

Uma breve introdução à Teoria dos Jogos com aplicações a Redes de Computadores

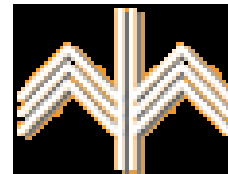
JAI 3 (Capítulo 2)

Edmundo de Souza e Silva

Daniel R. Figueiredo

SBC 2007

LAND – COPPE/PESC – IM/DCC – UFRJ



Organização do Curso

- 3 aulas de 2 horas (2 hoje + 1 amanhã)
- **Aula 1**
 - Conflitos de interesse, motivação com exemplos de redes, introdução à teoria
- **Aula 2**
 - Jogando o DP, mais teoria, jogando de novo!
- **Aula 3**
 - Dinâmica de jogo (mais teoria), problemas em rede (roteamento, etc)

Formato de Apresentação:
JN + participação do público

Objetivos do Curso

Problema fundamental

- Como resolver um conflito de interesses? ← **Qualquer conflito!**
- **Teoria dos Jogos!** ← **Matemática!**
- Introduzir conceitos básicos desta teoria
- Modelando conflitos de interesse
- Aplicação a problema de redes
- Discussão de exemplos

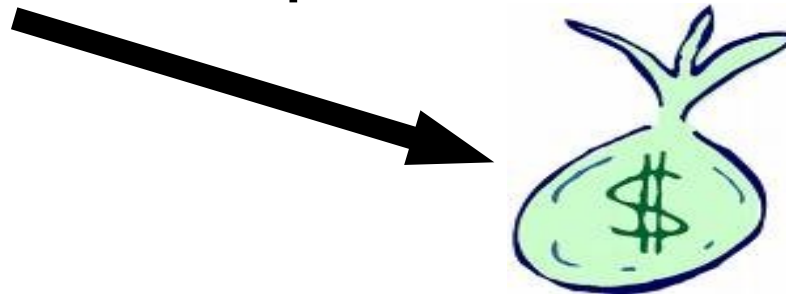
O que o curso não é...

- Como desenvolver jogos para computador
- Novidades de jogos em redes (ex. Second Life)



Entretanto...

- Você vai aprender a jogar *estrategicamente*
 - e como tirar proveito disto...



O Problema do Pênalti

- Situação de conflito entre goleiro e artilheiro
- Interesses contrários: artilheiro quer marcar, goleiro defender
- Apenas uma chance!
- **O que fazer?** ←



**Vamos analisar
racionalmente a
situação**

O Problema do Pênalti

- Final da Copa América, Robinho vai bater pênalti contra Argentina...
- Onde bater o pênalti?
- Levantamento estatístico do goleiro →
- E se o goleiro souber desta análise? O que deve fazer?



	Chute Esquerda	Chute Centro	Chute Direita
Defendeu	28%	5%	47%



Maior chance de ser gol
“Bate no meio Robinho!”

O Problema do Pênalti

- O que Robinho deve **realmente** fazer?
- Resolver o problema do pênalti quando ambos jogadores são **racionais**
- Ambos analisam situação, visando melhor resultado
- **Teoria dos Jogos**
 - *modelar* tal conflito e prescrever soluções



Um Problema Fundamental

- Problema fundamental de Sistemas de Computação?
 - principalmente em Redes

Alocação de Recursos Compartilhados!

- Como organizar acesso aos recursos?

Formar uma Fila!

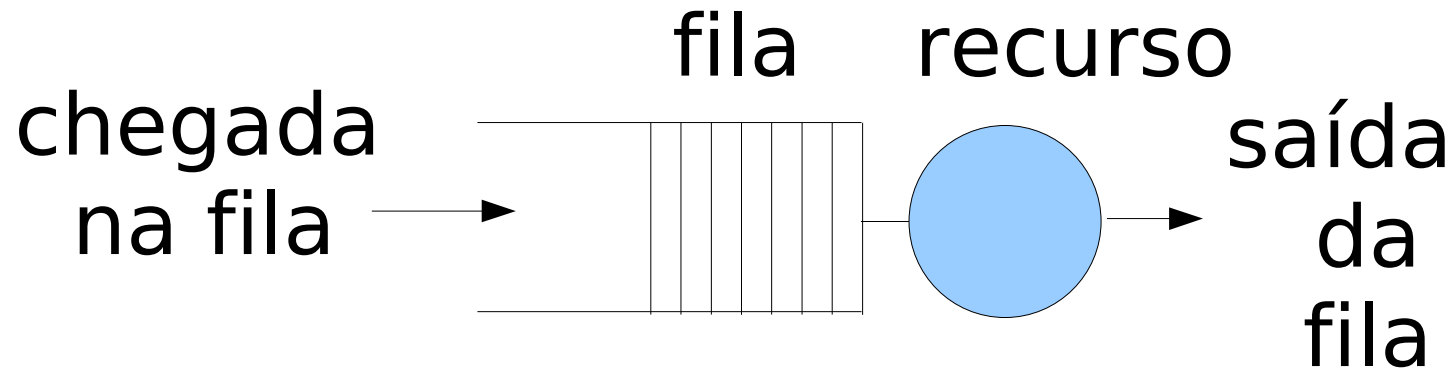
Fila – Abstração Fundamental

- Porque filas se formam?
 - demanda maior que capacidade
- Onde encontramos filas?
 - em todos os lugares
- Muitas filas dentro do seu computador!
 - e roteadores de rede



Fila do Jantar!

Fila – Modelagem



- Modelo *matemático* para estudar comportamento de filas
 - diversos parâmetros e variações
- Aplicações em diversas áreas do conhecimento
 - quais?

