

CONSENSOS CIENTÍFICOS EM LÓGICA EPISTÊMICA MULTIAGENTE*

SCIENTIFIC CONSENSUSES IN MULTI-AGENT EPISTEMIC LOGIC

Vitor Costa

<https://orcid.org/0000-0002-8719-4025>

vitormcosta2509@gmail.com

*Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,
Santa Catarina, Brasil.*

RESUMO *Este artigo filosófico aborda a modelagem do consenso e do dissenso em comunidades científicas normativas, utilizando lógica epistêmica multiagente. Fundamentado em um sistema não normal com estrutura monotônica, alinhado à “justificação científica fraca” de Newton da Costa, o estudo define diferentes formas de conhecimento científico, destacando conhecimento mútuo, distribuído e comum. Ao explorar grupos normatizados, em que o conhecimento geral deriva de subgrupos especializados, o artigo analisa as noções de consenso e dissenso científico. Em particular, o dissenso ocorre quando há conhecimentos científicos de subgrupos em desacordo, enquanto o consenso surge na convergência desses conhecimentos. O formalismo da lógica epistêmica multiagente é demonstrado como capaz de capturar essa dicotomia, sem contradições no conhecimento distribuído, proporcionando uma base sólida para a compreensão das dinâmicas complexas nas comunidades científicas normativas.*

* Artigo submetido em: 09/10/2025. Aprovado em: 30/10/2025.

Palavras-chave: *Consenso. Dissenso. Lógica epistêmica multiagente. Semântica de vizinhança. Conhecimento científico. Epistemologia social.*

ABSTRACT *This philosophical article addresses the modeling of consensus and dissent in normative scientific communities, employing multi-agent epistemic logic. Grounded in a non-normal system with monotonic structure, aligned with Newton da Costa's concept of "weak scientific justification," the study defines different forms of scientific knowledge, emphasizing mutual, distributed, and common knowledge. By exploring normative groups, where general knowledge derives from specialized subgroups, the article examines the notions of scientific consensus and dissent. Specifically, dissent occurs when scientific knowledge among subgroups is in disagreement, while consensus emerges through the convergence of these knowledges. The formalism of multi-agent epistemic logic is demonstrated to capture this dichotomy without contradictions in distributed knowledge, providing a robust foundation for understanding the complex dynamics within normative scientific communities.*

Keywords: *Consensus. Dissent. Multi-agent epistemic logic. Neighborhood semantics. Scientific knowledge. Social epistemology.*

“A arte sou eu, a ciência somos nós.” – Claude Bernard
(*L'art, c'est moi; la science, c'est nous*)

Em seu ensaio *Conhecimento Público* (1979 [1968]), John Ziman afirma que acreditamos na ciência não simplesmente porque oferece um quadro *relativamente lógico* para nossas observações, mas também porque é o espaço para se estabelecer um “livre consenso intelectual”. Nessa caracterização, um consenso científico é dito *intelectual* quando pode ser analisado relativamente a alguma lógica (Ziman, 1979, p. 53); e é dito *livre* por repousar em uma dupla confiança na comunidade científica: (i) na confiança da validade das afirmações de outros cientistas competentes em seus assuntos de especialidade, mesmo sem testá-las; e (ii) na confiança de ser possível testar as afirmações de seus pares quando se tornarem suspeitas à luz do que um cientista conheça em seu respectivo campo de atuação (Ziman, 1979, p. 156; Cupani, 2018, p. 55). Como já alertava Michael Polanyi (1985 [1958]), a confiança referida

em (i) não deve ser vista como “menor”; na verdade, é fundamental para a coesão epistêmica da comunidade científica, bem como para explicar o “convencimento” de uma tese na comunidade científica geral. Se quisermos entender como o conhecimento científico é dinamicamente construído em grupo, precisamos levar em conta esse e outros aspectos que caracterizam a “normatividade” de grupos de cientistas, e não apenas os métodos e as lógicas utilizadas em pesquisas científicas particulares. Este trabalho constitui um esforço de caracterizar esse conhecimento científico em grupo, utilizando-se de ferramentas da epistemologia social, da lógica epistêmica multiagente e da semântica de vizinhança.

