

Redes: um olhar sistêmico para a epidemiologia de doenças transmissíveis

Networks: epidemiology of transmissible diseases from a systemic perspective

Cláudia Torres Codeço¹
Flávio Codeço Coelho¹

Abstract *The direct or indirect physical contact between human beings as a basic condition for the transmission of infectious diseases stimulated epidemiologists to put forth great efforts to understand and describing the process of human contacts. It is through these contacts that disease spreads over populations and emerges, at the systemic level, in the form of epidemics. During the 20th century, many researchers dedicated themselves to revealing the population patterns that favor or not the emergence of epidemics and their temporal and spatial dynamics. The first insights came from population models adapted from the physical sciences, in which non-structured populations are considered. Later on it became clear that a more detailed description of social structures was required to correctly describe epidemic dynamics, and concepts such as social group, social network and social cohesion became important terms in the quantitative study of epidemics. The approximation between epidemiology and the social sciences turns obvious as their concepts are interacting more and more. To give a brief overview of this trajectory is the purpose of this article.*
Key words *Epidemiology, Contact network, Social networks, Support networks*

Resumo *A necessidade do contato físico entre pessoas (direta ou indiretamente) para a transmissão de agentes infecciosos trouxe para a epidemiologia, desde seus primórdios, a necessidade de compreender e descrever o processo de encontro entre pessoas. É neste espaço de encontros que a transmissão flui pela população e emerge, a nível sistêmico, na forma de epidemias. Durante todo o século XX, intenso esforço foi dedicado ao desvendamento dos fatores populacionais que favoreceriam ou não o surgimento de epidemias, sua temporalidade e espacialidade. Este caminho tem como inspiração inicial a física, com modelos de natureza quantitativa, nos quais a população é vista como um todo sem estrutura. Posteriormente, vê-se necessário incluir as estruturas sociais que compõem a população: grupos sociais, redes sociais, coesão social tornam-se conceitos de interesse no estudo quantitativo das epidemias. A integração com a sociologia torna-se óbvia, na medida em que seus conceitos interagem cada vez mais. É um breve olhar sobre esta jornada o objetivo deste ensaio.*
Palavras-chave *Epidemiologia, Redes de contato, Redes sociais, Redes de risco*

¹Programa de Computação Científica, Fundação Oswaldo Cruz. Av. Brasil 4365, Manguinhos. 21045-900 Rio de Janeiro RJ. codeco@fiocruz.br

Introdução

O conceito de redes une várias disciplinas científicas no século XXI, dentre elas a epidemiologia, enquanto caminho para a busca de alternativas ao reducionismo presente na análise dos elementos desconectados do sistema, sem cair na contrapartida do obscurantismo holista. É um olhar sobre as unidades e suas relações, as dependências entre os elementos, necessidade geral de todas as disciplinas, que precisam de formas de expressão simultânea da unidade, multiplicidade, totalidade, e organização dos sistemas complexos que estudam¹.

Na epidemiologia, as redes se evidenciam nos contatos físicos que veiculam parasitas; nos contatos sociais que propagam comportamentos e hábitos de risco, proteção e solidariedade; nos padrões de comutação dentro do espaço geográfico; na articulação e acesso às redes de serviço. Cada rede, definida como um conjunto interconectado de elementos, traz em si uma expressão da organização sistêmica, na qual os elementos são as pessoas de uma cidade, os constituintes do corpo humano, cidades em um país, hospitais do SUS, etc. As redes representam a organização dos elementos que interagem entre si de forma não homogênea e fluida, resultando em dinâmicas locais e globais^{2,3}. Assim, para compreender os elementos do sistema, torna-se necessário não só identificá-los, como também estudar suas relações com os outros elementos que os influenciam. O estado do sistema, por sua vez, emerge do comportamento compartilhado de suas partes⁴.