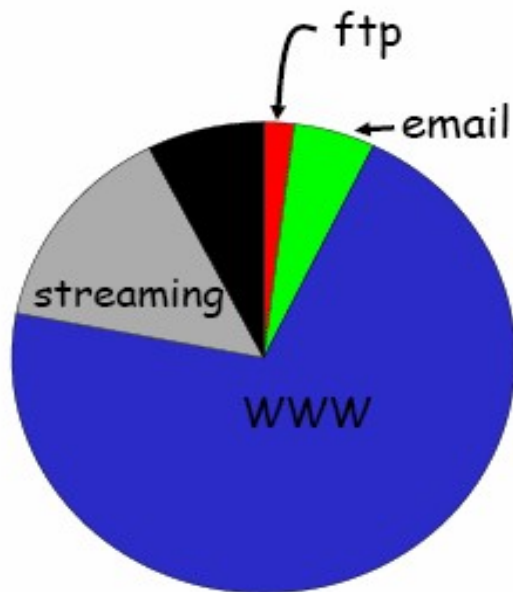
Mudança no Paradigma de Redes de Computadores

- Rede do futuro será achatada!
 - Keynote speech: Towsley – Infocom 2007
- **End-hosts** (computadores na borda)
 - alocação de recursos
- **Core** (roteadores no centro)
 - ampla conectividade (muita banda)

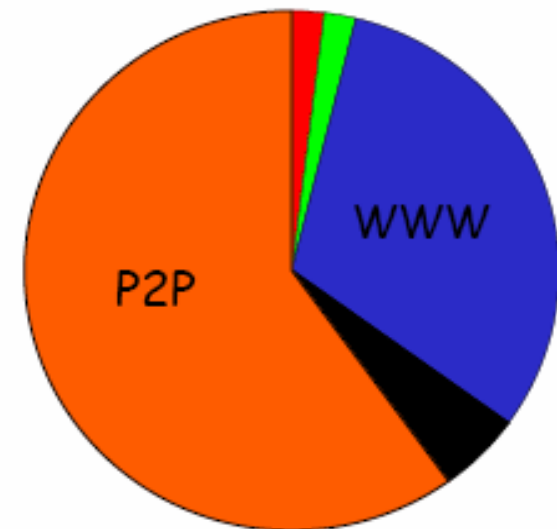
Inteligência Movendo-se Para Borda

Aumento do Tráfego P2P

- Aplicações P2P são descentralizadas
 - controle a partir da borda da rede



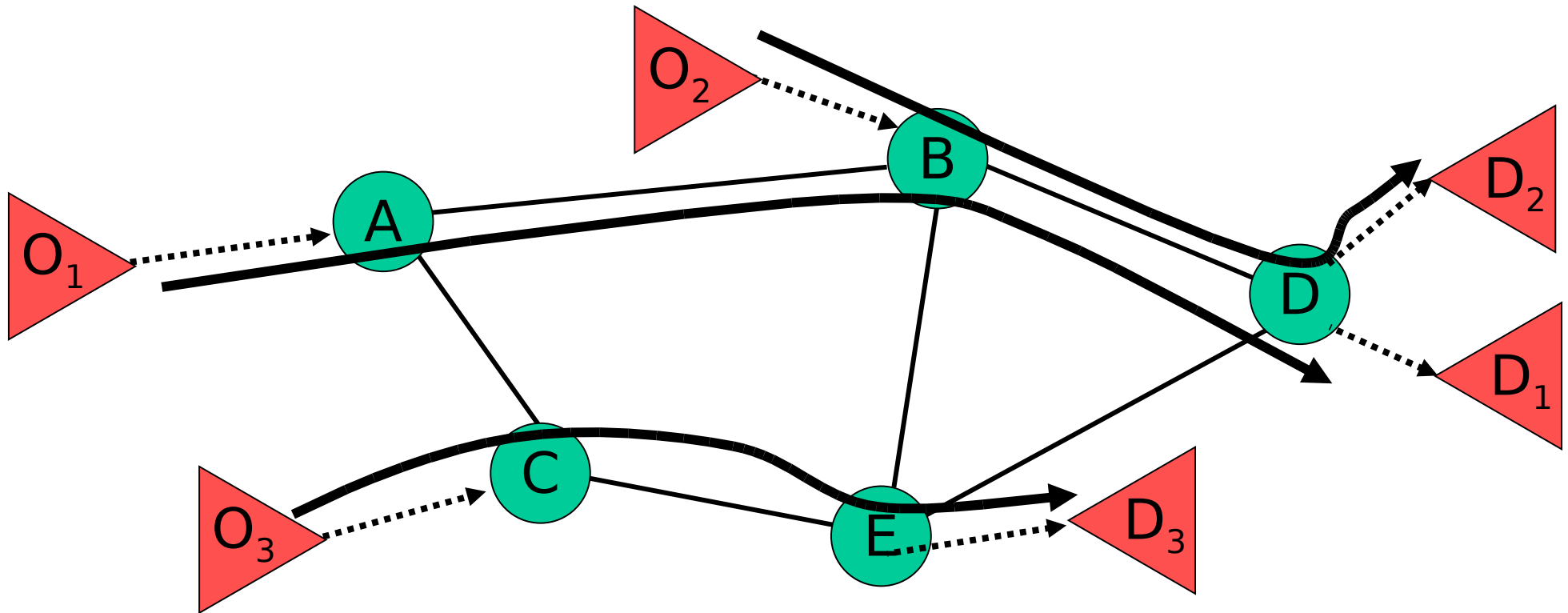
2000



2004

Sugem Situações de Conflito

Controle de Congestionamento



- Como controlar a taxa de transmissão de cada par origem/destino?
- **Algoritmos de controle: TCP**
- Todos usuários concordam com suas regras (inclusive você!)