Todavia, assumimos aqui certas idealizações da intersubjetividade dos agentes cientistas (cf. Cupani, 2018, pp. 55-66), uma vez que nosso foco está na dinâmica do consenso e do dissenso em comunidades científicas normativas estritas, o que ainda assim desempenha um papel central para o que chamamos de “conhecimento científico”, em termos de grupo. Este artigo propõe uma análise formal dessa dinâmica, destacando como o consenso e o dissenso podem ser modelados através de lógica epistêmica multiagente em semântica de mundos possíveis e, em seguida, em semântica de vizinhança.

O artigo delinea os diferentes tipos de conhecimento científico, tanto em nível individual quanto coletivo, incorporando conceitos como os de conhecimento mútuo, conhecimento distribuído e conhecimento comum, os quais possuem uma versão forte (com relações de Kripke) e uma versão fraca (motivada por uma versão mais fraca do conhecimento, proposta por Newton da Costa). Por fim, estabelece-se um conhecimento posicional de grupo, a partir das definições de consenso e dissenso.

A contribuição mais significativa deste artigo está na demonstração de que o dissenso pode ser formalmente capturado por meio de uma lógica epistêmica multiagente não normal. Dessa forma, este trabalho oferece uma base para futuras reflexões que venham a conectar a filosofia da ciência e a epistemologia social aos recentes avanços das lógicas epistêmicas multiagentes.

1. Crença e aceitação na comunidade científica

Tendo em vista as transformações nas ciências durante o século XX, como na física pós-Einstein e na matemática pós-Hilbert, é razoável assumir que todo conhecimento científico é hipotético (no sentido de que é necessário propor hipóteses para interpretar e unificar os dados) e, se for de natureza empírica, é sempre aproximado, inclusive por conta da teoria da medida e da probabilidade. A centralidade da noção de hipótese para o conhecimento

científico em geral remonta ao clássico *A ciência e a hipótese* (2024 [1902]), de Henri Poincaré, enquanto que a discussão filosófica da ciência moderna em torno de “conhecimento aproximado” remonta pelo menos ao *Ensaio sobre o conhecimento aproximado* (2004 [1928]), tese de doutorado de Gaston Bachelard. Poincaré rejeita a ideia de que uma hipótese possa ser verificada de modo definitivo: o critério científico torna-se não mais a “verdade absoluta”, mas a fecundidade, a simplicidade e a coerência da hipótese dentro de um sistema científico. Bachelard, por sua vez, pensa conhecimento aproximado enquanto racionalidade progressiva, explicando o progresso sem eliminar a revisão: todo conhecimento científico é provisório, e o avanço se dá por meio de retificações sucessivas, de tal modo que cada nova teoria corrige, amplia ou substitui a anterior, tornando a ciência progressivamente mais consciente e aprofundada em relação ao “real”, sem nunca alcançá-lo em absoluto. Além dessas noções, há outras conceituações em filosofia da ciência que tentam (de formas não equivalentes) esclarecer a flexibilidade metodológica e a evolução sinuosa do conhecimento científico, sobretudo no que diz respeito à relação entre teoria e observação (Boyd; Bogen, 2021).

Com efeito, diferentemente da epistemologia, que remonta pelo menos ao *Teeteto* (369 AEC) de Platão, a filosofia da ciência (ou “das ciências”, como alguns preferem), assim primeiramente nomeada em *Essai sur la philosophie des sciences: Exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines* (1834), de André-Marie Ampère, não parte do conhecimento tomado de uma forma geral e abstrata, mas sim de um domínio de conhecimento preciso, específico e com limites temporais fixados (Nouvel, 2013, pp. 18-21). Para conectarmos a epistemologia social à filosofia da ciência, considerando as ciências atuais (formais e empíricas) – sem entrar na definição da unidade dessas áreas (cf. Cat, 2024) –, podemos usar uma noção de crença similar àquela de epistemologia geral. No entanto, precisamos enfraquecer o requisito factual da verdade e fortalecer o da justificação de uma crença, posto que, diferentemente do senso comum, a “verdade” de uma proposição científica é sempre relativa a um sistema, que pode ser interpretado de modo realista ou não, e os critérios de justificação nas disciplinas científicas são tipicamente mais exigentes que aqueles do senso comum. A seguir oferecemos uma caracterização geral para o conhecimento científico, mas não completamente detalhada, já que exigiria um trabalho à parte.

