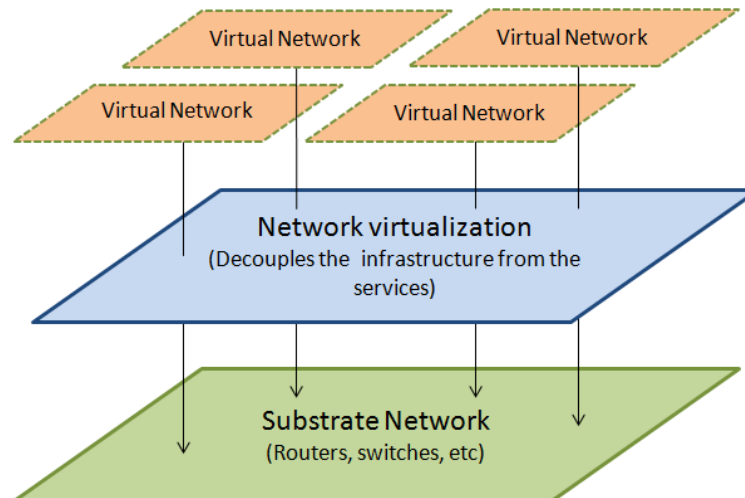
# Motivação

- Futuro da Comunicação Digital:
  - Redes sem fio heterogêneas e ubíquas: tecnologias, topologias e áreas de cobertura diferentes
- Crescente demanda por serviços com requisitos distintos
  - Segurança, QoS e QoE.
- Gerenciar este ecossistema complexo se torna desafiador.



# Motivação

- Virtualização sem fio é apontada como uma solução eficiente.
  - Permite a criação de redes virtuais(VNs) sem fio sobre a mesma rede de substrato.
  - Envolve compartilhamento de infraestrutura e espectro.
  - Introduce novas entidades no modelo de negócio: MNO (InP) e SP.





## Motivação

- Tráfego móvel no mundo cresce:
  - Crescimento de plataformas de computação móvel: smart phones, tablets, etc.
- Necessidade de um recurso natural e escasso:
  - Espectro Eletromagnético
- A inserção virtualização melhora a utilização de recursos
  - Mas, abordagens atuais podem ocasionar subutilização de recurso.
  - Subutilização ocorre em momentos de baixo tráfego nas VNs
  - Recursos alocados a uma VN não são compartilhados com outra