Controle de Congestionamento

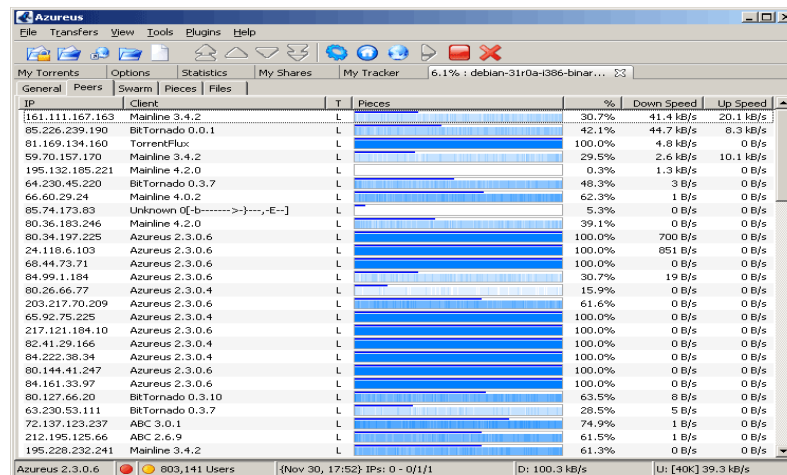
Novo paradigma

- Usuários (aplicações) decidem taxa de transmissão
- A que taxa transmitir?



- Baixando música na Internet. Qual taxa você escolheria?

Taxa máxima!



IP	Client	T	Pieces	%	Down Speed	Up Speed
161.111.167.163	Mainline 3.4.2	L		30.7%	41.4 kB/s	20.1 kB/s
85.226.239.190	BitTornado 0.0.1	L		42.1%	44.7 kB/s	6.3 kB/s
81.169.134.160	TorrentFlux	L		100.0%	4.8 kB/s	0 B/s
59.70.157.170	Mainline 3.4.2	L		29.5%	2.6 kB/s	10.1 kB/s
195.132.185.221	Mainline 4.2.0	L		0.3%	1.3 kB/s	0 B/s
64.230.45.220	BitTornado 0.3.7	L		48.3%	3 B/s	0 B/s
66.60.29.24	Mainline 4.0.2	L		62.3%	1 B/s	0 B/s
85.74.173.83	Unknown 0[-b----->]---,E-]	L		5.3%	0 B/s	0 B/s
80.36.183.246	Mainline 4.2.0	L		39.1%	0 B/s	0 B/s
80.34.197.225	Azureus 2.3.0.6	L		100.0%	700 B/s	0 B/s
24.118.6.103	Azureus 2.3.0.6	L		100.0%	851 B/s	0 B/s
68.44.73.71	Azureus 2.3.0.6	L		100.0%	0 B/s	0 B/s
84.99.1.184	Azureus 2.3.0.6	L		30.7%	19 B/s	0 B/s
80.26.66.77	Azureus 2.3.0.4	L		15.9%	0 B/s	0 B/s
203.217.70.209	Azureus 2.3.0.6	L		61.6%	0 B/s	0 B/s
65.92.75.225	Azureus 2.3.0.4	L		100.0%	0 B/s	0 B/s
217.121.184.10	Azureus 2.3.0.6	L		100.0%	0 B/s	0 B/s
82.41.29.166	Azureus 2.3.0.4	L		100.0%	0 B/s	0 B/s
84.222.38.34	Azureus 2.3.0.4	L		100.0%	0 B/s	0 B/s
80.144.41.247	Azureus 2.3.0.6	L		100.0%	0 B/s	0 B/s
84.161.33.97	Azureus 2.3.0.6	L		100.0%	0 B/s	0 B/s
80.127.66.20	BitTornado 0.3.10	L		63.5%	8 B/s	0 B/s
63.230.53.111	BitTornado 0.3.7	L		28.5%	5 B/s	0 B/s
72.137.123.237	ABC 3.0.1	L		74.5%	1 B/s	0 B/s
212.195.125.66	ABC 2.6.9	L		61.5%	1 B/s	0 B/s
195.228.232.241	Mainline 3.4.2	L		61.3%	0 B/s	0 B/s

- Se todos pensarem assim...

Mudança de Taxa é Real

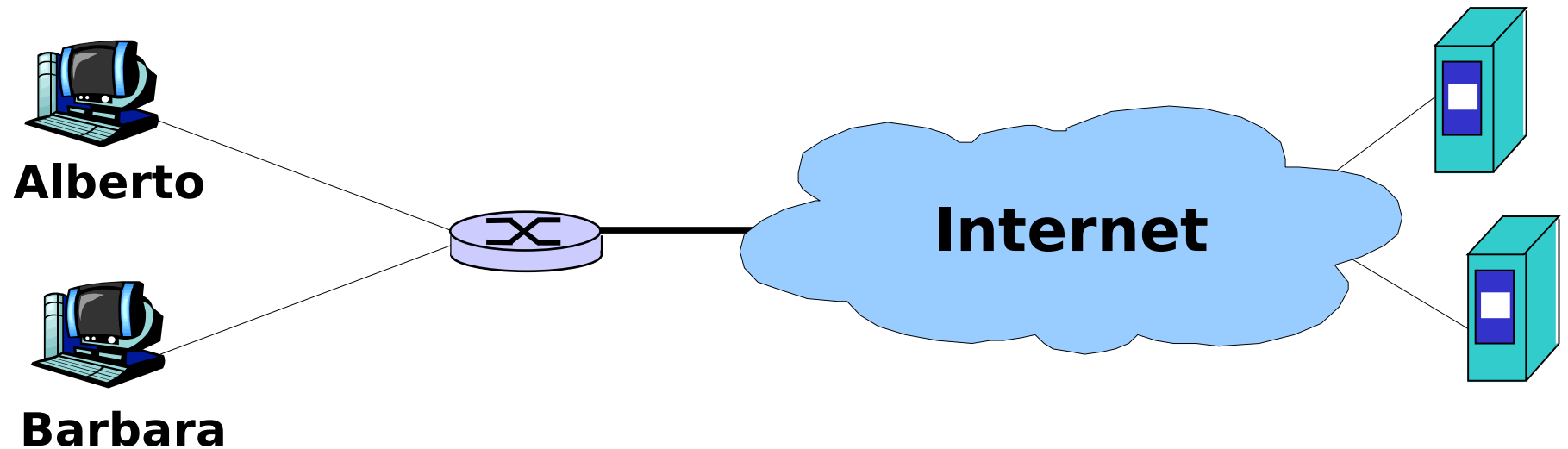
- Modificar o comportamento do TCP é argumento teórico
- Impossível no Windows (requer mudança no Kernel)
- Nunca irá acontecer na Internet

Mero engano...