A necessidade do contato físico entre pessoas (direta ou indiretamente) para a transmissão de agentes infecciosos trouxe para a epidemiologia, desde seus primórdios, a necessidade de compreender e descrever o processo de encontro entre pessoas. É neste espaço de encontros que a transmissão flui pela população e emerge, a nível sistêmico, na forma de epidemias. Durante todo o século XX, intenso esforço foi dedicado ao desvendamento dos fatores populacionais que favoreceriam ou não o surgimento de epidemias, sua recorrência, sua temporalidade e espacialidade. Este caminho tem como inspiração inicial a física, com os mesmos modelos populacionais que inspiraram a ecologia e a demografia⁵. Nestes modelos de natureza quantitativa, a população é vista como um todo sem estrutura. É o número de pessoas, ou a densidade demográfica – interagindo com o meio externo (fatores climáticos e ambientais) – que dita o comporta-

mento das epidemias⁶. Posteriormente, vê-se necessário incluir as estruturas sociais que compõem a população. Grupos sociais, redes sociais, coesão social tornam-se conceitos de interesse no estudo quantitativo das epidemias. A integração com a sociologia torna-se óbvia, na medida em que seus conceitos interagem cada vez mais. É um breve olhar sobre esta jornada o objetivo deste ensaio. Esperamos cativar mais pesquisadores de todas as áreas a trilhar nesta fronteira.

Epidemias em populações sem estrutura social

Ronald Ross⁶, em 1916, chamou a atenção para a distinção entre “acontecimentos dependentes” e “independentes”, em sua *Teoria geral dos acontecimentos*, colocando as doenças transmissíveis na primeira categoria. Acontecimentos dependentes seriam definidos pela dependência entre a ocorrência de novos eventos (incidência) e o número de eventos presentes (prevalência). Esta dependência surgiria do mecanismo contagioso subjacente ao processo de transmissão. Mas não apenas as doenças transmissíveis estariam nesta categoria, mas também eventos de outras naturezas – como comportamentos sociais que se propagam via troca de idéias e papéis entre pessoas. Rumores e modismos seriam exemplos de processos que emergiriam por este mecanismo^{7,8}.

O que torna os “eventos dependentes” especiais? A dependência demanda métodos de análise e de estudo distintos da metodologia científica tradicional, que está predominantemente baseada no conceito de observações independentes (grupos tratamento x controle, expostos x não expostos), cujos métodos de inferência são muitas vezes sensíveis à violação do pressuposto de independência. No entanto, o processo de transmissão por contágio cria fortes dependências entre eventos, mesmo entre indivíduos ligados apenas por longas cadeias de contato⁹. Eventos dependentes implicam que efeitos indiretos das intervenções sempre surgirão – tratar ou intervir sobre um indivíduo afetará o risco de outro indivíduo; o risco do indivíduo sofrer um evento dependerá da coletividade, e a resposta do coletivo (epidemia ou não epidemia) dependerá não só das características pessoais, mas também da forma como as pessoas interagem entre si; e, por fim, as intervenções que realizamos (na forma de vacinação, tratamentos quimioterápicos e alterações de contato) afetam a própria população dos microorganismos, que evoluem novas

estratégias adaptativas (evolução de resistência é um exemplo). A relação indivíduo-população surge complexamente na epidemiologia das doenças transmissíveis.

A predição do comportamento de um sistema que evolui de forma complexa e não linear desafia nossa capacidade dedutiva e demanda o uso de métodos avançados de dedução lógica. Assim, o estudo das epidemias (assim como o estudo da propagação dos rumores e modismos) faz intenso uso da linguagem matemática.

Inspirados pela física, os primeiros modelos de dinâmica de doenças transmissíveis assumiam homogeneidade no risco de infecção, isto é, uma ausência de estrutura social, já que qualquer par de pessoas teria a mesma chance de se encontrar. Como consequência, o risco de uma pessoa se infectar dependeria de “quantos” infectados houvesse na população, mas não de “quem” seriam eles. E a chance de uma epidemia ocorrer dependeria da “quantidade” de suscetíveis na população^{10,11}. Esta abordagem, embora muito simplificada, gerou conceitos importantes para a epidemiologia. Um deles, seria o número reprodutivo basal, (R_0), expresso matematicamente como: $R_0 = c b D s =$ (número de contatos realizados por um infectado por dia) x (probabilidade de transmissão por contato) x (duração da infecção) x (proporção de suscetíveis na população).

O R_0 expressa o potencial epidêmico de uma doença e é interpretado como o número esperado de casos secundários gerados por um caso índice, ao ser introduzido em uma população inteiramente suscetível⁹⁻¹¹. Se $R_0 > 1$, cada caso gerará mais de um e a incidência aumentará (epidemia), se $R_0 < 1$, não haverá epidemia⁹⁻¹¹.