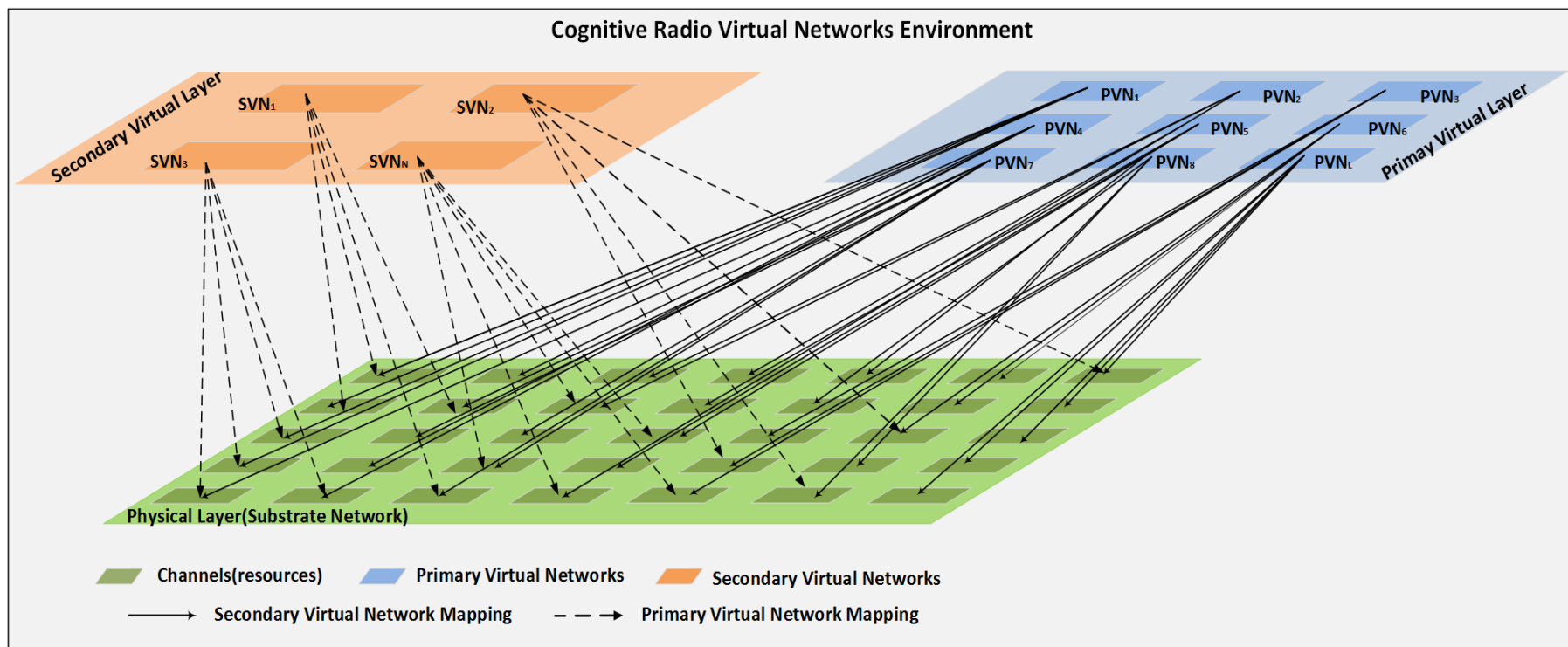


# Motivação

- Solução: Virtualização Sem Fio + Rádio Cognitivo(CR) + DSA
  - Mais profundo nível de virtualização: baseada em espectro.
  - Melhora utilização através do acesso oportunista ao recurso.
- Como isso acontece?
  - VNs com diferentes prioridades (PVNs e SVNs) podem ser implantadas utilizando recursos comuns.
  - SVN somente acessa o recurso quando a PVN não o está utilizando.
- Como implementar ?
  - CR : cognição e reconfiguração.
- Redes virtuais com diferentes RATs (p. ex.) podem ser instanciadas na mesma rede de substrato.



## O Cenário



- Novos desafios surgem: desde o mapeamento até a operação de tais VNs



## Desafio no Mapeamento de SVN

- Mapeamento de VNs em Redes de Substrato é um problema NP-hard.
- VNs com diferentes prioridades torna o problema mais desafiador:
  - SVN utiliza os recursos de forma oportunista
- Mapeamento de SVN deve considerar:
  - A demanda requisitada pela SVN: atender os requisitos da comunicação secundária.
  - A atividade da rede primária: evitar a interferir na comunicação primária.
- Mapeamento de PVN ocorre de forma usual
  - Não considera a existência das SVNs





## Desafio no Mapeamento de SVN

- Mapeamento de SVN apresenta restrições e objetivos relacionados a:
  - Comunicação primária: evitar interferência/ colisão no PU
  - Ambiente de Rede/MNO: garantir utilização eficiente dos recursos
  - Comunicação secundária: oferecer boa qualidade de comunicação ao seu usuário (evitar bloqueio e handover de SU)
- Alguns objetivos são conflitantes entre si.



## Objetivos do trabalho

- Descrever o Ambiente de Redes Virtuais de Rádio Cognitivo;
- Modelar as interações entre PVNs e SVNs, bem como métricas importantes;
- Formular o Problema Multiobjetivo de Mapeamento de SVNs em Redes de Substrato no ambiente descrito;
- Analisar a influência de alguns parâmetros /métrica sobre outros no processo de mapeamento.



