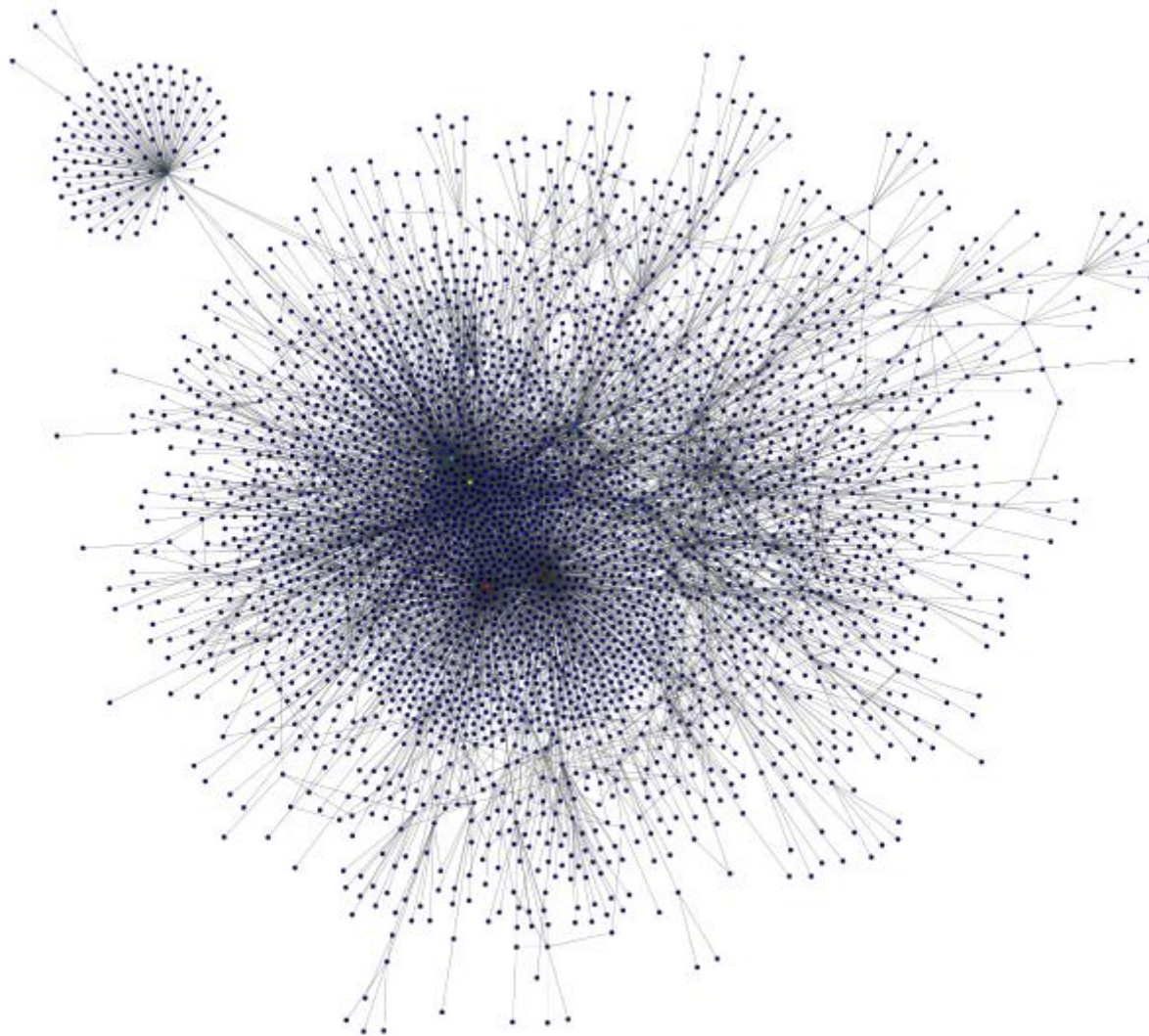


# ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE RANQUEAMENTO DE GRAU NA REDE DE SISTEMAS AUTÔNOMOS DA INTERNET

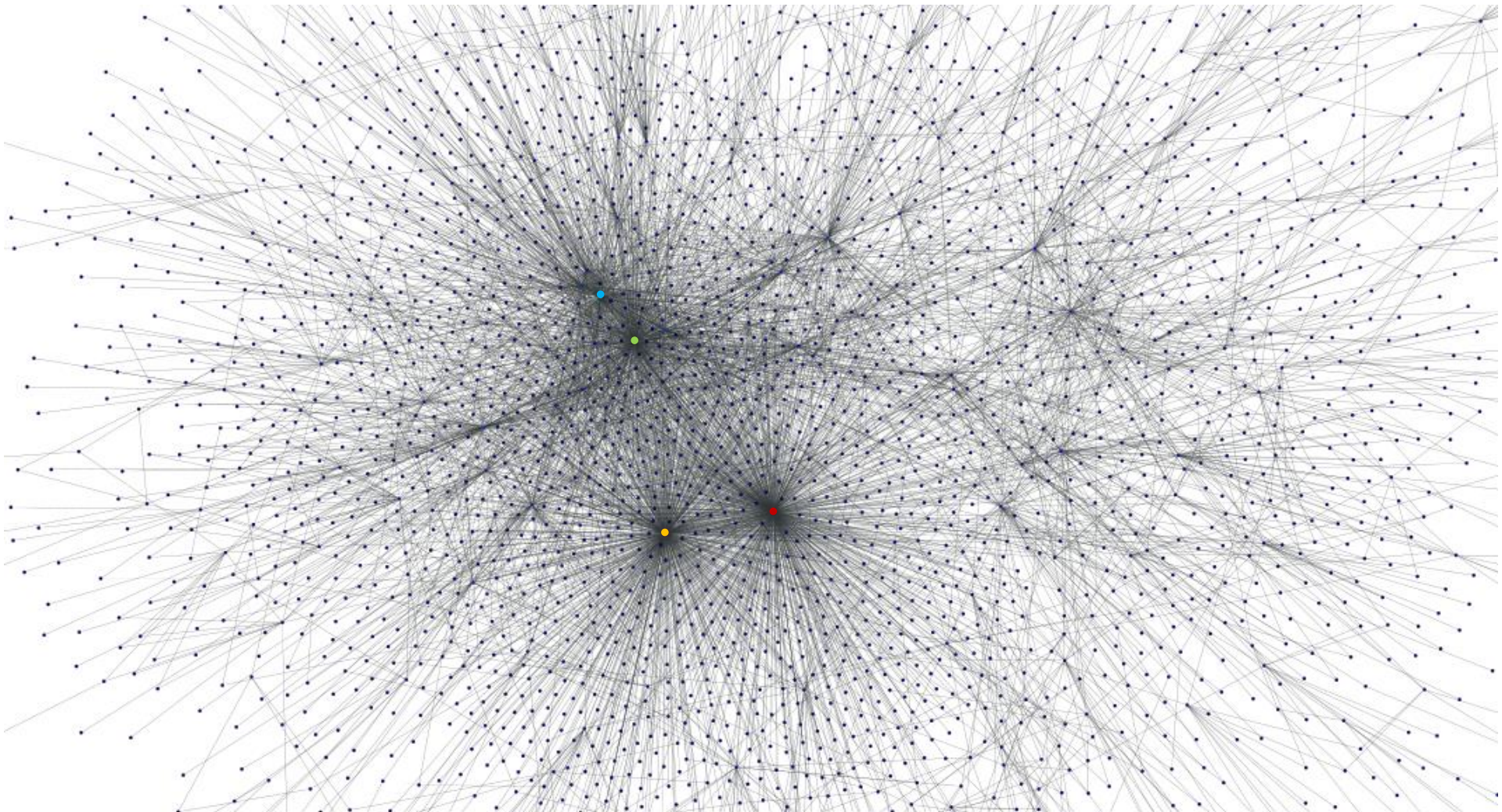
Fernando F. Machado  
Daniel R. Figueiredo  
Miguel Elias M. Campista