Esta fórmula concatena os elementos-chave que levam uma doença a ser epidêmica – alta interatividade entre pessoas, alta contagiosidade, longa duração de infecção e grande contingente de suscetíveis – em uma expressão elegante em sua simplicidade.

Como o desenvolvimento da teoria epidemiológica sempre esteve diretamente relacionado com o desenvolvimento de políticas de controle, estas idéias tiveram forte repercussão no desenho de programas de vacinação, por exemplo, sugerindo que vacinações em massa não precisariam atingir todos os indivíduos da população, mas apenas o necessário para reduzir R_0 abaixo do limiar 1⁹⁻¹¹. Assim, estimar R_0 é importante, pois indica o esforço necessário para o controle de uma determinada doença.

Apesar do valor teórico e prático dos modelos iniciais, o pressuposto de ausência de estru-

tura social é claramente falso. Sua manutenção se justificava pela ausência de dados específicos que apoiassem modelos alternativos. Porém, nas décadas de 1970 e 1980, a análise de dados empíricos de sarampo, coqueluche, varicela e outras doenças ditas “infantis” evidenciou que a chance de adoecer não era igual para todos, mas aumentava com a idade, até atingir um pico em torno de 8-12 anos^{12,13}. Este achado seria explicado de duas formas: o aumento do risco devia-se a um aumento da susceptibilidade com a idade (o parâmetro b da equação acima) ou um aumento na taxa de contato (o parâmetro c). Como a idade de maior risco é justamente a idade escolar, a última hipótese ganhou força¹¹. Além disso, o padrão sazonal das epidemias também coincidia com o início do ano letivo, reforçando a idéia de que o agrupamento de crianças nas escolas seria o principal mecanismo de propagação destas doenças.

Surge assim a necessidade de representar algumas estruturas sociais no estudo de epidemias. E o primeiro parâmetro considerado para categorização é a idade. O pressuposto implícito é de que a população é composta por subgrupos etários homogêneos. Pessoas interagem, com intensidade diferente, com pessoas do seu grupo *versus* pessoas de outros grupos. Uma pessoa pertencente a um grupo isolado, que interaja pouco com outros, teria menos risco de infecção do que outra pertencente a um grupo com alta interatividade (dado que o parasita não esteja presente em seu grupo). Em outras palavras, o risco individual depende da atividade dentro do grupo, e da atividade entre grupos¹⁵.

Assumindo população estratificada em grupos homogêneos

Faz-se então necessário identificar, na população, agrupamentos nos quais a taxa de interação intragrupo seja diferente da taxa de interação intergrupos. Agrupamentos sociais relevantes neste contexto seriam vários. Alguns teriam uma clara contrapartida física, tais como pessoas que compartilham domicílios, vizinhanças, escritórios, cidades; outras não, tais como agrupamentos baseados em comportamentos sociais (e, neste caso, idade, classe social, atividade profissional, entre outros, poderiam ser indicadores de agrupamento, embora não determinantes).

Quando a população se encontra organizada em grupos homogêneos, a teoria epidemiológica sugere uma tendência das epidemias ocorrerem

em ondas, já que a disseminação dentro dos grupos é mais rápida do que entre grupos. Além disso, a velocidade de propagação também depende do tamanho dos grupos e das taxas de contato entre eles, o que determinaria dinâmicas distintas, em diferentes populações. A nível nacional, a organização das populações em cidades levaria a assincronias nas epidemias, moduladas pelo fluxo e tamanho das cidades¹⁴.

Uma outra consequência da estruturação da população em grupos é que correlações surgem entre o evento individual (“ter doença”) e as características que identificam os próprios grupos (idade, classe social, tipo de comportamento), sem que necessariamente haja uma associação causal entre as características (a nível de indivíduo). Aqui, mais uma vez, a dependência entre os eventos precisa ser levada em consideração na inferência de causalidade. Contudo, a caracterização dos agrupamentos e a estimação das taxas de contato entre pessoas de diferentes grupos, apesar de sua importância, é extremamente difícil¹⁵ – seja devido ao seu caráter casual, sigiloso, ou à complexidade de sua estrutura – e, por isso, um desafio a ser vencido para o avanço desta disciplina.