# **Formulação do Cenário, Métricas e Problema de Mapeamento de SVN's em Rede de Substrato**



## Formulação do Cenário

- PVNs são mapeadas de forma usual: cada PVN  $j$  recebe uma parcela  $q_j$  do recurso total ( $M$ ).

$$0 \leq q_j \leq 1 \quad \sum_{j=1}^L q_j = 1$$

$$|Q_j| = \lfloor M \cdot q_j \rfloor \text{ or } \lceil M \cdot q_j \rceil$$



## Formulação do Cenário

- Chegada de PU no canal  $i$  da Rede Virtual  $j$ : Processo de Poisson com taxa de chegada  $\lambda_{i,j}^{PU}$
- Tempo de permanência: distribuição exponencial com média  $\frac{1}{\mu_{i,j}^{PU}}$
- Utilização do canal  $i$  pelo PU

$$\rho_{i,j}^{PU} = \left( \frac{\lambda_{i,j}^{PU}}{\mu_{i,j}^{PU}} \right)$$

- Critério para utilização oportunista pelo SU:  $\rho_{i,j}^{PU} < 1$
- Abordagem: no máximo 1 PU por canal.



## Formulação do Cenário

- Probabilidade do Canal  $i$  não está sendo usado pelo PU (estado OFF)

$$POFF_{i,j} = (1 - \rho_{i,j}^{PU})$$

- Número médio de canais OFF na Rede Virtual  $j$

$$E[NCh_j^{OFF}] = \sum_{n=1}^{|Q_j|} n \cdot P[NCh_j^{OFF} = n]$$

$$P[NCh_j^{OFF} = n] = \sum_{d=1}^s \left[ \prod_{i \in A_{d,n,j}} POFF_{i,j} \cdot \prod_{h \in \{Q_j - A_{d,n,j}\}} [1 - POFF_{h,j}] \right]$$



## Formulação do Cenário

- SNR no Canal  $i$  segue distribuição exponencial com média  $\frac{1}{\lambda_{i,j}^{SNR(db)}} \text{ dB}$
- Capacidade máxima do Canal  $i$  (em bps) na perspectiva do PU:

$$R_{i,j} = Bw_{i,j} \cdot \log_2(1 + SNR_{i,j})$$

$$\overline{R_{i,j}} = E[R_{i,j}] = E[Bw_{i,j} \cdot \log_2(1 + (SNR_{i,j}))]$$

- Capacidade efetiva do Canal  $i$  na perspectiva do SU

$$\overline{Re_{i,j}} = POFF_{i,j} \cdot \overline{R_{i,j}}$$



## Formulação do Cenário

- Taxa de Chegada de SU na SVN  $l$  : Poisson com taxa  $\lambda_l^{SU}$  usuários/s
- Tempo de permanência do SU: exponencial com média  $1/\mu_l^{SU}$  s
- Largura de banda requisitada pelo SU na SVN  $l$ : dist. exponencial com média  $1/w_l$  bps

- Número médio de SU na SVN  $l$

$$\overline{NSU}_l = \lambda_l^{SU} \cdot \frac{1}{\mu_l^{SU}}$$

- Largura de banda média requisitada pela SVN  $l$

$$\overline{Bw}_{req,l} = \lambda_l^{SU} \cdot \frac{1}{\mu_l^{SU}} \cdot \frac{1}{\omega_l} = \overline{NSU}_l \cdot \frac{1}{w_l}$$





## Formulação para Probabilidade de Colisão

- Colisão ocorre quando o número de canais que os PUs e SUs tentam acessar é maior do que o número de canais alocados a SVN  $l$ , com pelo menos 1 UP e 1 US entre os usuários.

$$Pc_l(SC_l) = \sum_{i=1}^n (P[NPU_l = i ; NSU_l > \left\lfloor \frac{n_l - i}{ChSU_l} \right\rfloor])$$

$$ChSU_l = \max \left( 1, \frac{1/w_l}{Rch_l} \right) \quad \overline{Rch}_l = \frac{\sum_{i=1}^{n_l} \overline{Re}_{i,l}}{n_l}$$