SBRC 2016  
Maio de 2016

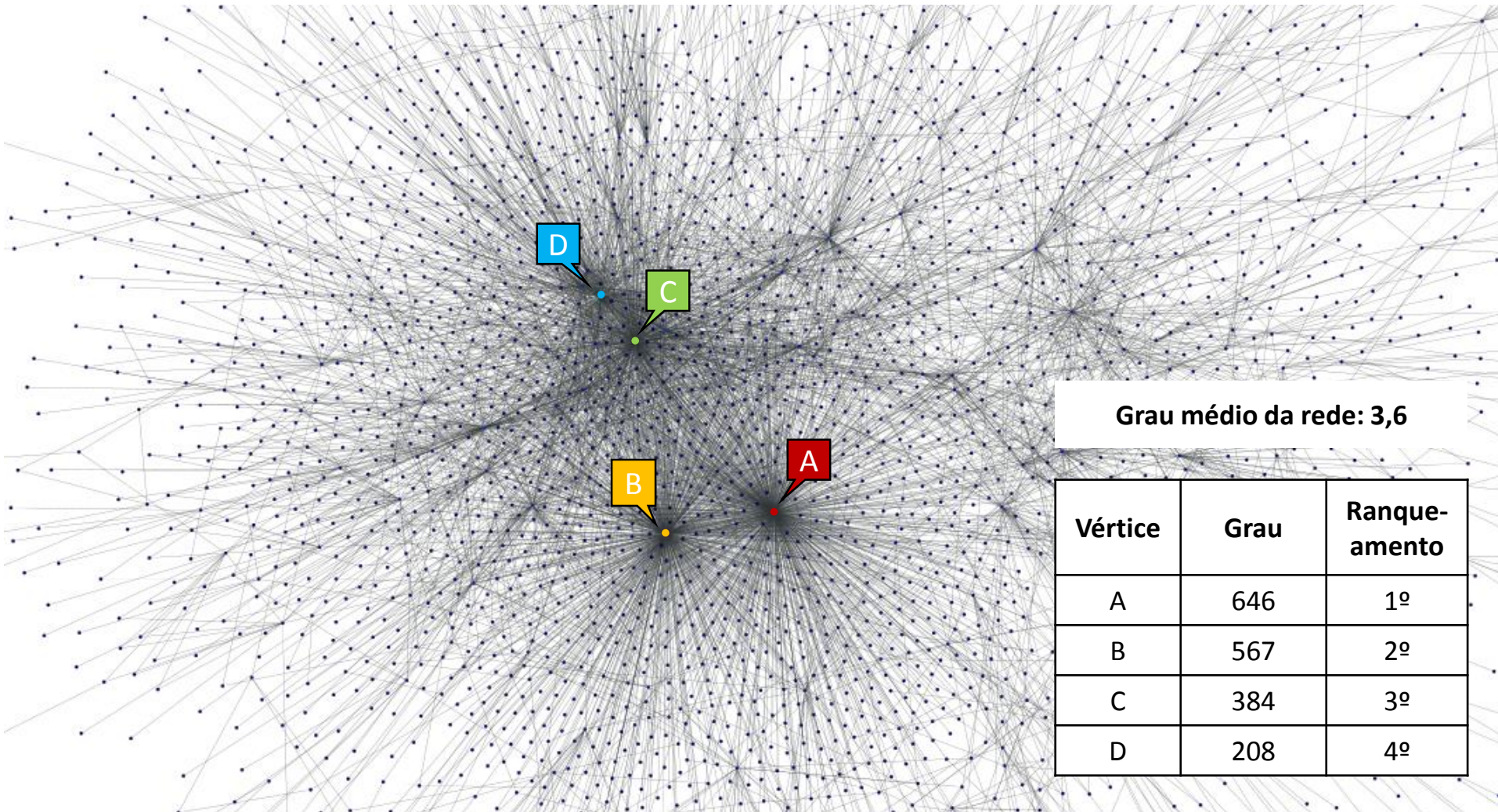
# Rede de Sistemas Autônomos (Janeiro de 1998)



# Rede de Sistemas Autônomos (Janeiro de 1998)

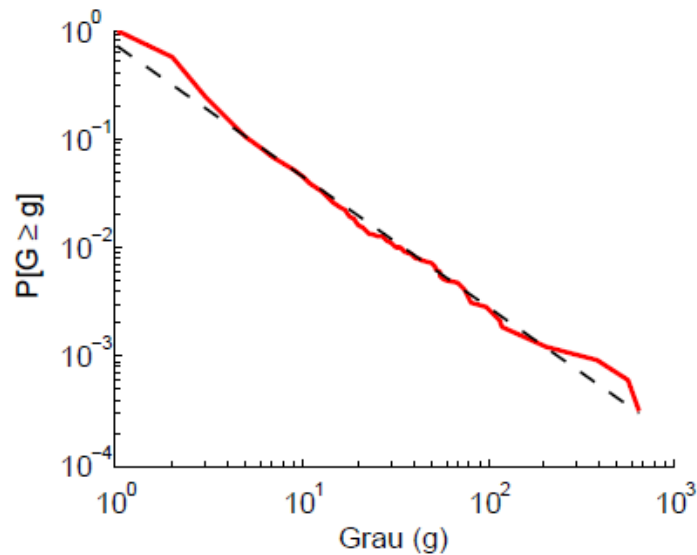


# Rede de Sistemas Autônomos (Janeiro de 1998)



# Redes Livre de Escala

- Distribuição de grau próxima a uma lei de potência no formato  $P(k) \sim k^{-\gamma}$  com  $\gamma > 1$
- Rede de sistemas autônomos em 1998
  - Distribuição próxima a uma lei de potência de  $\gamma = 2,2$



# Ranqueamento de Grau

- Vértices de alto grau têm grande importância em redes livre de escala
  - Mantêm a rede conectada
  - Reduzem as distâncias
- Ranqueamento de grau indica os vértices mais importantes
  - Outros exemplos
    - Quantidade de seguidores no Twitter
    - Quantidade de citações recebidas por artigos científicos

# Evolução da Rede

- Rede sofre alterações com a adição e remoção de arestas e vértices ao longo do tempo
- Distribuição de grau livre de escala tende a se manter com pouca variação
- Evolução da rede pode causar mudanças no ranqueamento
  - Quanto estável é o ranqueamento de grau?
  - Quais os fatores que afetam a estabilidade desse ranqueamento?
  - É possível prever o ranqueamento no futuro?