- Idéia simples
 - Abrir várias conexões TCP ao mesmo tempo
 - Aumento na taxa de transferência
 - Aplicativos já fazem isto hoje!
- TCP é justo por conexão (e não por usuário)
 - Cada conexão recebe uma fração da banda

Conflito de Interesses

- Alberto e Barbara compartilham um canal de acesso
- Podem escolher número de conexões



- Quantas conexões cada um deve abrir?



Analizando o Conflito

- Barbara pouco sabe sobre redes, 1 conexão

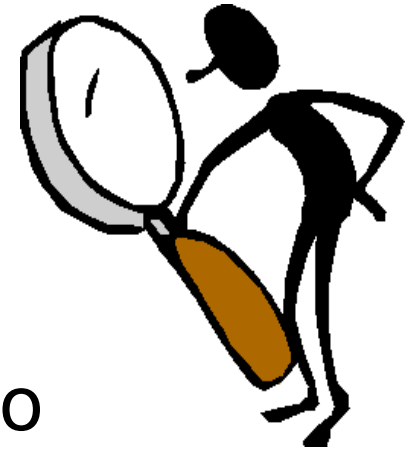


- Alberto abre várias conexões, tira muito proveito

- Barbara sabe redes e teoria dos jogos, não deixa Alberto tirar proveito



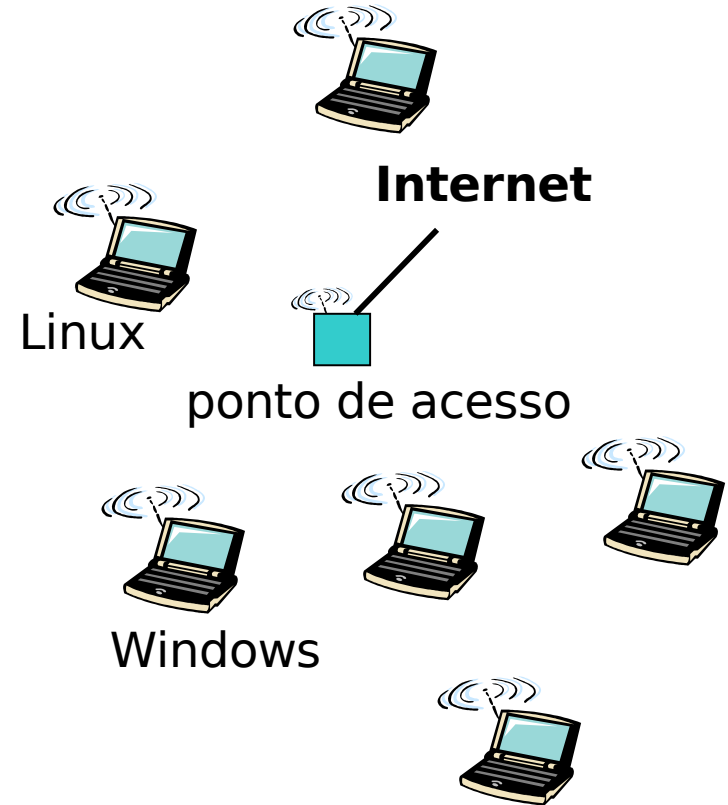
- Alberto reage de acordo, abrindo menos conexões



Haverá um equilíbrio!

Redes sem Fio

- Rede sem fio: meio (espaço de frequências) é compartilhado
- Apenas **uma** transmissão de cada vez
- **Colisão**: transmissões simultâneas
- Quando transmitir?
- Protocolo (ex. IEEE 802.11) decide!



E se você pudesse modificar o protocolo?

Desempenho ao Mudar Protocolo

Internet



ponto de acesso



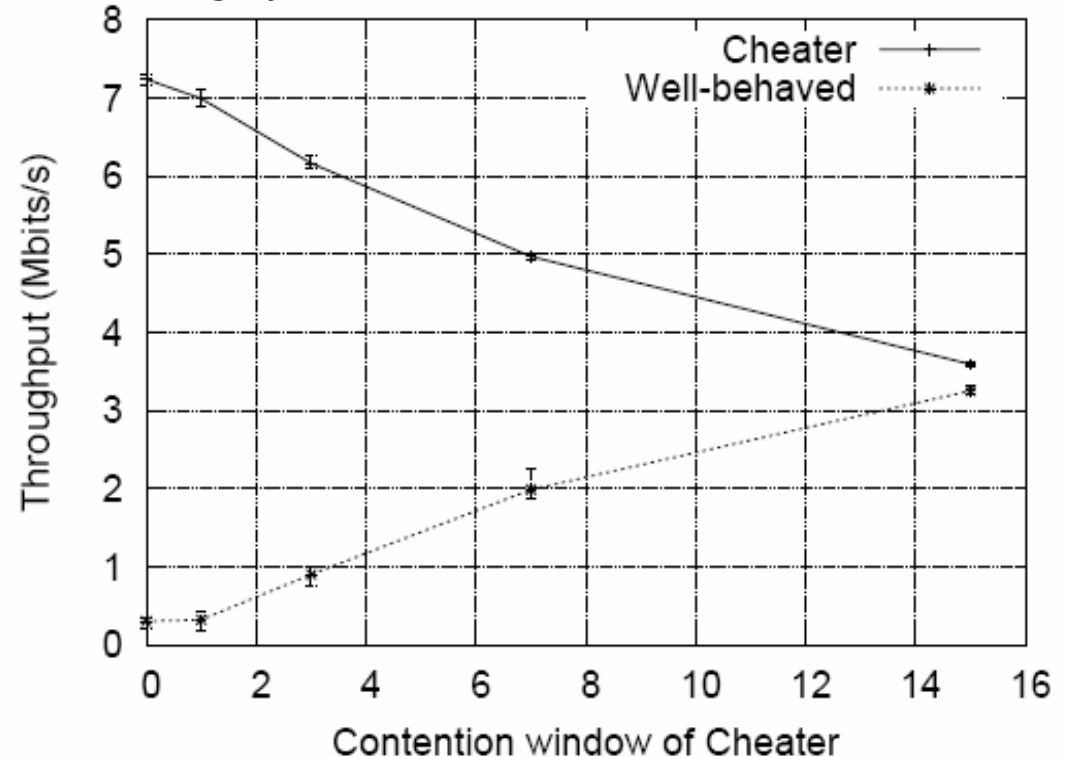
- Experimento real (rede IEEE 802.11b, banda 11Mbps)

- Dois usuários: anjinho e diabinho

- Diabinho muda 1 parâmetro do protocolo

- **Desempenho muito superior!**

On selfish behavior in CSMA/CA networks
Čagalj et. al; IEEE Infocom 2005



Situação de Conflito

- O que anjinho deve fazer?

