

# CONECTIVIDADE E TRANSMISSÃO DE VOLATILIDADE EM COMMODITIES METÁLICAS E ENERGÉTICAS: 1998-2018

---

Mathias Schneid Tessmann<sup>1</sup>

Marcelo de Oliveira Passos<sup>2</sup>

Luiz Augusto Magalhães<sup>3</sup>

Régis Augusto Ely<sup>4</sup>

Os mercados futuros de *commodities* metálicas e energéticas são mais independentes do que hipóteses apressadas podem sugerir. Para compreender a correlação entre tais mercados é preciso mais do que a composição físico-químicas para determinar o quanto a variação de preços, por exemplo do ouro, implica na variação dos preços da platina, ou variações no preço do cobre afetam os preços do alumínio. Quando medimos a conectividade entre os mercados através de um índice de *spillover* e quando visualizamos através de uma rede de transmissão de volatilidade, encontramos que, dentre as 12 *commodities* estudadas e suas possíveis inter-relações, apenas as relações entre petróleo e níquel e entre ouro e prata podem ser consideradas de alta conectividade. As demais encontram-se agrupadas em conectividade fraca e intermediária.

A importância desse achado para o entendimento dos mercados futuros não pode ser subestimada. Ao concluir que agrupar mercadorias através de suas composições físico-químicas não garante alta conectividade de seus respectivos mercados, podemos inferir que podem existir características idiossincráticas de oferta e demanda desses produtos que impedem que eles sejam utilizados como substitutos e/ou complementares entre si, de forma que seus mercados possuem formações de preços distintas. Deste modo, cabe salientar que para conhecer o preço de cada *commodity* é necessário analisar cada mercado de forma mais aprofundada e detalhada do que se pode pensar intuitivamente em efeitos transbordamento.

Ainda, é possível afirmar que as implicações dessa análise reverberam para além da questão de descoberta de preços. A organização dos produtos de um mesmo setor, baseadas em características físico-químicas do produto é uma das ferramentas comumente usadas na análise de investimentos e composição de *portfolio* para agentes que atuam no mercado financeiro. Os objetivos de realizar tal agregação são o de conhecer o grau de diversificação do *portfolio* de forma a adequar a demanda por ativos financeiros ao perfil de risco e à preferência de consumo intertemporal do investidor, e o de tentar mensurar o retorno

---

<sup>1</sup> Doutorando em Economia com ênfase em Finanças pela Universidade Católica de Brasília, Mestre em Economia Aplicada pelo Programa de Pós-Graduação em Organizações e Mercados da Universidade Federal de Pelotas (PPGOM/UFPEL), Assessor acadêmico, pesquisador e professor no IDP.

<sup>2</sup> Professor no PPGOM/UFPEL. Doutor em Desenvolvimento Econômico pela Universidade Federal do Paraná.

<sup>3</sup> Doutorando em Economia pela Universidade Católica de Brasília, Mestre em Economia pela Universidade Federal do Mato Grosso e pesquisador visitante no IPEA.

<sup>4</sup> Professor do PPGOM/UFPEL. Doutor em Economia pela Universidade de Brasília.

esperado dos ativos. Ao observar uma baixa conectividade entre as *commodities*, significa que tanto o investimento nelas próprias quanto em derivativos a elas associados, tais como mercados futuros e contratos de opções, podem ser analisados com mais precisão.

Não obstante, a contribuição está relacionada também ao lado a outros aspectos não exclusivamente financeiro da economia. A mensuração da transmissão de volatilidade das *commodities* energéticas e metálicas pode ser usada por formuladores de políticas públicas setoriais que visam compreender a formação de preços em tais mercados, uma vez que os preços futuros são importantes balizadores das expectativas dos preços à vista no futuro. Como exemplo, para entender o impacto de uma política de tributação e/ou subsídio, é preciso capturar tanto seus efeitos diretos quanto os indiretos, fatos que são influenciados pelas relações em termos de substituição e complementariedade entre os ativos. Ao possuir uma estimativa da relação entre os preços futuros, os agentes podem estimar como as expectativas de ofertantes e demandantes de cada mercado se relaciona às expectativas de agentes dos outros mercados.