# Vértices Superestáveis



- Proposto por Ghoshal e Barabási, 2011
- Posições do topo do ranqueamento de grau com elevada estabilidade temporal
- Apenas em redes livre de escala
- Fórmula proposta calcula quantidade aproximada a partir de uma foto instantânea da rede

# Dinâmica do Ranqueamento em Sistemas Complexos



- Proposto por Blumm et al., 2012
- $x_i(t)$  → Valor relativo da qualidade do indivíduo  $i$  no instante  $t$  de modo que  $\sum_i x_i(t) = 1$ 
  - Exemplo em uma rede com arestas não-direcionadas

	<b><math>t = 1</math></b>		<b><math>t = 2</math></b>	
	<b>Grau</b>	<b><math>x_i(t)</math></b>	<b>Grau</b>	<b><math>x_i(t)</math></b>
<b>v1</b>	1	0,5	1	0,25
<b>v2</b>	1	0,5	2	0,5
<b>v3</b>	-	-	1	0,25
<b>Soma</b>	2	1	4	1

# Ruído



- Dinâmica dos sistemas complexos é afetada por um ruído de amplitude

$$g(x_i) = Bx_i^\beta$$

- Dispersão das variações de  $x$  define coeficientes de  $g(x_i)$

$$\sigma_{\Delta x|x} \sim Bx^\beta$$

- Dinâmica dos sistemas complexos é afetada por um ruído de amplitude

$$g(x_i) = Bx_i^\beta$$

- Dispersão das variações de  $x$  define coeficientes de  $g(x_i)$

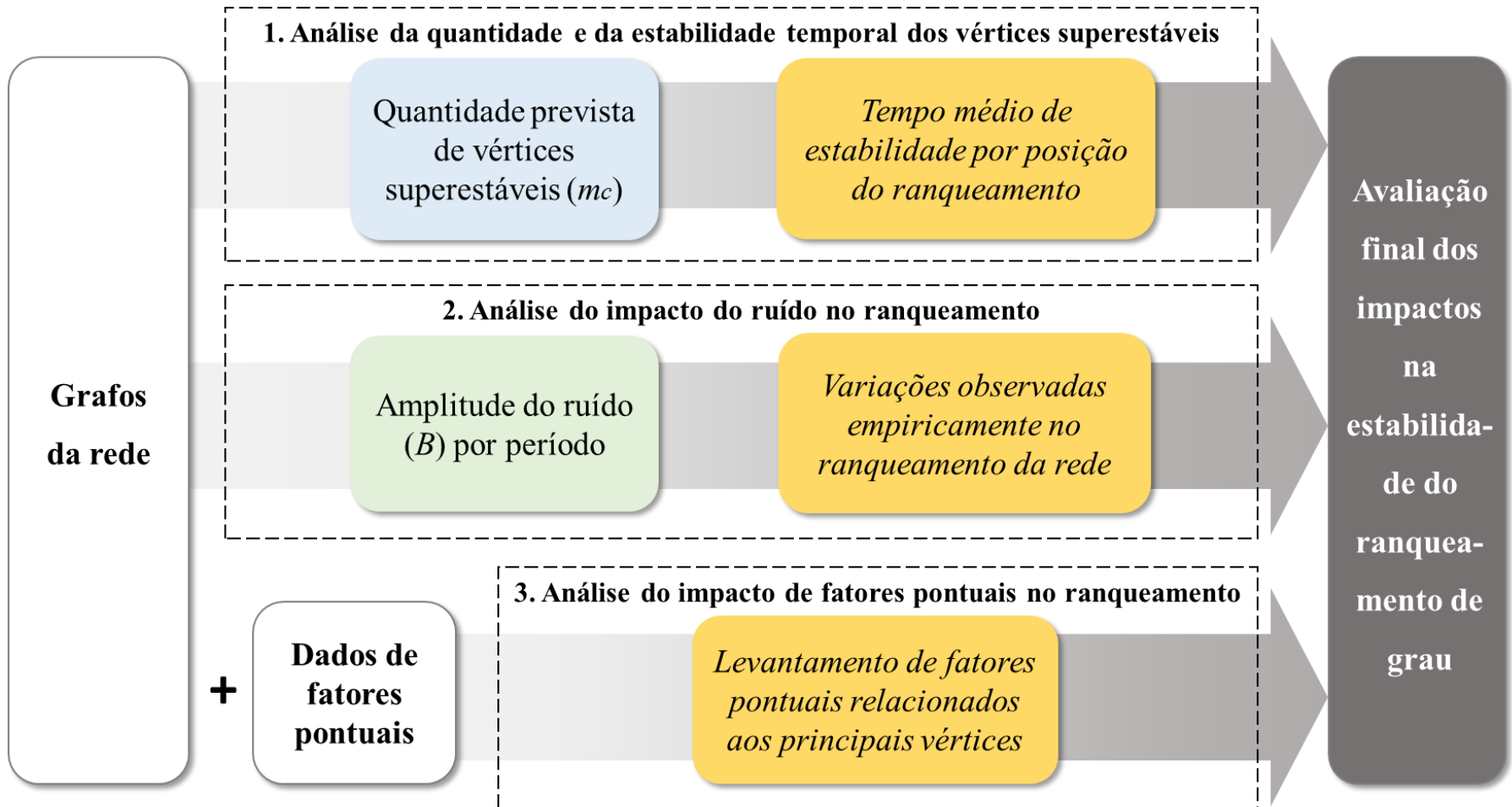
$$\sigma_{\Delta x|x} \sim Bx^\beta$$

- Ranqueamento estável  $\rightarrow$  coeficiente  $B \sim 10^{-3}$
- Ranqueamento instável  $\rightarrow$  coeficiente  $B \sim 10^{-2}$  ou  $10^{-1}$

# Contribuição

- Aplicação na rede de sistemas autônomos da Internet
- Questões não aprofundadas nos trabalhos anteriores
  - Medida do tempo de estabilidade
  - Influência de fatores externos à estrutura da rede → fatores pontuais

# Metodologia da Análise



## Legenda:



Técnica proposta em [Ghoshal e Barabási, 2011]



Técnica proposta em [Blumm et al., 2012]



*Análise empírica acrescentada neste trabalho*

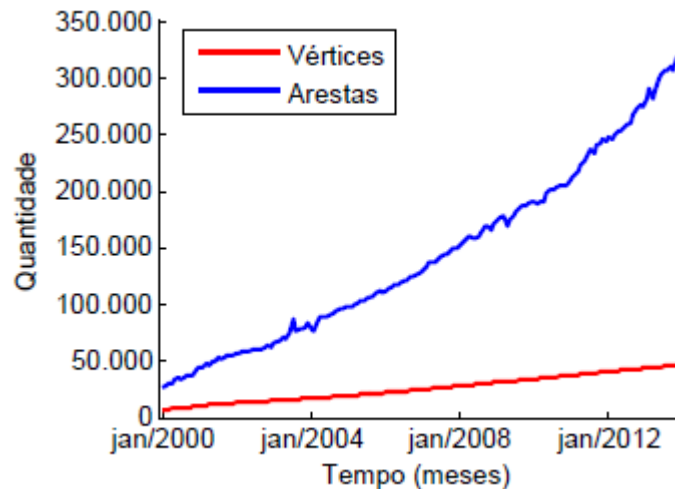
# Conjunto de Dados

- Disponibilizado pelo CAIDA (*Center for Applied Internet Data Analysis*)
  - Inferidos mensalmente a partir das tabelas do BGP
- Modelados como grafos
  - Sistemas autônomos → Vértices
  - Conexões lógicas → Arestas não direcionadas