Uma área em que o entendimento dos padrões de contatos mostrou-se fundamental foi a epidemiologia de doenças transmitidas sexualmente (DST), como a aids, sífilis e gonorréia. Modelos iniciais mostraram que a distinção entre grupos de indivíduos com alta e baixa taxa de troca de parceiros seria necessária para explicar a distribuição da gonorréia na população americana¹⁶. Membros destes grupos de alto risco estariam, ao mesmo tempo, em alto risco de tornarem-se vítimas da infecção, como também importantes disseminadores (os super-espalhadores), e políticas de controle, que teriam como alvo estes grupos, ganharam destaque¹⁷.

Interagir com um grupo de alta atividade torna-se um fator de risco em si (independente do comportamento de risco individual), principalmente no início de uma epidemia, quando a prevalência da infecção é baixa e restrita a determinados grupos. Com base neste raciocínio, Friedman *et al.*¹⁸ sugerem que, em populações com baixa prevalência de HIV, a pertinência a certos grupos (bolsões de infecção) seria um fator de risco maior do que o comportamento individual em si. Já em populações com alta prevalência, o comportamento do indivíduo seria um preditor de risco maior do que a pertinência aos grupos. Este argumento vale para outras doenças também.

Assumindo população estruturada em redes

Em 1985, Klov Dahl¹⁹ propõe “a conceitualização da população como um conjunto de indivíduos ligados entre si formando uma grande rede”. Esta abordagem proporcionaria um melhor entendimento do espalhamento de doenças infecciosas. Logo no início da epidemia de aids, ele pontuou que a extensão da transmissão da epidemia dependeria da estrutura das relações pessoais e que a compreensão destas estruturas seria útil para estimação do seu potencial epidêmico.

O que estava sendo proposto era a troca do olhar sobre a população como um conjunto de grupos sociais, por um sistema de indivíduos articulados em redes. Usando o jargão da epidemiologia social, a nova abordagem é explicada da seguinte forma por Friedman *et al.*²⁰: ***Considerar um estudo que inicia com uma pessoa, chamada ego. Esta pessoa tem ligações (contatos) com seus alters. As relações pessoais de ego, relevantes para a ocorrência do evento em estudo, formam a rede pessoal ou a rede egocêntrica de ego. Se o estudo se expande para incluir também os contatos dos alters de ego, e os contatos destes, e assim por diante, é possível identificar o componente conectado ou a rede sociométrica à qual ego pertence. Uma população pode conter mais de um componente, constituindo uma comunidade de redes sociais.***

Moreno²¹, em 1953, foi o primeiro a utilizar o conceito de redes no contexto de análise de comportamento de grupos sociais. Ele propôs uma metodologia para mensuração das relações afetivas entre pessoas em grupos e representação destas relações por sociogramas e grafos. Os elementos da rede assim criada (ditos vértices, na literatura matemática; ou atores, na literatura sociológica) representariam pessoas, domicílios ou outras unidades sociais coletivas. Ligações entre pessoas estudadas desta forma abarcariam²¹: avaliação de uma pessoa por outra (amizade, respeito); transferência de recursos materiais; associação e filiação (pertencer à mesma instituição, frequentar os mesmos ambientes sociais); interação comportamental (troca de informações); movimento entre lugares e posições sociais (migração, mobilidade física ou social); conexão física (vizinhança, presença de rua, rio, ponte); relações formais (autoridade, casamento); relações biológicas, etc. Todas estas redes são relevantes no contexto da saúde e os resultados e métodos analíticos da teoria de redes sociais têm sido rapidamente incorporados e expandidos dentro da teoria de epidemias²².

Luke e Harris²³ classificam as redes relevantes para a saúde pública em três tipos: redes de transmissão, redes sociais e redes de organizações. As redes de transmissão se referem às redes de contato (ou redes potenciais de risco) e também às redes que facilitam a troca de informações e comportamentos de risco e proteção – são as redes informacionais, as mesmas que dariam origem aos modismos e rumores, em outros contextos.