Utilizando a metodologia criada por Diebold & Yilmaz (2012), geramos o Índice Geral de *Spillovers* (tabela 1) que denota quanto cada *commodity* envia e recebe em volatilidade do mercado, a interação que ocorre entre cada par de *commodities*, assim como a conectividade total do mercado. Como tal índice varia de zero a cem, seus resultados podem ser interpretados como porcentagem.

**Tabela 1 – Índices de *spillovers* e de conectividade das *commodities***

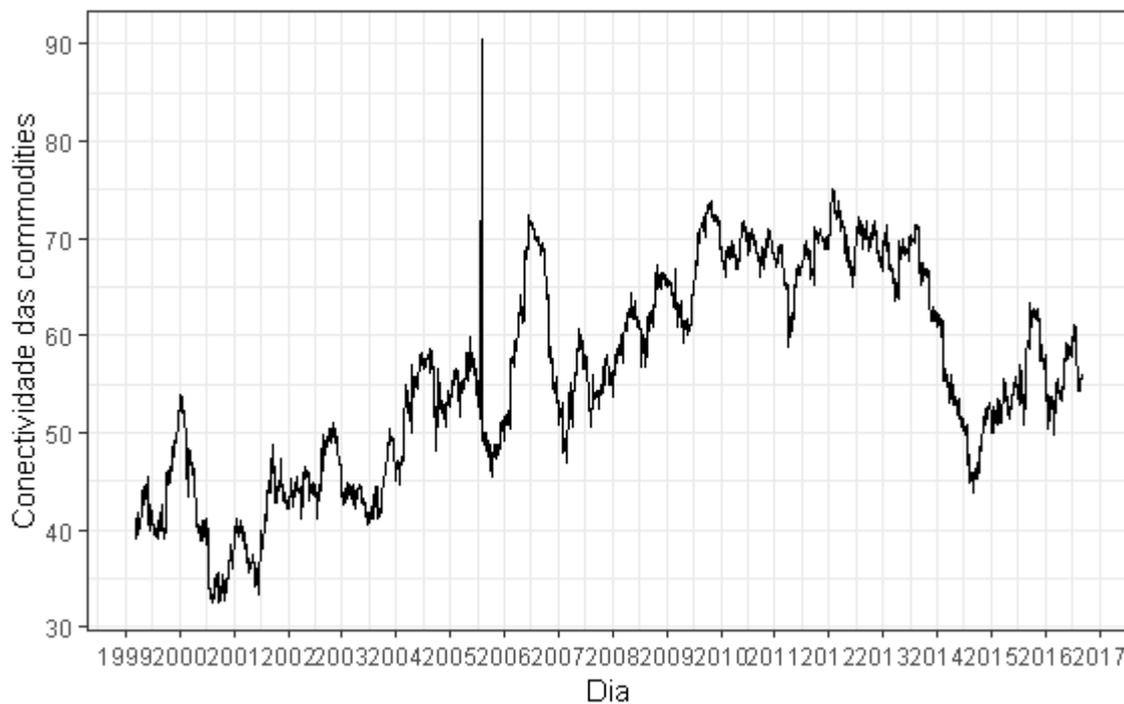
Metais	Alum.	Cobre	Chumbo	Níquel	Estanho	Zinco	Prata	Ouro	Paládio	Platina	Gás Nat.	Petr.	Do mercado
Alum.	<b>33.81</b>	16.67	10.11	9.03	6.28	14.34	4.15	1.74	1.82	2.02	0	0.02	<b>5.52</b>
Cobre	14.57	<b>29.41</b>	11.58	10.37	7.36	15.56	5.09	1.94	1.98	2.12	0.01	0.01	<b>5.88</b>
Chumbo	10.56	13.97	<b>35.55</b>	8.6	6.94	15.41	3.61	1.51	1.98	1.86	0.01	0.01	<b>5.37</b>
Níquel	10.58	13.92	9.59	<b>39.37</b>	7.29	12.04	3.18	1.03	1.55	1.42	0.01	0.03	<b>5.05</b>
Estanho	8.32	11.29	8.83	8.48	<b>45.2</b>	9.43	3.08	1.52	1.91	1.93	0	0.02	<b>4.57</b>
Zinco	13.21	16.51	13.55	9.55	6.55	<b>31.21</b>	4.26	1.62	1.83	1.7	0	0.02	<b>5.73</b>
Prata	5.21	7.2	4.34	3.43	2.89	5.77	<b>42.27</b>	16.24	5.55	7.06	0.02	0.01	<b>4.81</b>
Ouro	2.84	3.68	2.37	1.53	1.73	2.86	19.73	<b>48.74</b>	5.88	10.58	0.03	0.04	<b>4.27</b>
Paládio	3.64	4.51	3.79	2.77	2.64	3.85	7.72	6.11	<b>50.27</b>	14.68	0.01	0.01	<b>4.14</b>
Platina	3.65	4.41	3.21	2.41	2.38	3.39	9.24	10.33	13.99	<b>46.88</b>	0.01	0.09	<b>4.43</b>
Gás Nat.	0.01	0.03	0.04	0.02	0	0.01	0.07	0.07	0.02	0.01	<b>99.7</b>	0.01	<b>0.03</b>
Petr.	4.27	5.55	4.2	3.35	3.07	3.68	4.38	2.51	3.2	4.32	0.02	<b>61.44</b>	<b>3.21</b>
Para o mercado	<b>6.41</b>	<b>8.15</b>	<b>5.97</b>	<b>4.96</b>	<b>3.93</b>	<b>7.19</b>	<b>5.38</b>	<b>3.72</b>	<b>3.31</b>	<b>3.98</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>53.01</b>