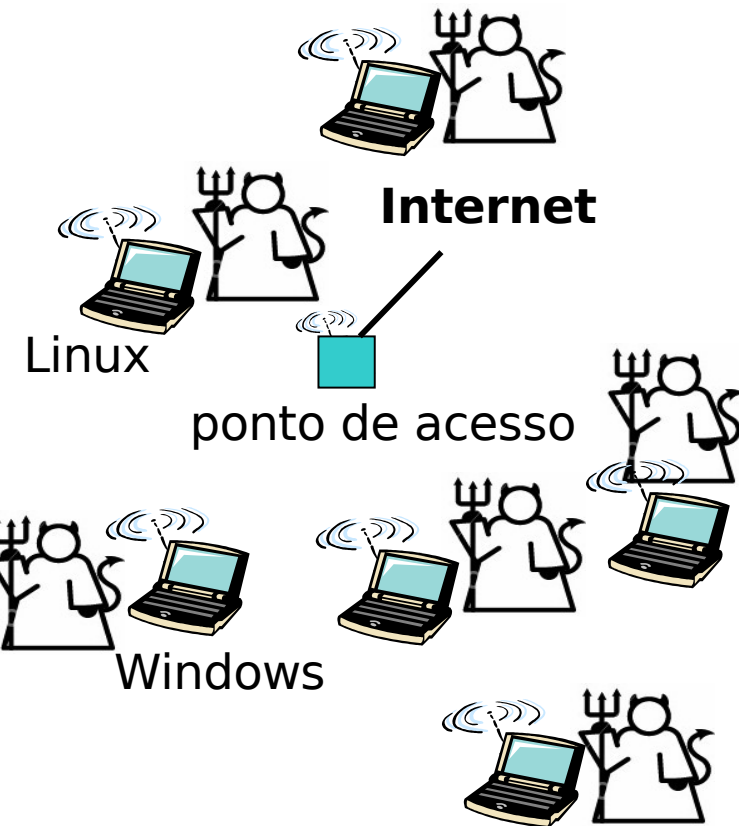


- Como ajustar seu parâmetro?

- colocar no mínimo?

- Desempenho pode ser **pior!**

- O que fazer quando temos somente diabinhos?



Teoria dos Jogos!

Roteamento

Novo paradigma

- Usuários (aplicações) decidem a rota que desejam tomar

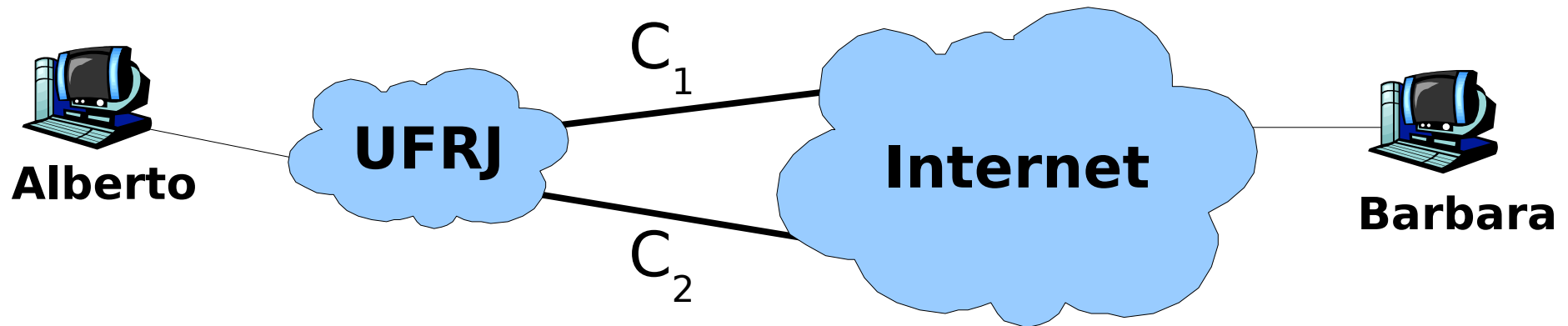
- Que rota tomar?



A melhor rota para a aplicação em questão!

Exemplo de Roteamento

- Alberto quer conversar (voz) com Barbara



- UFRJ: duas conexões com Internet
- Alberto escolhe a conexão com melhor qualidade (ex. menos perda)
 - ex. C_1 com taxa de perda alta, escolhe C_2

Mudança de Rota é Real

- Internet estabelece 1 única rota
- Usuários influenciando rotas é argumento teórico
- Seria o caos na rede... Nunca irá acontecer

Mero engano...