O foco da maioria dos estudos está nas **redes potenciais de risco**, definidas como conjunto de indivíduos que compartilham comportamentos interacionais que “podem” servir de rotas para espalhamento do agente infeccioso²⁴. Isto é, elas existem independentemente da presença do agente infeccioso e, por isso, o adjetivo “potencial”. No caso da aids e outras DST, sexo inseguro e/ou compartilhamento de drogas injetáveis seriam elementos de ligação entre pessoas; em doenças transmitidas pelo ar, como a gripe e a coqueluche, o compartilhamento de grandes ambientes fechados definiria as redes potenciais de risco¹⁵.

O primeiro desafio do estudo de redes de transmissão surge, porém, no fato da metodologia estar fortemente baseada na análise de dados de redes completas (possível quando pequenos grupos são estudados), enquanto que dados sobre redes de contato na população seriam praticamente impossíveis de serem obtidos em sua totalidade. Métodos de amostragem em cadeia, baseados em metodologia de bola de neve²⁵, na qual o ego nomeia seus contatos, que nomeia seus contatos, e assim por diante, são utilizados para gerar amostras dos contatos de uma população (quase sempre enfrentando dificuldades logísticas e questionamentos éticos²⁶). Ainda assim, alguns grandes estudos merecem nota e apontam para a importância do levantamento de redes de contato. Em Manitoba, no Canadá, um levantamento de redes sexuais identificou (em seis meses de estudo) uma rede de 4.544 indivíduos, formada por 1.503 componentes com tamanhos variando de 2 a 82 pessoas. Poucos componentes (1,2%) possuíam mais de dezenove pessoas. Dentre os componentes maiores, alguns tinham uma topologia radial e outros uma topologia linear²⁷. Estes componentes maiores englobavam pessoas de diferentes lugares, inclusive de comunidades distantes geograficamente. Na capital, uma única relação, dentro do componente de 82 pessoas, fazia a ligação entre o centro da cidade e uma área periférica, mostrando a importância da interação entre distância social e distância geográfica no estudo de transmissão²².

Por este exemplo, pode-se ver que a rede traz

uma nova dimensão no estudo das epidemias. A análise de dados deste tipo, associada a estudos dedutivos baseados em modelos matemáticos, tem identificado algumas propriedades de redes de contato que favoreceriam a transmissão de doenças e a ocorrência de epidemias. A tendência de pessoas com alta conectividade interagir entre si, formando núcleos, favoreceria a disseminação rápida da infecção (pois agiriam como **hubs** encurtando a distância social entre pessoas); no caso da transmissão sexual, o hábito de ter múltiplos parceiros concomitantemente também facilitaria a transmissão, em comparação com o hábito de parcerias seqüenciais^{28,29}; redes com estruturas cíclicas (isto é, com alta transitividade) seriam mais suscetíveis ao espalhamento de microrganismos do que topologias mais dendríticas³⁰, pois, na primeira, existiriam mais rotas de disseminação do agente infeccioso entre pares de indivíduos quaisquer; redes com alguns componentes grandes seriam mais suscetíveis à ocorrência de epidemias do que redes com vários componentes pequenos. Ao olhar para o padrão de endemicidade de aids em países industrializados, Rothemberg³¹ associa níveis de endemicidade às propriedades de transitividade e assortatividade dessas redes de risco, dentre outros fatores.

A definição das redes de contato traz em si a noção de estabilidade, que se traduz por uma certa permanência nos contatos entre pares de indivíduos (daí a idéia de população estruturada em componentes). No jargão da teoria de redes sociais, são ligações fortes. Contudo, existe uma fração dos contatos humanos que é fortuita (ligações fracas). Estas conexões, de óbvia importância na transmissão de doenças respiratórias (encontros em ônibus, ruas, shopping), também estão presentes na transmissão de DST (por exemplo, encontros sexuais anônimos ou compartilhamento de seringas em festas e outros eventos em grupo). Estes eventos podem conectar componentes que a princípio seriam desconectados²⁷. A importância destas conexões fracas é um campo aberto para investigação.