# Caracterização da Rede de Sistemas Autônomos



- Maior período contínuo disponível é de janeiro de 2000 a novembro de 2013

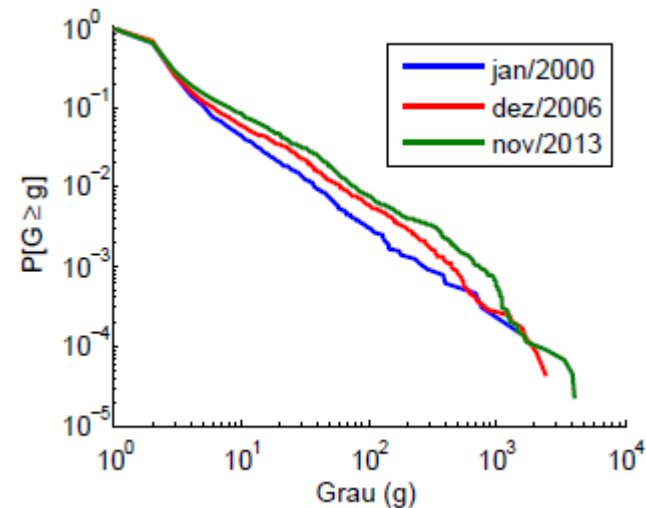
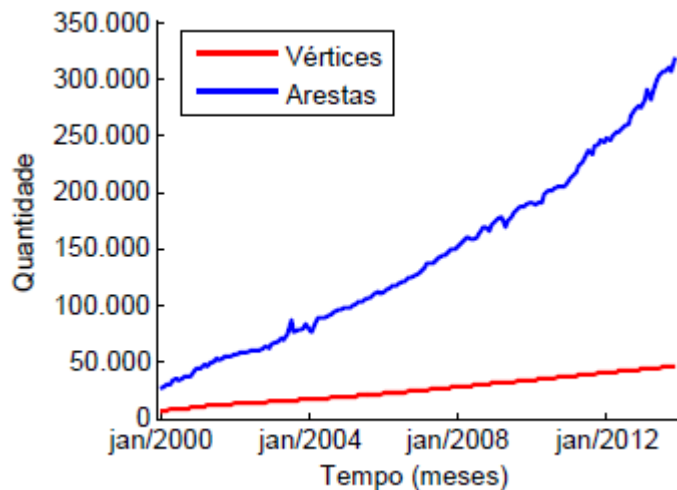


- Rede cresce mais de 5 vezes em vértices e mais de 10 vezes em arestas

# Caracterização da Rede de Sistemas Autônomos

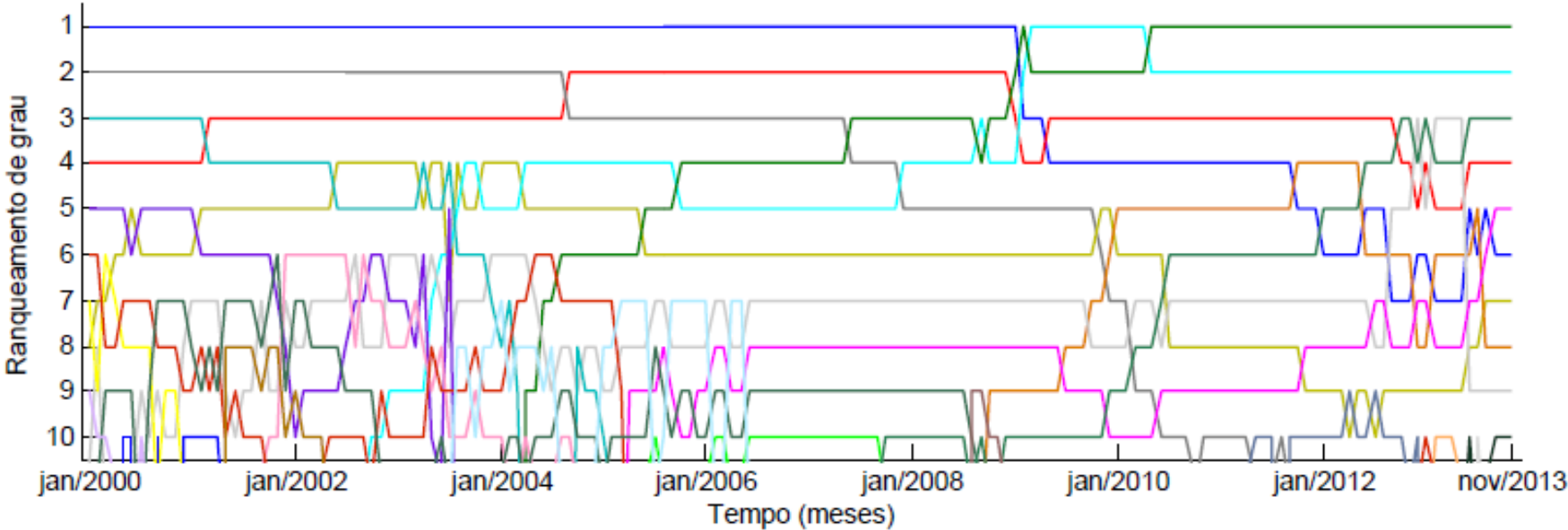


- Maior período contínuo disponível é de janeiro de 2000 a novembro de 2013

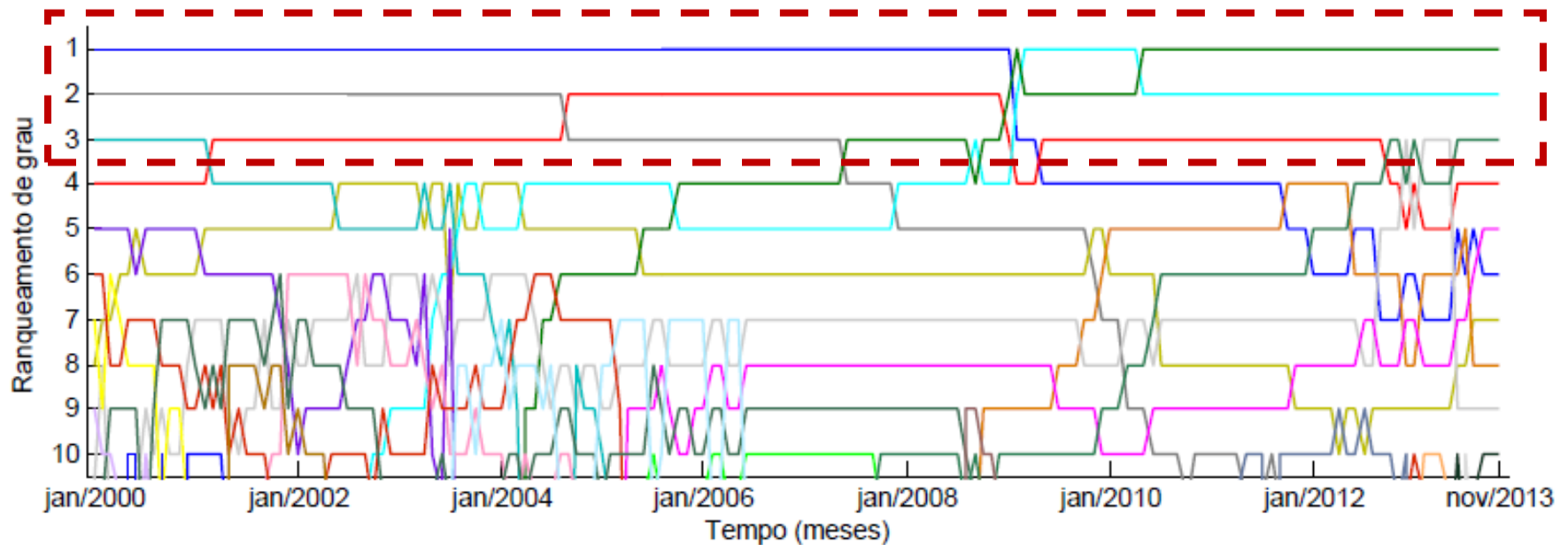


- Rede cresce mais de 5 vezes em vértices e mais de 10 vezes em arestas
  - Distribuição de grau livre de escala apresenta pouca variação

# Evolução do Ranqueamento de Grau



# Evolução do Ranqueamento de Grau



- Maior estabilidade nas primeiras posições do ranqueamento

# Vértices Superestáveis na Rede de Sistemas Autônomos



<b>Rede</b>	<b>Tamanho <i>N</i> da rede</b>	<b><math>\gamma</math> aproxi- mado</b>	<b>Vértices super- estáveis</b>	<b>Grau médio</b>	<b>Maior grau</b>
ago/2000	8.284	2,4	2	4,2	1852
ago/2003	15.821	2,3	2	4,8	2446
ago/2006	23.102	2,3	2	5,2	2407
ago/2009	32.265	2,3	2	5,7	2487
ago/2013	45.067	2,2	2	6,8	4042