- Idéia simples: usar *relays* (ponto intermediário)

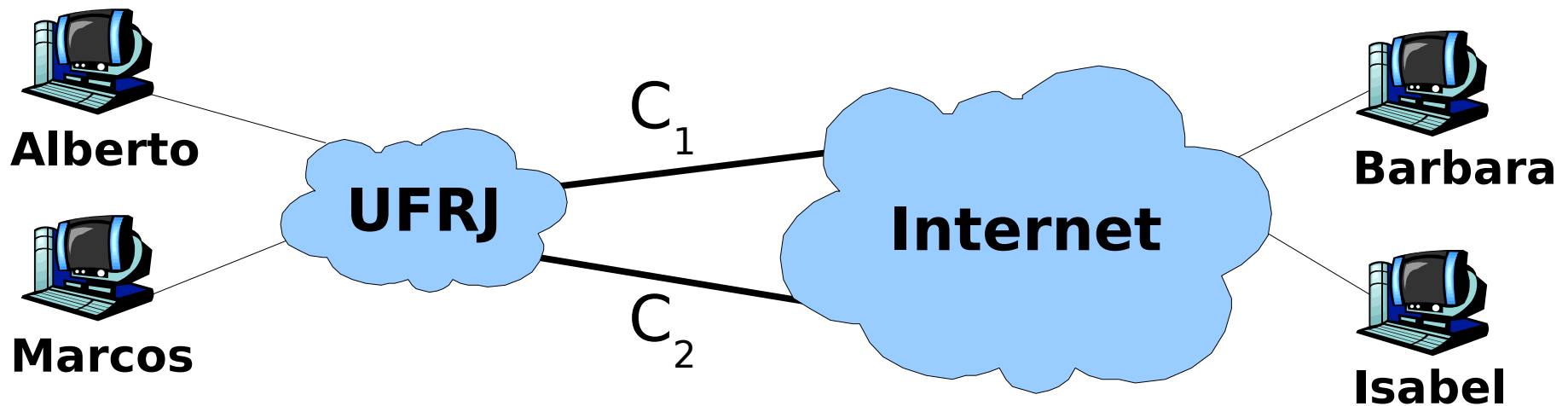


← Já faz isto hoje!



Conflito de Interesses

- Alberto quer conversar (voz) com Barbara
- Marcos quer converar (voz) com Isabel



- Ambos querem boa qualidade de voz
- Que rotas devem escolher?

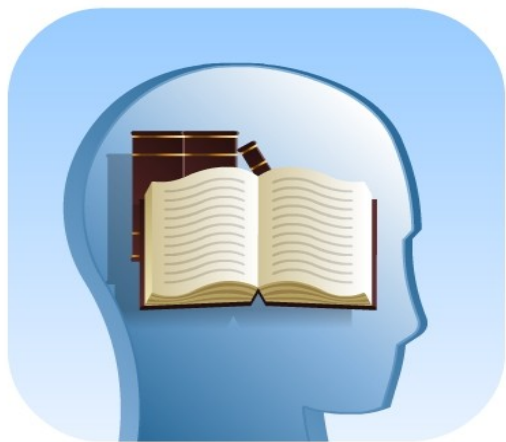
Teoria dos Jogos!

Até Agora...

- Conflito de interesses é universal
- Exemplos de conflitos na área de rede
 - Controle de congestionamento
 - Redes sem fio
 - Roteamento
- Motivação de uma teoria para entender como resolver conflitos
- **Próximo passo**
 - Introdução à Teoria dos Jogos
 - Conceitos, definições e exemplos

O que é Teoria dos Jogos?

- *Conflitos de interesse* ocorrem entre duas ou mais entidades
- indivíduos, países, empresas, etc
- jogo de tabuleiro, guerra, cliente, rede, etc.
- Como *resolver* tais situações de conflito?



■ **Teoria dos Jogos**

- Ferramental matemático para modelar e dizer como conflitos podem ser resolvidos

Aplicações de Teoria dos Jogos

- Teoria desenvolvida principalmente por matemáticos e economistas
 - com contribuição de biólogos!
- Aplicada em diversas áreas do conhecimento
 - De economia a filosofia, passando por computação e biologia!
- Objetivo em geral é modelar e compreender situações onde há conflito de interesses

Aplicações de Teoria dos Jogos em Redes de Computadores

- “Recentemente” aplicada na área de redes
 - Nagle, RFC 970, 1985
 - “datagram networks as a multi-player game”
 - artigo no volume 1 da IEEE/ACM ToN (1993)
- Maior interesse a partir de 2000
 - redes sem fio, redes overlay, sistemas P2P, etc.

Limitações da Teoria dos Jogos

- Não há solução geral para a resolução de conflitos de interesse
- Conflitos reais são complexos
 - Modelo no melhor caso captura aspectos importantes
- Jogadores são considerados “racionais”
 - Fazem o melhor para si, assumindo que todos os outros agem desta mesma forma
- Não há prescrição única
 - Jogadores não sabem o que fazer

Limitações da Teoria dos Jogos

Porém...

Teoria fornece intuição, sugestões e prescrições parciais aos jogadores!

- Melhor ferramenta disponível atualmente para avaliação criteriosa!

O que é um Jogo?

- Um *modelo* de uma situação de conflito
- Duas ou mais entidades com interesses distintos
- Jogadores: entidades em conflito
- Ações disponíveis para cada jogador
 - *Estratégias* de cada jogador
- Conjunto de estratégias tomadas definem *resultado* do jogo
- Jogadores possuem relação de preferência sobre os possíveis resultados
 - Recompensa em cada resultado