Enquanto que o estudo das **redes de risco** tem recebido um olhar mecanístico, com ênfase na caracterização das estruturas, mecanismos e topologias que facilitam a difusão de doenças, outro conjunto de redes relevantes para a saúde, as **redes sociais**, tem sido alvo de um olhar mais fenomenológico (com ênfase na descrição de suas propriedades emergentes). As **redes sociais**, neste contexto, são definidas como estruturas sociais que influenciam a resposta dos indivíduos às infecções (seja nos comportamentos de risco e pro-

teção, na capacidade de recuperação e resposta a tratamentos, na busca por serviços de saúde). As conexões entre elementos destas redes são definidas por laços de amizade, confiança e/ou poder de influência, e através delas percolam informações, comportamentos e cuidados à saúde. Estas redes interferem indiretamente no curso de uma epidemia, dado que sua estrutura influencia o apoio social recebido pelos indivíduos que a compõem. O apoio social que emerge destas redes é classificado em quatro tipos³²: emocional, instrumental ou material (como ajuda financeira ou física), informacional (conselhos, orientações), e de interação social positiva (pessoas com quem se divertir).

Vários estudos sugerem um efeito positivo entre apoio social (medido de diferentes formas, pouco padronizado) e saúde. Por exemplo, conectividade social (tamanho da rede pessoal) e menor taxa de complicações pós-cirúrgicas³³; percepção de apoio social e recuperação pós infarto do miocárdio³⁴; apoio social e redução de comportamento de risco, dentre usuários de drogas³⁵; apoio social e morbidade e mortalidade dentre idosos³²; apoio social e promoção de resiliência em pessoas com HIV³⁶.

Redes sociais de proteção e solidariedade podem ser veículos de intervenção. Karita *et al*³⁷ relatam um estudo em Ruanda no qual se avaliou a capacidade de “agentes influentes” das redes sociais locais agirem na indução de mudanças de comportamento em populações em risco. Um resultado interessante deste estudo é que as pessoas reconhecidas como influentes, embora se identificassem com um determinado papel social, muitas vezes faziam uso de várias redes para atingir o público-alvo (família, amigos, contatos profissionais, contatos em ambientes sociais). Outros métodos de intervenção utilizam medidas sociométricas para identificar pessoas influentes para passar mensagens de proteção³⁸; ou aparatos de proteção (como seringas)³⁹. Apesar do crescente número de iniciativas envolvendo intervenções em redes, a interação entre redes de transmissão e redes de apoio ainda é pouco estudada, e um campo aberto de investigação.

Considerações finais

Como visto nesta breve exposição, a introdução do conceito de redes na teoria epidêmica nasceu da necessidade de entender como se estruturam

os contatos entre pessoas e como estas estruturas afetam a disseminação de doenças. Esta abordagem trouxe inovações na forma de pensar o risco individual e as estratégias de intervenção. Porém, muitas lacunas ainda existem, e pode-se dizer que ainda temos mais perguntas do que respostas. Aqui, chamamos atenção para algumas questões.

A definição das relações entre elementos de uma rede requer medidas quantificáveis. As redes mais óbvias têm sido alvo dos estudos – as redes de relacionamentos sexuais, as redes de parentesco, as redes de “melhores amigos”. Desta perspectiva, o sistema social é visto como um conjunto de redes: redes sociais, redes de transporte, redes de organizações, redes de comunicação. O primeiro desafio torna-se então a reconstrução do todo a partir da articulação destas novas partes. Como estas redes afetam umas às outras?

Um conceito que pode ajudar neste processo de organização foi cunhado por Merrill Singer: *sindemia*⁴⁰. Uma sindemia é definida como a interação entre doenças ou agravos à saúde em populações, que magnificam os efeitos deletérios umas das outras. Exemplos de sindemias são “uso de drogas – violência – aids”; “aids – outras DSTs”; “HIV – tuberculose”. Estas doenças interagem por diversos motivos, seja porque uma doença aumenta a susceptibilidade à outra (como é o caso de sífilis e HIV); ou um agravo (violência) modifica o ambiente social (apoio social) no qual a doença infecciosa se dissemina.

Outro conceito associado é o de espaço de risco⁴¹, definido, no contexto da aids, como: “a space, whether social or physical, in which a variety of factors exogenous to the individual interact to increase vulnerability to HIV”. Este espaço é estruturado pela mobilidade dos indivíduos e sua inserção nas redes sociais locais ([...] *cross-border trade and transport links, population movement and mixing, urban or neighbourhood deprivation and disadvantage, the role of local peer groups and social networks*[...]). A conexão entre as várias redes fica explícita aqui.