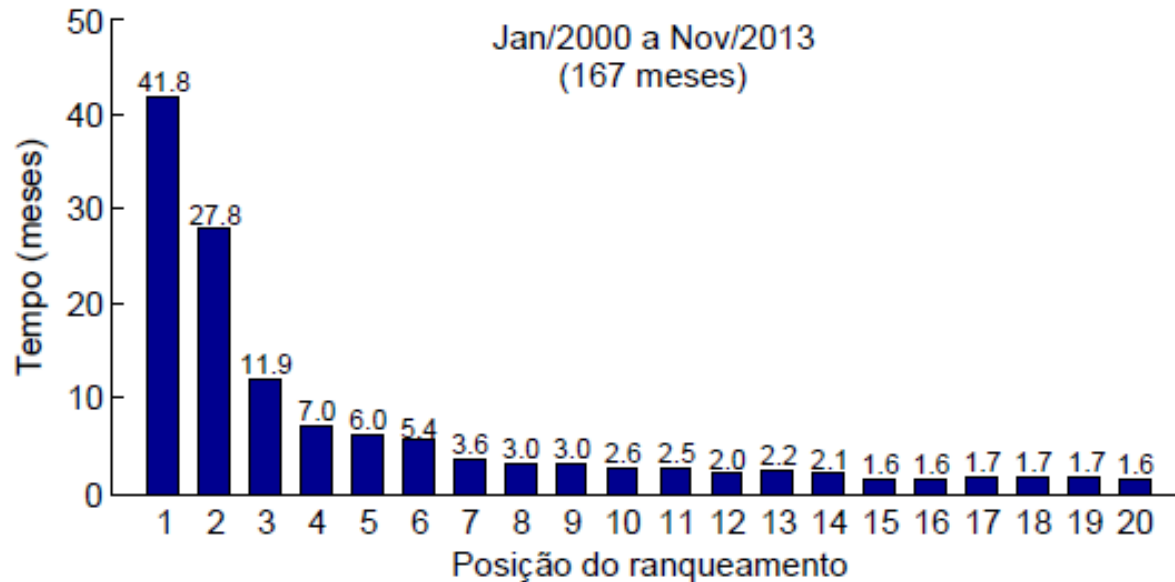
# Vértices Superestáveis na Rede de Sistemas Autônomos



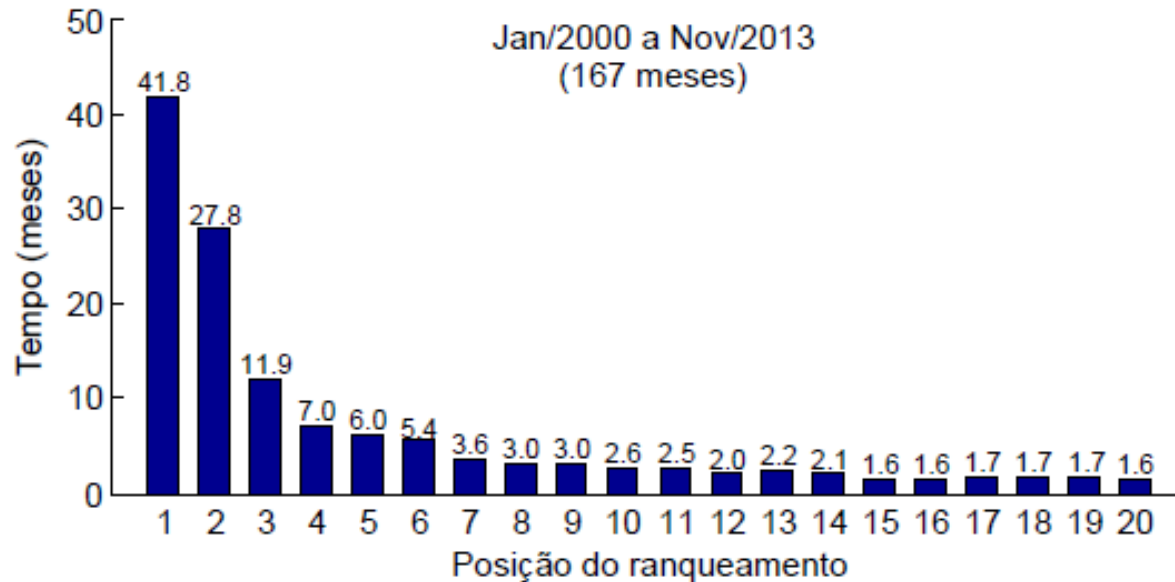
Rede	Tamanho $N$ da rede	$\gamma$ aproximado	Vértices superestáveis	Grau médio	Maior grau
ago/2000	8.284	2,4	2	4,2	1852
ago/2003	15.821	2,3	2	4,8	2446
ago/2006	23.102	2,3	2	5,2	2407
ago/2009	32.265	2,3	2	5,7	2487
ago/2013	45.067	2,2	2	6,8	4042

- Quantidade de vértices superestáveis se mantém apesar do crescimento da rede

# Tempo Médio de Estabilidade na Rede de Sistemas Autônomos

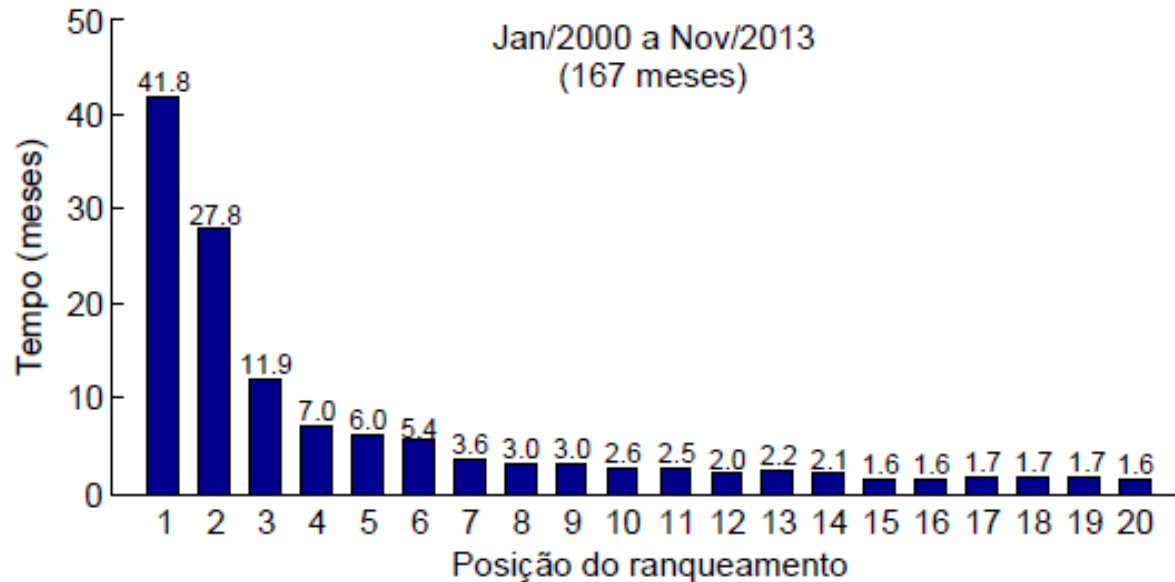


# Tempo Médio de Estabilidade na Rede de Sistemas Autônomos



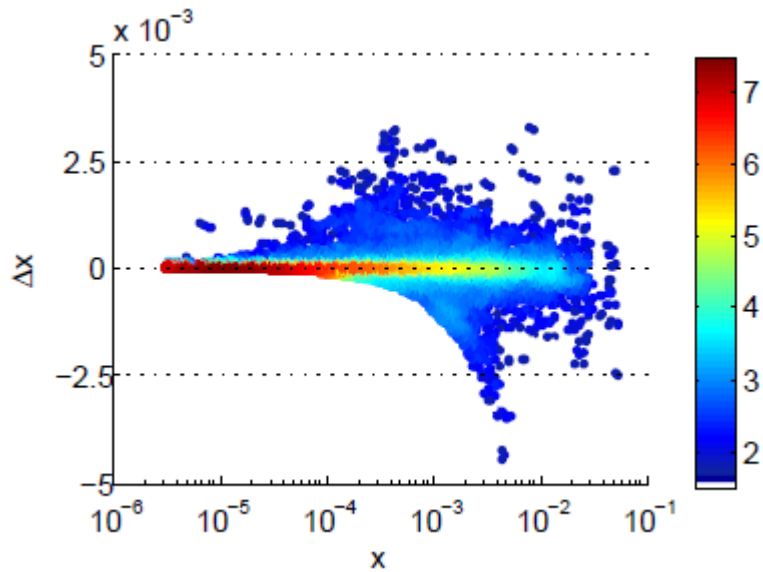
- 2 posições com alta estabilidade (25% e 17% do tempo total)