Nota: O Índice Geral de *Spillovers* varia de zero a cem o que permite interpretá-lo como porcentagem. Nesse caso, o mercado como um todo apresenta uma conectividade de 53%. Por exemplo, o alumínio envia em volatilidade para o mercado 6,41% e recebe 5,52%, assim como transmite ao cobre 16,67% (olhar na horizontal) e recebe do cobre 14,57% (olhar na vertical).

Fonte: cálculos dos autores utilizando o RStudio.

Com os resultados do Índice Geral de *Spillovers* estimamos um *bootstrap* – figura 1 – e conseguimos verificar a trajetória da conectividade total do referido mercado durante o período avaliado. O mercado de *commodities* é inerentemente volátil. Os picos de 2005/2006 deveram-se sobretudo à expansão da economia chinesa (grande demandante de *commodities*). A queda abrupta em 2008 deveu-se à crise financeira internacional. Mas a recuperação foi veloz, não obstante os efeitos da crise da zona do euro e da redução do ritmo de crescimento da China. Os preços ainda continuaram elevados e acima dos registrados no período anterior à década de 2000. Não ocorreu, portanto, uma transição cíclica de *boom-burst*. A crise financeira internacional não afetou seriamente o ciclo de expansão notável dos preços das *commodities* metálicas e de outras negociadas nos mercados de derivativos.

Figura 1 – Conectividade total do mercado de *commodities* em questão



Fonte: cálculos dos autores utilizando o RStudio e dados da London Metal Exchange e London Stock Exchange.

A retração desse ciclo expansivo veio a ocorrer somente em meados de 2015, por causa da reversão das expectativas sobre a manutenção do dinamismo do ciclo de crescimento chinês.

Com os mesmos resultados utilizados para estimar o *bootstrap* mencionado, passamos para análise de redes que, por razões de espaço, trataremos apenas do grau ponderado de maneira bem simplificada. Ele é a soma dos dois outros graus, uma métrica que resume os prestígios de suporte e de influência do ativo na rede.

Em relação às classes de modularidade, uma das características únicas das redes sociais é que possuem estrutura de comunidade. Normalmente essa propriedade emerge como consequência da heterogeneidade global e local da distribuição das arestas num grafo, então nesse tipo de rede é possível encontrar concentrações elevadas de arestas em determinadas regiões, e baixa concentração de arestas entre essas regiões. Comunidades, ou *clusters*, são grupos de nódulos densamente conectados com ligações entre eles. A *otimização (classe) de modularidade* é um dos métodos mais utilizados para detectar comunidades em redes. A *modularidade Q* avalia e mede a importância de uma dada partição da rede em comunidades.