Identificar e descrever as sindemias e espaços de risco - e gerar propostas de intervenção integradas com base nestes conceitos - é o caminho a frente. Parece-nos que este caminho avançará seguindo a espiral virtuosa de Morin¹, na qual redes serão elementos de sistemas, que se articularão em novos sistemas, formando sistemas de sistemas. Esperamos ansiosos pelo que sairá deste vórtice.

Colaboradores

CT Codeço e FC Coelho contribuíram igualmente para a concepção e redação do presente ensaio.

Agradecimentos

Agradecemos à professora Ana Clara Torres Ribeiro, por enriquecedoras discussões sobre o conceito de redes sociais nas ciências sociais. Este trabalho foi elaborado enquanto FC Coelho era bolsista do CNPq. FC Coelho recebeu apoio do PAPES. CT Codeço recebeu apoio da FAPERJ.

Referências

1. Morin E. *O método I: a natureza da natureza*. 3ª ed. Porto Alegre: Editora Meridional; 2005.
2. Newman M, Barabasi A-L, Watts DJ. *The structure and dynamics of networks*. Princeton, NJ: Princeton University Press; 2006.
3. Watts DJ. *Six degrees: the science of a connected age*. New York: W. W. Norton & Company; 2004.
4. Skjottner L. *General Systems Theory: problems, perspectives, practice*. 2ª ed. Hackensack, NJ: World Scientific Publishing Company; 2006.
5. Kingsland SE. *Modeling Nature: Episodes in the history of population ecology*. 2ª ed. Chicago: University of Chicago Press; 1995.
6. Ross R. An application of the theory of probabilities to the study of a priori pathometry, II. *Proc R Soc* 1916 ; A92:204-230.
7. Daley DJ, Kendall DG. Stochastic rumours. *J. Inst. Maths. Applics* 1965; 1:42-55.
8. Daley DJ, Gani J. *Epidemic Modelling: An Introduction*. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 1999.
9. Koopman JS. Modelling infection transmission. *Annu Rev Public Health* 2004; 25:303-326.
10. Kermack WO, McKendrick AG. A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London* 1927; 115:700-72.
11. Anderson RM, May RM. *Infectious Diseases of Humans: dynamics and control*. Oxford: Oxford University Press; 1991.
12. Fine PEM, Clarkson JA. Measles in England and Wales: an analysis of factors underlying seasonal patterns. *Int J Epidemiol* 1982; 11:5-14.
13. Grenfell BT, Anderson RM. The estimation of age related rates of infection from case notifications and serological data. *J Hyg* 1985; 95:419-436.
14. Grenfell BT, Bjørnstad ON, Kappey J. Travelling waves and spatial hierarchies in measles epidemics. *Nature* 2001; 414(6865):716-723.
15. Wallinga J, Edmunds WJ, Kretzschmar M. Perspective: human contact patterns and the spread of airborne infectious diseases. *Trends in Microbiology* 1999; 7(9):372-377.
16. Yorke JA, Hethcote HW, Nold A. Dynamics and control of the transmission of gonorrhoea. *Sex Transm Dis* 1978; 5(2):51-56.
17. Wohlfeiler D, Potterat JJ. Using gay men's sexual networks to reduce sexually transmitted disease (STD)/human immunodeficiency virus (HIV) transmission. *Sex Transm Dis* 2005; 32(10 Suppl):S48-52.
18. Friedman SR, Jose B, Des Jarlais DC, Neaigus A, National AIDS Research Consortium. Risk factors for HIV seroconversion among out-of-treatment drug injectors in high and low seroprevalence cities. *Am J Epidemiol* 1995; 8:864-874.
19. Klovdhal AS. Social networks and the spread of infectious diseases: the AIDS example. *Soc Sci Med* 1985; 21:1203-1216.
20. Friedman SR, Bolyard M, Mateu-Gelabert P, Goltzman P, Pawlowicz MP, Singh DZ, Touze G, Rossi D, Maslow C, Sandova, M, Flom PL. Some data-driven reflections on priorities in aids network research. *AIDS Behav* 2007; 11:641-651.