# Tempo Médio de Estabilidade na Rede de Sistemas Autônomos

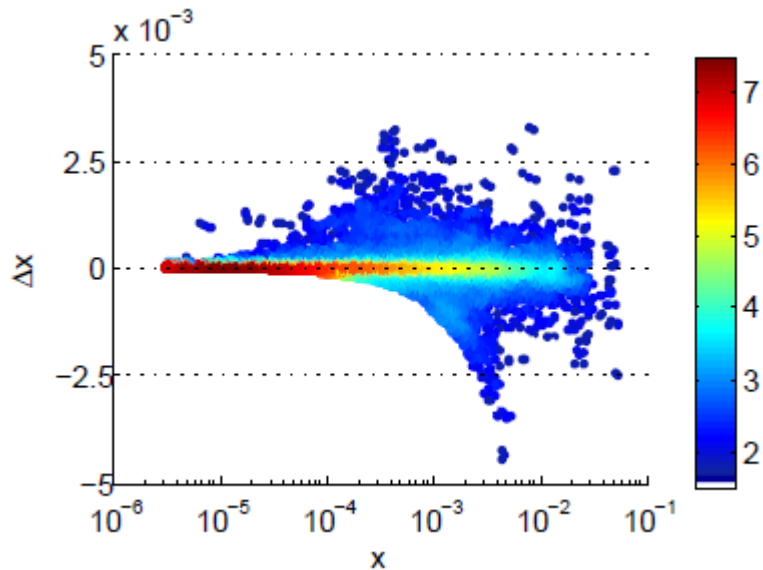


- 2 posições com alta estabilidade (25% e 17% do tempo total)
- Estabilidade diminui gradualmente com distância do topo

# Variações do Grau Relativo na Rede de Sistemas Autônomos

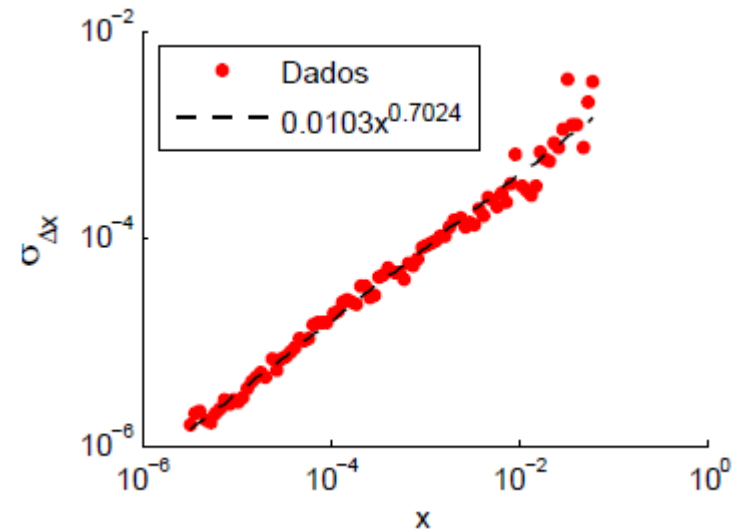
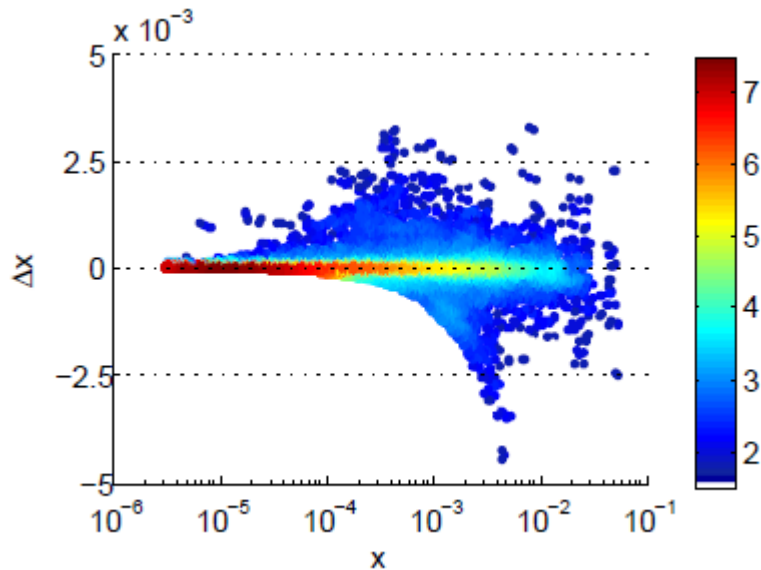


# Variações do Grau Relativo na Rede de Sistemas Autônomos



- Assimetria em torno de  $\Delta x = 0$  indica instabilidade no ranqueamento

# Variações do Grau Relativo na Rede de Sistemas Autônomos



- Assimetria em torno de  $\Delta x = 0$  indica instabilidade no ranqueamento
- $B = 1,03 \times 10^{-2}$

# Ruído na Rede de Sistemas Autônomos



Período	Coefficiente <i>B</i> da amplitude do ruído	% média de arestas adicionadas por mês	% média de arestas removidas	Alterações na 1ª posição do ranqueamento	Alterações na 2ª posição do ranqueamento
2000	0,017	11,4%	6,8%		
2001	0,009	9,5%	7,5%		
2002	0,006	7,2%	6,3%		
2003	0,020	8,3%	6,0%		
2004	0,008	6,5%	5,2%		1
2005	0,004	5,4%	4,3%		
2006	0,002	5,1%	3,9%		
2007	0,003	5,2%	3,9%		
2008	0,004	5,9%	4,9%		
2009	0,006	5,3%	4,4%	2	3
2010	0,003	4,6%	4,0%	1	1
2011	0,003	5,0%	3,6%		
2012	0,004	5,2%	4,3%		
2013	0,005	6,0%	4,8%		