**Tabela 2 - Métricas de mecânica estatística da rede complexa**

Commodity mineral	Grau de entrada ponderado	Grau de saída ponderado	Grau ponderado	Classe de modularidade	Page rank
Alumínio	77.18	87.86	165.04	0	0.113306
Cobre	78.59	108.74	187.33	0	0.133269
Chumbo	75.46	82.61	158.07	0	0.107079
Estanho	65.81	58.13	123.94	0	0.079337
Zinco	79.8	97.34	177.14	0	0.124217
Níquel	71.64	100.69	172.33	1	0.101758
Petróleo	79.7	11.27	90.97	1	0.025923
Prata	68.72	72.51	141.23	2	0.085839
Ouro	62.27	55.62	117.89	2	0.069962
Paládio	60.73	50.71	111.44	2	0.064338
Platina	64.11	58.7	122.81	2	0.070775
Gás natural	11.29	11.12	22.41	2	0.024195

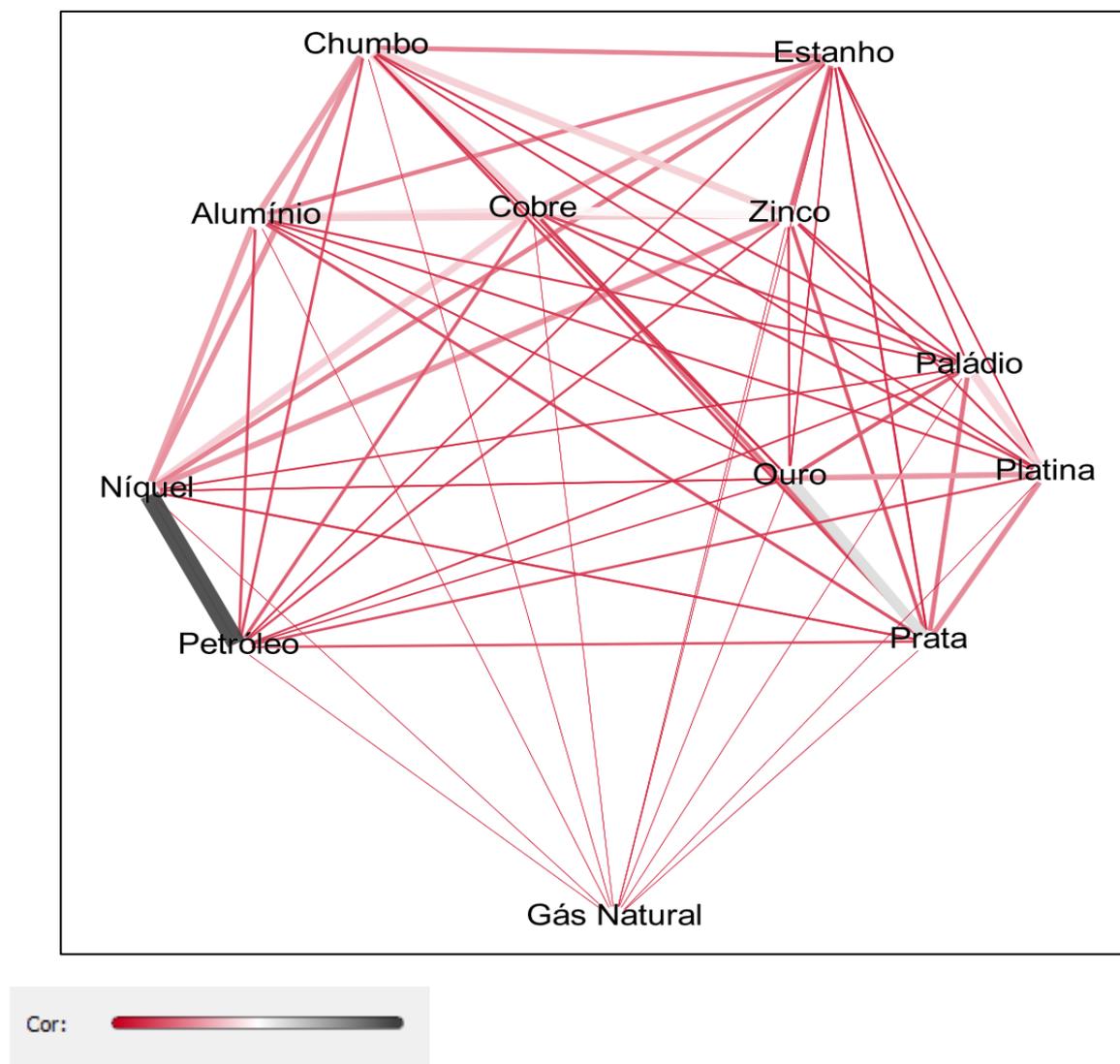
Fonte: cálculos dos autores no software Gephi 0.9.2.