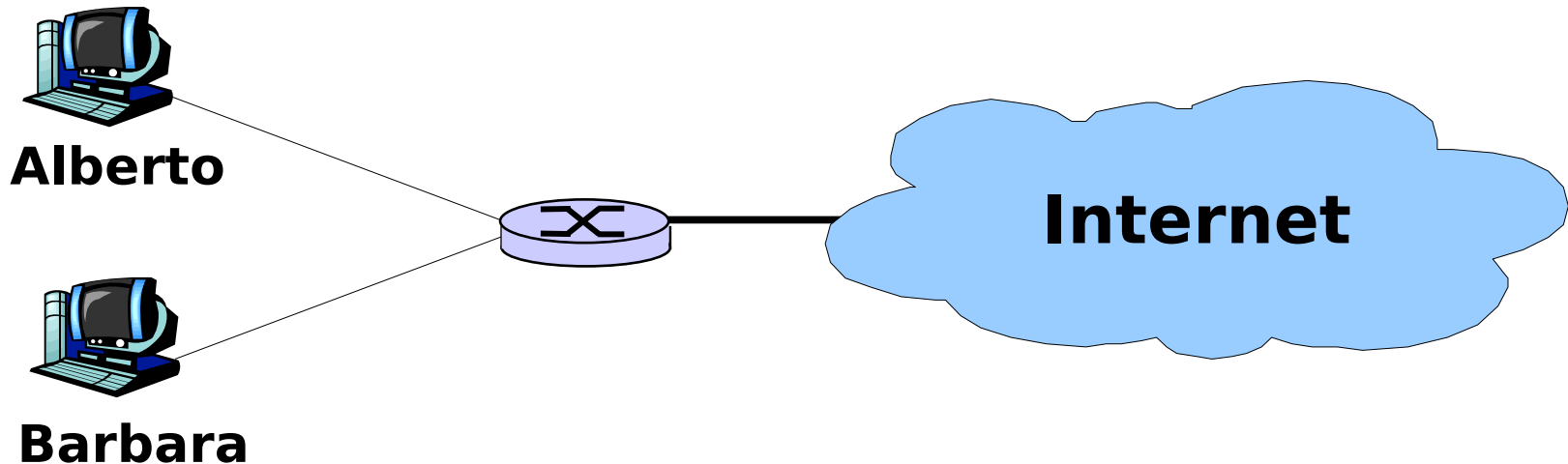
Classificação de Jogos

- Muitos tipos e variações de jogos
 - Três grande categorias
- Jogos não-cooperativos (competitivos)
 - Decisões individuais, não há acordos
- Jogos repetidos e evolucionários
 - Situações dinâmicas
- Jogos cooperativos
 - Grupo, acordos existem

Outro Curso!

Exemplo de Conflito

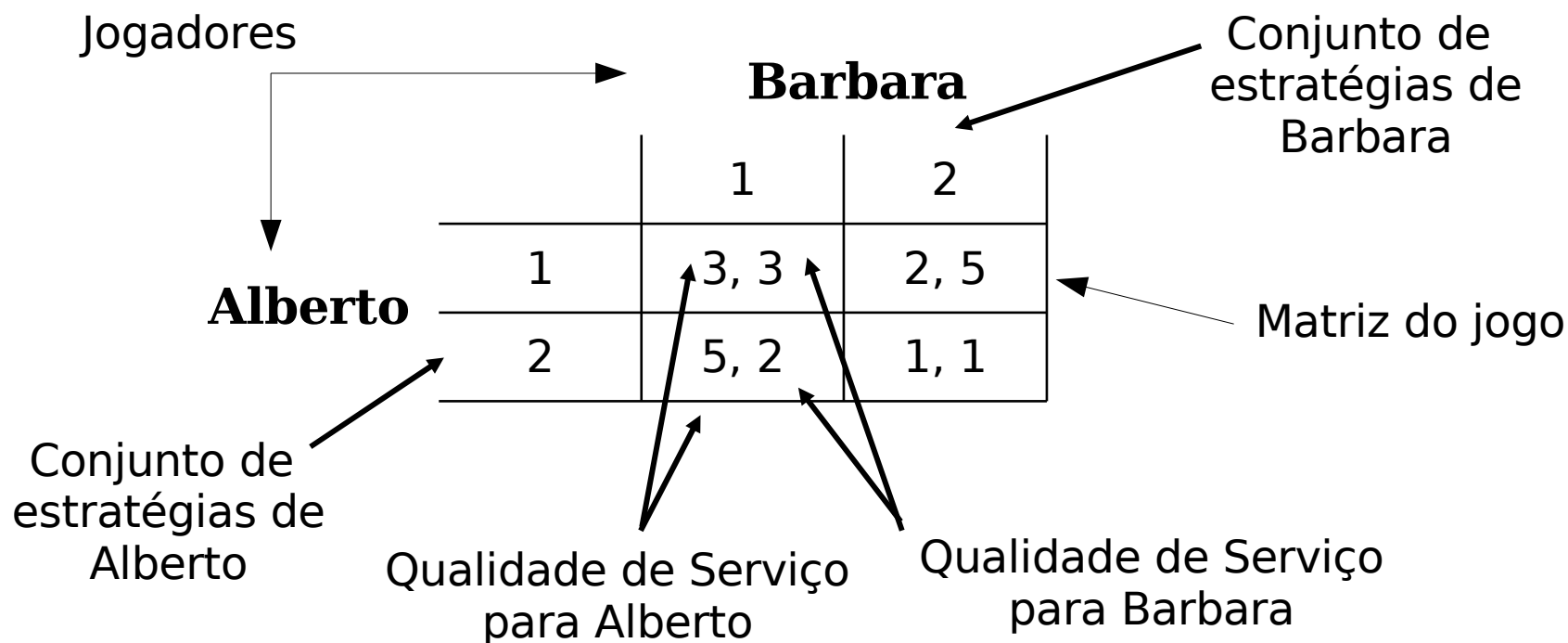
- Alberto e Barbara podem escolher abrir 1 ou 2 conexões



- Ambos desejam obter a melhor qualidade de serviço possível (ex. Throughput)
- A cada possível resultado do jogo, cada um obtém uma determinada qualidade

Modelando o Conflito

■ Como modelar este conflito?



Analizando o Conflito

- Decisão feita de forma *simultânea*
 - decisões sequenciais mais tarde
- Combinação de decisões determina resultado do jogo
- Como resolver o conflito? Quais estratégias escolher?

		Barbara	
		1	2
Alberto	1	3, 3	2, 5
	2	5, 2	1, 1

Analisando o Conflito – Alberto

- Alberto supõem Barbara irá escolher estratégia 1
O que fazer?
- Alberto escolherá estratégia 2
- Alberto supõem Barbara irá escolher estratégia 2
O que fazer?
- Alberto escolherá estratégia 1

		Barbara	
		1	2
Alberto	1	3, 3	2, 5
	2	5, 2	1, 1

Decisão de Alberto
depende da escolha
de Barbara

Analizando o Conflito – Barbara

- Barbara supõem Alberto irá escolher estratégia 1
O que fazer?
- Barbara escolherá estratégia 2
- Barbara supõem Alberto irá escolher estratégia 2
O que fazer?
- Barbara escolherá estratégia 1

Decisão de Barbara
depende da escolha
de Alberto

		Barbara	
		1	2
Alberto	1	3, 3	2, 5
	2	5, 2	1, 1

Outro Exemplo

- Considere o seguinte exemplo de jogo
 - Com recompensas diferentes do anterior

Barbara deve escolher a estratégia 1?