## Formulação para Probabilidade de Colisão

- Considerando  $N$  SVN's, a Probabilidade de Colisão Média é dada:

$$\overline{Pc} = \frac{\sum_{l=1}^N Pc_l}{N}$$



## Formulação para Probabilidade de Bloqueio

- Bloqueio acontece quando a soma de número de PUs com o número médio de canais requisitado pelo SUs é maior que a quantidade alocada a SVN  $l$ .

$$Pb_l^{SU}(SC_l) = \sum_{i=0}^n (P[NPU_l = i ; NSU_l > \left\lfloor \frac{n_l - i}{ChSU_l} \right\rfloor])$$

- Considerando  $N$  SVNs, a Probabilidade de Bloqueio Média é dada por:

$$\overline{Pb}^{SU} = \frac{\sum_{l=1}^N Pb_l^{SU}}{N}$$



## Formulação para Utilização Conjunta

- Deve-se considerar tanto a utiliza provida pelos PUs e SUs

$$util_l = \frac{\overline{NPU}_l + (1 - Pb_l^{SU}) \cdot \overline{NSU}_l \cdot ChSU_l}{n}$$

- Considerando  $N$  SVNs, a Utilização Conjunta Média é dada por:

$$\overline{util} = \frac{\sum_{l=1}^N util_l}{N}$$



## Formulação para Probabilidade de Handover

- SU muda de SVN devido ao retorno do PU

$$P_{handover,l} = \frac{NH_l}{NAd_l^{SU}}$$

$$NAd_l^{SU} = (1 - Pb_l^{SU}) \lambda_l^{SU} \cdot \frac{1}{\mu_l^{SU}} \quad NH_l = \frac{\text{Min} (NHA_l \cdot ChSU_l^*, R)}{ChSU_l^*}$$

$$NHA_l(SC_l) = PcAd_l \cdot NAd_l^{SU}$$

$$R = \max \left( 0, \sum_{j=1, j \neq l}^N \left[ n_j - \left( \overline{NPU}_j + (1 - Pb_j^{SU}) \cdot \overline{NSU}_j \cdot ChSU_j \right) \right] \right)$$



## Formulação para Probabilidade de Handover

- Considerando  $N$  SVN's, a Probabilidade de Handover Média é dada:

$$\overline{P}_{handover} = \frac{\sum_{l=1}^N P_{handover,l}}{N}$$



## O Problema Multiobjetivo

*Minimize*  $\overline{P_{handover}}$ ,  $\overline{Pb^{SU}}$  and *Maximize*  $\overline{util}$

*Subject to:*

$$\begin{cases} Pc_l < thr_{collision}, 1=1,2,3,\dots,N \\ Ralloc_l \geq \overline{Bw_{req,l}}, 1=1,2,3,\dots,N \\ SC_l \cap SC_u = \emptyset, l \neq u, l,u = 1,2,3,\dots,N \end{cases}$$