A modularidade Q pode assumir valores positivos e negativos. Se  $Q > 0$ , então existe a possibilidade de encontrar estrutura de comunidade em rede. Se Q for um número positivo e elevado, então a respectiva partição tem maior probabilidade de refletir a estrutura de comunidade verdadeira. Em nossa rede complexa encontramos  $Q = 0,153$  e identificamos três *clusters*.

Descrevemos a rede complexa a partir do uso do algoritmo de Force Atlas, que gera uma distribuição de layout compatível com a divisão da amostra nos três referidos *clusters*.

Na rede complexa da figura 2, o primeiro cluster é composto por alumínio, cobre, chumbo, estanho e zinco. Estes ativos foram identificados com o valor 0 na tabela 2 e estão nas duas linhas superiores da rede complexa ajustada sob a forma de uma pepita. A segunda comunidade agrega duas *commodities*: níquel e petróleo (valor 1 na tabela 2 e na metade inferior à direita da rede). A terceira é formada por prata, ouro, paládio, platina e gás natural (valor 2 na tabela 2 e na parte inferior à direita da rede complexa, com o gás natural isolado no extremo inferior). O gás natural possui baixa conectividade com todos os outros ativos, inclusive com os de seu próprio cluster (figura 2).

Figura 2 – Rede de transmissão de volatilidade gerada pelo algoritmo Force Atlas de distribuição de *layout*



Fonte: elaboração dos autores utilizando o software Gephi 0.9.2.

Nota 1: conforme a legenda, as cores das arestas vão do vermelho escuro (conectividade/volatilidade fraca), vermelho claro (intermediária), cinza claro (mais forte) e cinza escuro/preto (forte).

Nota 2: ForceAtlas2 é um layout direcionado à força desenvolvido pela equipe do Gephi e que é similar a outros algoritmos usados para espacialização da rede (ver em <https://github.com/gephi/gephi/wiki/Force-Atlas-2>).

A conectividade forte (figura 2) no binômio petróleo-níquel ocorre porque o níquel serve para construir recipientes de armazenamento dos derivados de petróleo. Qualquer oscilação mais forte nas cotações do níquel representam aumentos nos custos de produção do petróleo. E qualquer redução nas cotações do petróleo, impactam negativamente na demanda por níquel.

Já o caso do gás natural explica-se pelo fato de ele ser a principal fonte de calor nos fornos de fundições de metais (inclusive preciosos). Após a fusão (transformação em estado líquido) um metal ou liga é colocado em um molde que depois permite o seu resfriamento e solidificação. A parte solidificada pode ser uma peça complexa como esculturas, joias de metais preciosos, armas e ferramentas. Observando a figura 2 e a tabela 2, verifica-se que ele transmite e recebe pouca volatilidade dos outros nódulos da rede. Isso se explica pelo cartel de gás natural anunciado em 2008 e composto por Rússia, Irã e Catar. A Rússia e sua principal empresa de gás e petróleo (Gazprom) controlam cerca de 25% das reservas de gás natural do mundo (47,578 trilhões de m<sup>3</sup> de gás natural estão em território russo)<sup>5</sup>. Em segundo lugar vem o Irã com *market share* de 15,57% das reservas (29,6 trilhões de m<sup>3</sup>). Em terceiro, o Catar, que possui 13,39% das reservas (25,47 trilhões de m<sup>3</sup>). Com isso, este cartel controla 53,96% das reservas mundiais. Os três países cartelizados possuem grande poder de monopólio sobre o mercado internacional dessa *commodity*, o que se reflete na menor geração e exposição à volatilidade dos retornos da mesma.

Conclusão análoga pode ser feita em relação à baixa conectividade do petróleo em relação a todos os nódulos da rede, exceto o níquel: a OPEP é um cartel bastante poderoso, como se sabe.

---

<sup>5</sup> Fontes: dados de 2014 da Central de Inteligência Americana (CIA Factbook): <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>