Alberto deve escolher a estratégia 1?

		Barbara	
		1	2
Alberto	1	3, 3	2, 4
	2	4, 2	5, 5

Estratégia estritamente pior (**dominada** pela estratégia 2)

Dominância

- Uma estratégia S ***domina estritamente*** uma estratégia T , se todo resultado quando S é escolhida é melhor do que o resultado correspondente quando T é escolhido
- **Princípio da Dominância**
 - Jogadores racionais nunca escolhem estratégias estritamente dominadas
- **Idéia:** Resolver o jogo através da eliminação de estratégias dominadas
- Eliminação iterativa

Resolvendo o Jogo

- Eliminação iterativa de estratégias dominadas

		Jogador 2		
		L	M	R
Jogador 1	T	2, 2	1, 1	4, 4
	B	3, -3	2, -2	3, -3

The table shows a 2x3 game matrix. The columns represent strategies L, M, and R for Player 2, and the rows represent strategies T and B for Player 1. The payoffs are (Player 1, Player 2). A red horizontal line is drawn through the T row, and two red vertical lines are drawn through the L and R columns. The cell (B, M) with payoff (2, -2) is highlighted in green.

- Jogador 1 não pode remover nenhuma estratégia (nem T ou B dominam a outra)
- Jogador 2 pode remover estratégia R (dominada por M)
- Jogador 1 pode remover estratégia T (dominada por B)
- Jogador 2 pode remover estratégia L (dominada por M)
- **Solução:** J1 -> B, J2 -> M

Outro Exemplo

- Eliminação de estratégias dominadas pode não funcionar
- Considere o jogo

		Barbara		
		1	2	3
Alberto	1	3, 3	4, 2	2, 6
	2	4, 2	5, 5	3, 1
	3	6, 2	1, 3	2, 2

- Nenhum jogador possui estratégias dominadas
- Precisamos de outro conceito de solução

Analisando o Jogo

O que A deve fazer se B escolher 1?

O que A deve fazer se B escolher 2?

Barbara

Alberto

O que B deve fazer se A escolher 2?

	1	2	3
1	3, 2	4, 3	2, 1
2	4, 2	5, 5	3, 1
3	3, 2	1, 3	2, 2

Estratégias (2, 2)

parece estável!

- Nenhum jogador deseja mudar sua estratégia
- **Ponto de sela** do jogo

Pontos de Sela

- Um resultado é um ponto de sela do jogo se nenhum jogador pode aumentar sua recompensa mudando isoladamente sua estratégia
- **Princípio do Ponto de Sela**
 - jogadores racionais devem sempre escolher estratégias que levem a pontos de sela
- Porque jogar pontos de sela?
 - maximiza a recompensa mínima
 - convergência da linha de raciocínio

Diagrama de Movimento

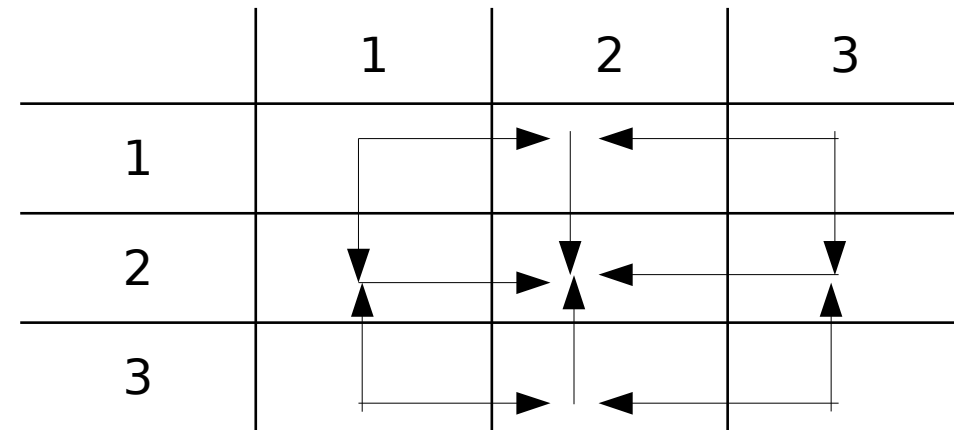
- Preferência de movimento dado a estratégia do outro jogador
 - *Melhor resposta* a decisão do outro
 - Se Alberto escolher x , o que Barbara deve fazer?
- Exemplo anterior

		Barbara	
		1	2
Alberto	1	3, 3	2, 5
	2	5, 2	1, 1

Diagrama de Movimento

■ Outro exemplo

	1	2	3
1	3, 2	4, 2	2, 1
2	4, 2	5, 5	3, 1
3	3, 2	1, 3	2, 2



- Ponto de sela é **sumidouro** (não há movimento para fora)
- Caminhos podem levar a um ponto de sela
 - Ocorre no exemplo acima, mas nem sempre
- Forma de encontrar pontos de sela

Equilíbrio de Nash

- Um dos conceitos mais importantes de Teoria dos Jogos
 - Mas você já conhece!
- Equilíbrio de Nash é equivalente ao ponto de sela
 - Equivalência das definições
- **Def:** Um resultado é um **equilíbrio de Nash** se nenhum jogador pode unilateralmente mudar de estratégia e aumentar sua recompensa

John Nash

- Ponto de sela recebe o no do matemático John Nash
- Homenagem por suas várias contribuições a área de Teoria dos Jogos
- Provou (em 1950) que todo jogo possui ao menos um ponto de sela em estratégias puras ou mistas
 - prova relativamente simples, utiliza teorema de ponto fixo
- Prêmio Nobel em Economia em 1994
- *Uma Mente Brilhante* – Filme de sua biografia em 2001



John Nash (1928-)