# **Análise da influência de alguns parâmetros e métrica**





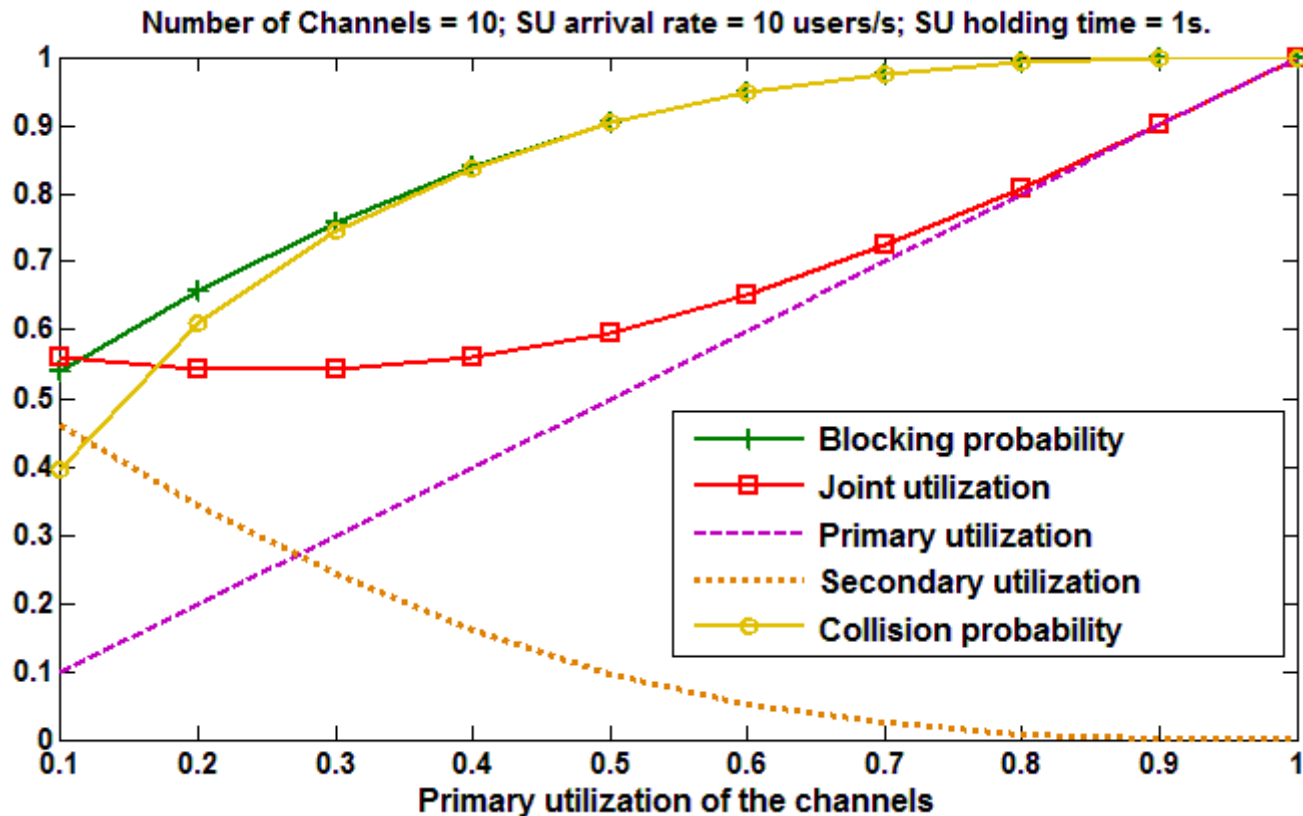
## Análise de Influência

- Alcançar todos os objetivos simultaneamente é desafiador
- Importante analisar a influência de:
  - Alguns parâmetros sobre as métricas.
  - Uma métrica sobre outras.
- Parâmetros:
  - Utilização primária dos canais
  - Número de canais alocados as SVNs
- Métrica:
  - Probabilidade de Bloqueio