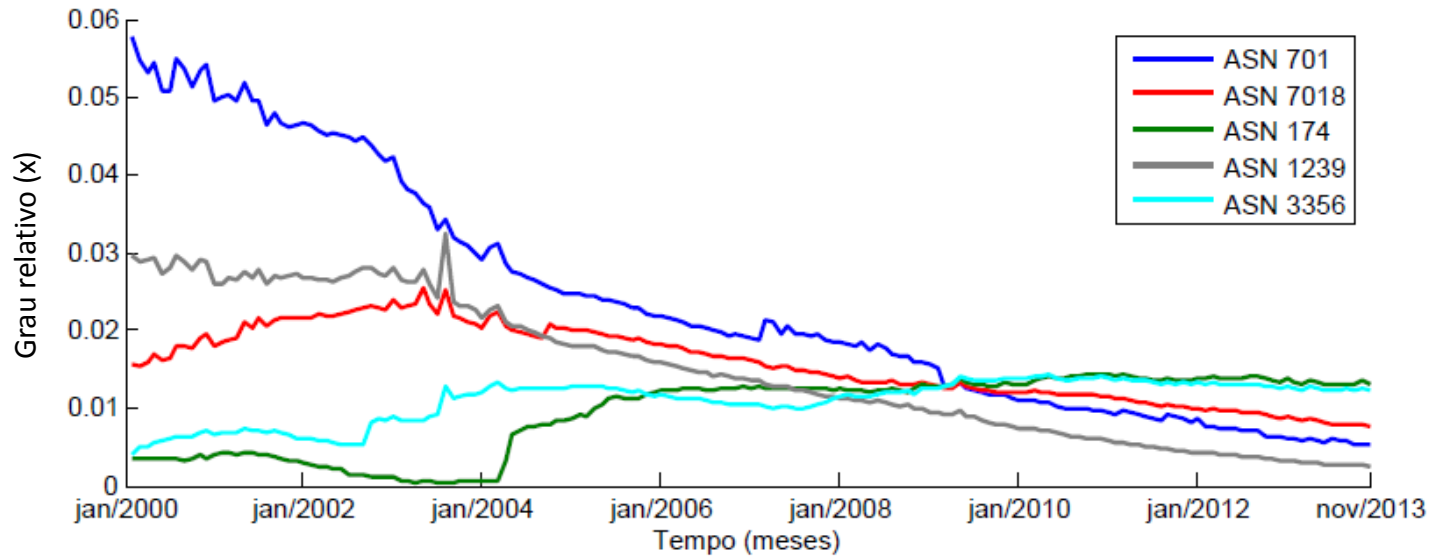
# Ruído na Rede de Sistemas Autônomos



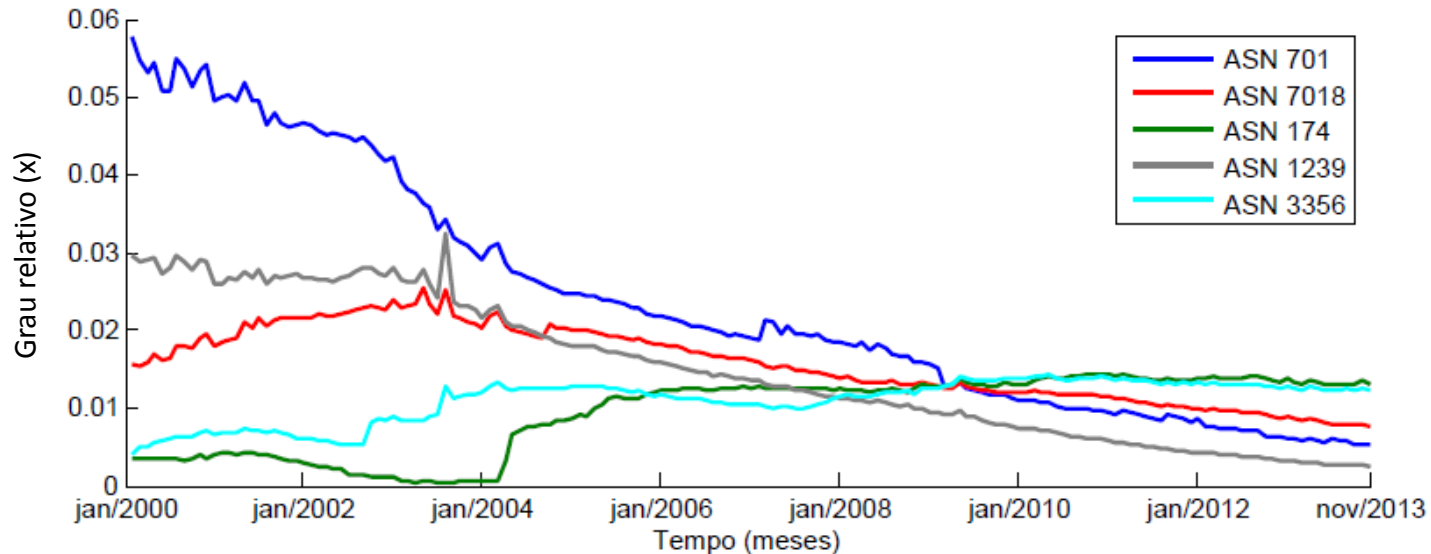
Período	Coefficiente $B$ da amplitude do ruído	% média de arestas adicionadas por mês	% média de arestas removidas	Alterações na 1ª posição do ranqueamento	Alterações na 2ª posição do ranqueamento
2000	0,017	11,4%	6,8%		
2001	0,009	9,5%	7,5%		
2002	0,006	7,2%	6,3%		
2003	0,020	8,3%	6,0%		
2004	0,008	6,5%	5,2%		1
2005	0,004	5,4%	4,3%		
2006	0,002	5,1%	3,9%		
2007	0,003	5,2%	3,9%		
2008	0,004	5,9%	4,9%		
2009	0,006	5,3%	4,4%	2	3
2010	0,003	4,6%	4,0%	1	1
2011	0,003	5,0%	3,6%		
2012	0,004	5,2%	4,3%		
2013	0,005	6,0%	4,8%		