21. Wasserman S, Faust K. **Social network analysis: methods and applications**. Cambridge: Cambridge University Press; 1994.
22. Jolly AM, Muth SQ, Wylie JL, Potterat JJ. Sexual networks and sexually transmitted infections: a tale of two cities. *Journal of Urban Health* 2001; 78(3):433-445.
23. Luke DA, Harris JK. Network analysis in Public Health: history, methods and applications. *Annu Rev Public Health* 2007; 28:69-93.
24. Friedman SR, Aral S. Social networks, risk-potential networks, health and disease. *Journal of Urban Health* 2001; 78(3):411-418.
25. Magnani R, Sabin K, Saidel T, Heckathorn D. Review of sampling hard-to-reach and hidden populations for HIV surveillance. *AIDS* 2005;19 (Suppl 2):S67-72.
26. Périssé ARS, Nery JAC. The relevance of social network analysis on the epidemiology and prevention of sexually transmitted diseases. *Cad Saúde Pública* 2007; 23(Supl 3):S361-69.
27. Wylie JL, Jolly A. Patterns of chlamydia and gonorrhea infection in sexual networks in Manitoba, Canada. *Sex Transm Dis* 2001; 28:14-24.
28. Morris M, Kretzschmar M. Concurrent partnerships and the spread of HIV. *AIDS* 1997; 11(5):641-648.
29. Potterat JJ, Meheus A, Gallwey J. Partner notification: operational considerations. *Int J STD AIDS* 1991; 2(6):411-415.
30. Potterat JJ, Rothenberg RB, Muth SQ. Network structural dynamics and infectious disease propagation. *Int J STD AIDS* 1999; 10:182-185.
31. Rothenberg R. Maintenance of endemicity in urban environments: a hypothesis linking risk, network structure and geography. *Sex Transm Infect* 2007; 83(1):10-15.
32. Rosa TEC, Benicio MHA, Alves MCGP, Lebrão ML. Aspectos estruturais e funcionais do apoio social de idosos do Município de São Paulo, Brasil. *Cad Saúde Pública* 2007; 23(12): 2982-2992.
33. Mitchinson AR, Kim HM, Geisser M, Rosenberg JM, Hinshaw DB. Social connectedness and patient recovery after major operations. *J Am Coll Surg* 2008; 206(2):292-300.
34. Lett HS, Blumenthal JA, Babyak MA, Catellier DJ, Carney RM, Berkman LF, Burg MM, Mitchell P, Jaffe AS, Schneiderman N. Social support and prognosis in patients at increased psychosocial risk recovering from myocardial infarction. *Health Psychol* 2007; 26(4):418-427.
35. Mitchell SG, Edwards LV, Mackenzie S, Knowlton AR, Valverde EE, Arnsten JH, Santibanez S, Latka MH, Mizuno Y; for the INSPIRE Study Team. Participants' descriptions of social support within a multisite intervention for HIV-seropositive injection drug users (INSPIRE). *JAIDS* 2007; 46(Suppl 2):S55-63.
36. Carvalho FT, Morais NA, Koller SH, Piccinini C. Fatores de proteção relacionados à promoção de resiliência em pessoas que vivem com HIV/AIDS. *Cad Saúde Pública* 2007; 23(9):2023-2033.
37. Karita E, Allen S, Chomba E, Roth DL, Telfair J, Zulu I, Clark L, Kancheya N, Conkling M, Stephenson R, Bekan B, Kimbrell K, Dunham S, Henderson F, Sinkala M, Carael M, Haworth A. Promotion of couples voluntary counselling and testing for HIV through influential networks in two African capital cities. *BMC Public Health* 2007; 7:349.
38. Latkin CA, Hua W, Forman VL. The relationship between social network characteristics and exchanging sex for drugs or money among drug users in Baltimore, MD, USA. *Int J AIDS* 2003; 14(11):770-775.
39. Snead J, Downing M, Lorvick J, Garcia B, Thawley R, Kegeles S, Edlin BR. Secondary syringe exchange among injection drug users. *J Urban Health* 2003; 80(2):330-348.
40. Singer MC, Erickson PI, Badiane L, Diaz R, Ortiz D, Abraham T, Nicolaysen AM. Syndemics, sex and the city: understanding sexually transmitted diseases in social and cultural context. *Soc Sci Med* 2006; 63(8):2010-2021.
41. Rhodes T, Singer M, Bourgois P, Friedman SR, Strathdee SA. The social structural production of HIV risk among injecting drug users. *Soc Sci Med* 2005; 61(5):1026-1044.

Artigo apresentado em 20/02/2008

Aprovado em 19/05/2008

Versão final apresentada em 09/06/2008