## Análise de Influência (resultados)

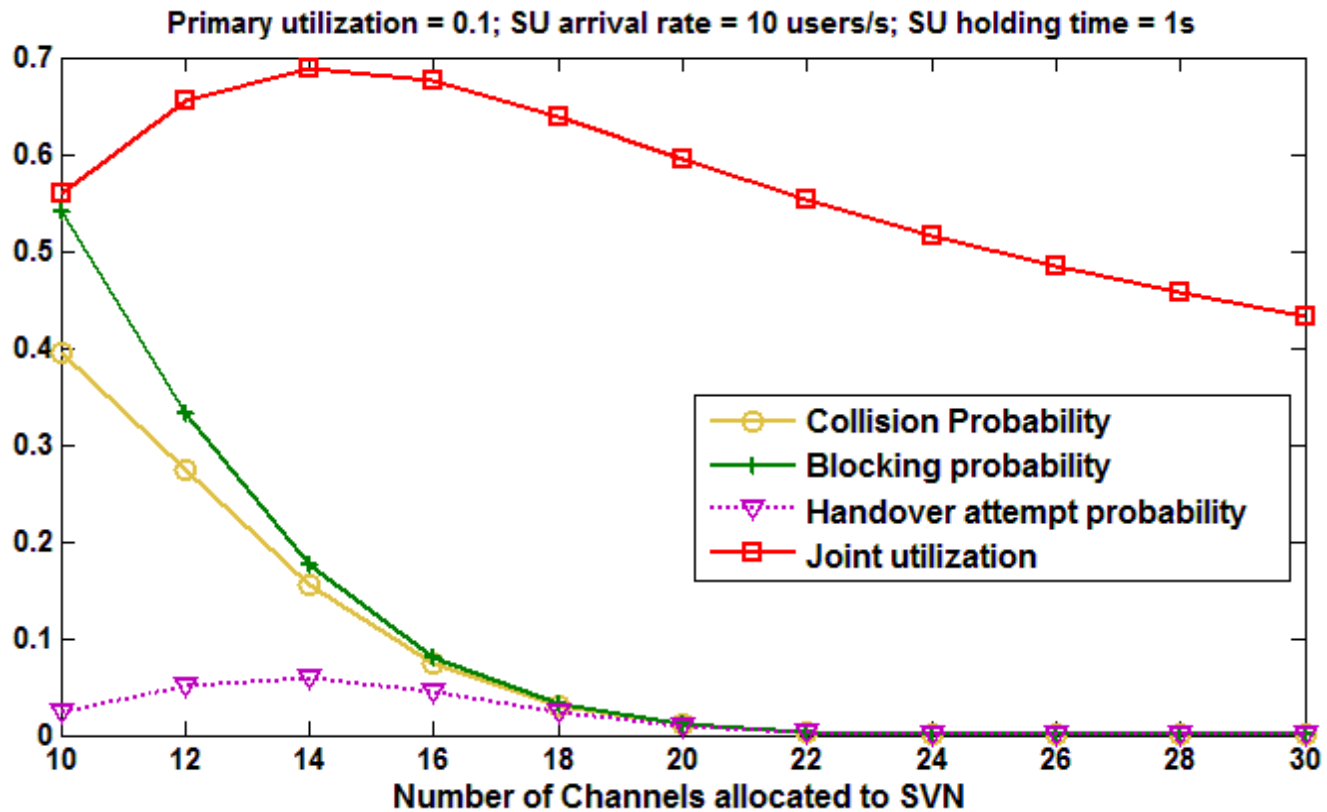
- Utilização Primária dos Canais





## Análise de Influência (resultados)

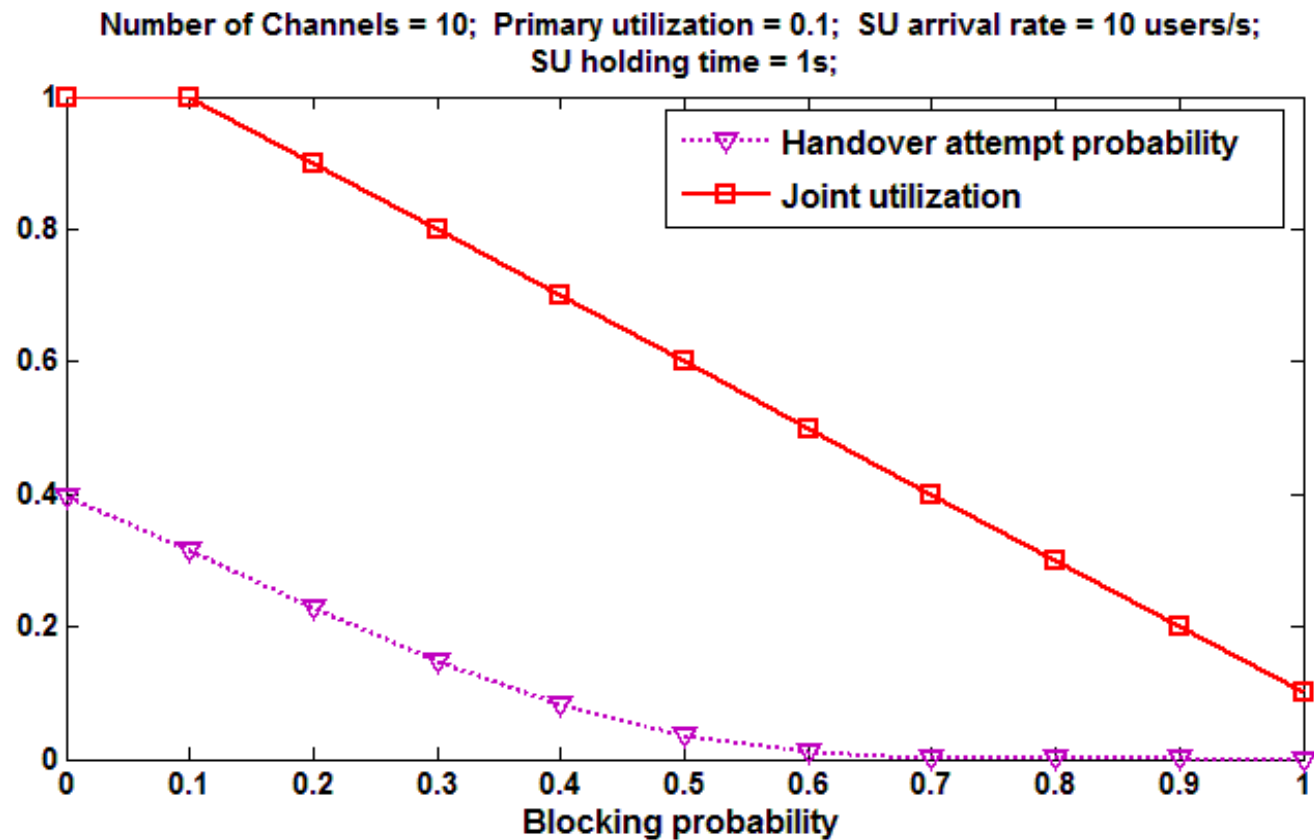
- Número de Canais Alocados à SVN





## Análise de Influência (resultados)

- Probabilidade de Bloqueio





## Considerações Finais

- A combinação de Virtualização Sem Fio + Rádio Cognitivo(CR) + DSA mostra-se como um solução interessante:
  - Subutilização de recurso
  - Flexibilidade de Redes Virtuais
  - Ambiente de Redes Virtuais de Rádio Cognitivo
- Implicações :
  - É possível se ter Redes virtuais com diferentes prioridades: novos modelos de negócios
  - Garantia do nível de acesso: limitar a interferência no PU sem causar starvation ao SU.
  - Melhor utilização dos recursos: aumento de receita do MNO.



## Considerações Finais e Trabalhos Futuros

- Modelo proposto permite:
  - Analisar os objetivos envolvidos no problema de mapeamento de SVN's
  - Subsidiar o desenvolvimento de mecanismos para resolver o problema
- Trabalhos Futuros
  - Desenvolver e avaliar esquemas para resolver o problema proposto
  - Ampliar o modelo adotando outros modelos de distribuições



**Obrigado pela atenção**



# Mapeamento de Redes Virtuais Secundárias em Substrato Sem Fio Baseado em Rádio Cognitivo: Formulação Multi-objetivo e Análise

Andson M. Balieiro, Kelvin L. Dias

{amb4, kld}@cin.ufpe.br



UNIVERSIDADE  
FEDERAL  
DE PERNAMBUCO

**UPE**  
UNIVERSIDADE  
DE PERNAMBUCO