- Não há correlação da variação de  $B$  com alterações nas primeiras posições

# Evolução do Grau Relativo dos Principais Sistemas Autônomos

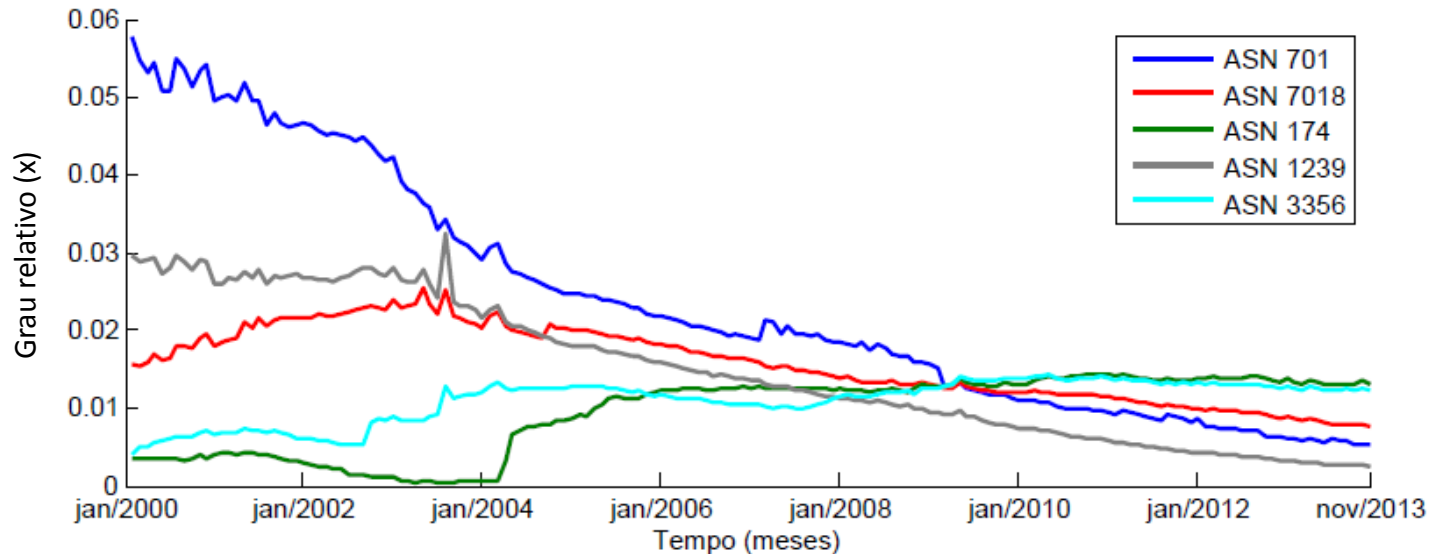


# Evolução do Grau Relativo dos Principais Sistemas Autônomos



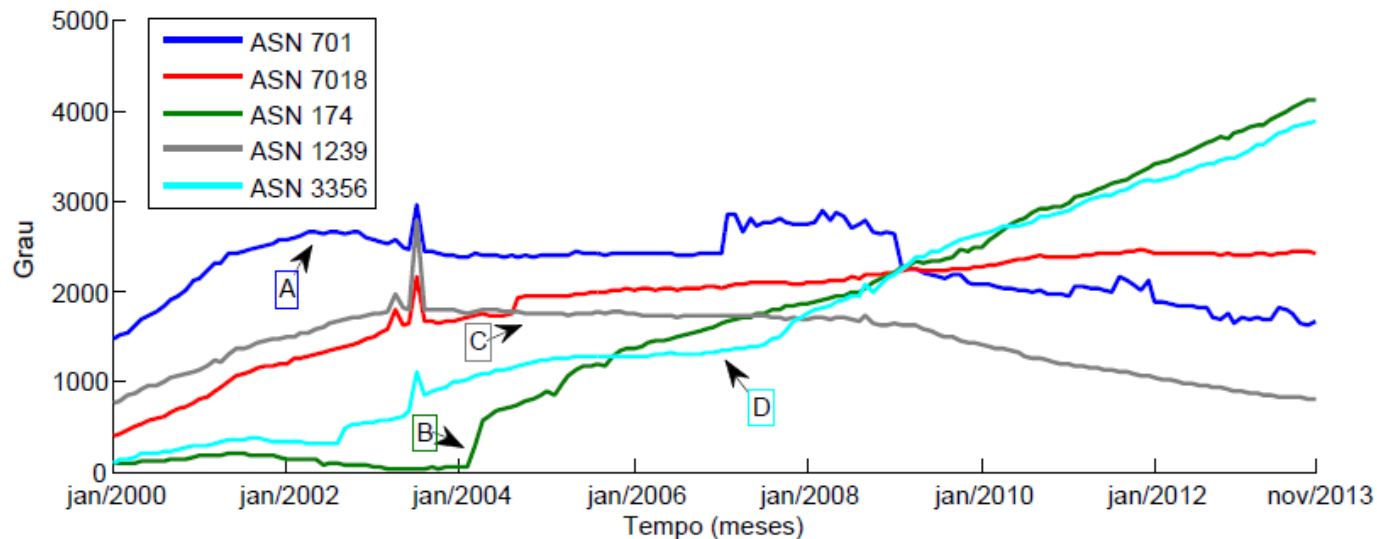
- Amplitude do ruído é maior entre 2000 e 2002 e em 2003

# Evolução do Grau Relativo dos Principais Sistemas Autônomos



- Amplitude do ruído é maior entre 2000 e 2002 e em 2003
- Ruído não é o fator determinante nas trocas de posição no topo do ranqueamento

# Fatores Pontuais na Rede de Sistemas Autônomos



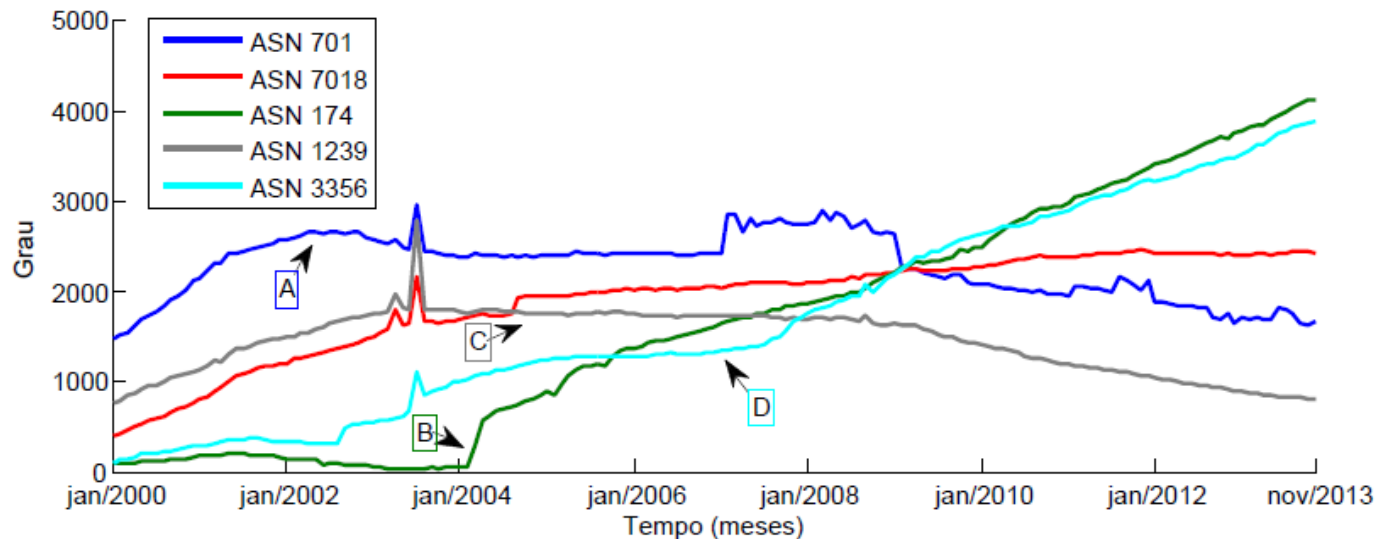
A - ASN 701 (MCI/WorldCom) entrou em concordata

B - Expansão do ASN 174 (Cogent) para a Europa

C - Fusão problemática da companhia detentora do ASN 1239 (Sprint)

D - ASN 3356 (Level 3) adquiriu diversas concorrentes

# Fatores Pontuais na Rede de Sistemas Autônomos



A - ASN 701 (MCI/WorldCom) entrou em concordata

B - Expansão do ASN 174 (Cogent) para a Europa

C - Fusão problemática da companhia detentora do ASN 1239 (Sprint)

D - ASN 3356 (Level 3) adquiriu diversas concorrentes

- Fatores pontuais foram determinantes nas trocas ocorridas no topo do ranqueamento

# Previsão da Estabilidade na Rede de Sistemas Autônomos



- As duas primeiras posições tendem a se manter estáveis
  - Fatores pontuais podem alterar a aptidão
- Mesmos vértices ocupam as duas primeiras posições do ranqueamento de nov/2014 e nov/2015

Ranqueamento de grau	Nov/2013		Nov/2014		Nov/2015	
	ASN	Grau	ASN	Grau	ASN	Grau
1º	174	4137	174	4306	174	4765
2º	3356	3897	3356	3990	3356	4284
3º	6939	3408	6939	3598	6939	4270
4º	7018	2433	3549	3573	3549	3560
5º	4323	1710	7018	2340	24482	2694

# Conclusões



- Vértices superestáveis
  - Equação estimou corretamente as posições com elevado tempo médio de estabilidade
- Ruído
  - Não foi determinante nas variações das primeiras posições
- Fatores pontuais
  - Causam mudanças na aptidão dos vértices
    - Aptidão relativa dos principais vértices é determinante nas primeiras posições do ranqueamento

# Trabalhos Futuros



- Aplicar metodologia de análise a outras redes de livre de escala
- Usar resultados para aprimorar modelo matemático de geração da rede de sistemas autônomos

Obrigado!

ffraga@gta.ufrj.br  
daniel@cos.ufrj.br  
miguel@gta.ufrj.br