Definição 1 (crença, justificação, conhecimento e normatividade nas ciências)

Entendemos por *conhecimento científico* uma crença metodologicamente justificada e amplamente aceita como verdadeira em um grupo normativo que caracteriza parcialmente a comunidade científica. Adotamos as seguintes convenções para crença, justificação, conhecimento e normatividade epistêmica na comunidade científica:

- *Crença* é uma *hipótese* cujo valor de verdade pode, ao menos em princípio, ser decidido por métodos científicos (ou seja, pode-se conceber um método formal ou empírico para avaliar objetivamente a hipótese).
- *Crença justificada* é uma *conjectura* ou *tese*, ou seja, uma hipótese corroborada por evidências, estudos de caso, entre outros meios que, dentro do método científico, justifiquem uma crença e fortaleçam uma hipótese.
- *Conhecimento* é um *teorema* (formal), *teoria* (formal ou empírica) ou *descrição* (de fato pretérito, atual ou futuro) que, além de ser uma crença justificada, possui ampla aceitação como verdadeira na comunidade científica.
- Um grupo é *epistemicamente normativo* se seus membros aceitam como verdade aquilo que um subgrupo especializado decide aceitar como verdade.

Ainda que não seja nosso foco nos deter nos temas implicados na definição anterior, cabem ao menos seis observações:

- I. Primeiramente: uma crença científica Bp sobre uma proposição p é mais restritiva que uma mera crença (em epistemologia geral) sobre p , pois toda crença científica é uma hipótese possível objetivamente investigável. Exceções incluem “hipóteses degeneradas” (ainda chamadas de “hipóteses” por costume), como a hipótese do contínuo, cujo nome advém de uma hipótese em sentido próprio para a teoria dos conjuntos ZFC, mas que hoje se sabe se tratar de uma afirmação independente de ZFC, indecidível se verdadeira ou falsa; ou seja, a hipótese do contínuo não pode ser provada nem refutada, mas pode ou não ser adotada como axioma no sistema ZFC (cf. Fajardo, 2025, pp. 148-150). O critério de “decidibilidade” na definição de crença/hipótese científica é importante para distinguir esse tipo de crença como aquele que se volta ao “desejo de conhecer cientificamente”; uma vez que uma hipótese é provada indecidível, não é mais possível sustentá-la dentro de um sistema. Vale dizer que esse critério é aqui adotado para ser mais amplo que a “falibilidade” popperiana (Popper, 1974 [1959]), pois a proposta de Popper é difícil de ser compatibilizada com as ciências formais (como matemática, ciência da computação e lógica), em que uma

teoria, uma vez provada em um sistema, não é falseável, para além de outras limitações debatidas sobre a proposta de Popper (Nouvel, 2013, pp. 188-200).

- II. O critério de justificação também merece uma observação: aqui uma justificação Jp sobre uma proposição p é mais rigorosa que aquela em epistemologia geral, posto que pressupõe justificação dentro do “método científico”, que pode ser entendido como um conjunto de regras e princípios que rege o que é e o que não é justificado. A função desse critério de rigorosidade deve-se à discussão sobre a “delimitação da ciência”, para que a justificação científica não se confunda com a justificação em contextos de senso comum. Por exemplo: pelo senso comum, pode-se julgar que não há nada em um determinado local do céu simplesmente por não se poder ver nada naquela região a olho nu, mas em astronomia essa observação não traria nenhum grau de força de justificação, haja vista que o método científico impõe, nesse caso, o uso de outros métodos para a justificação dessa afirmação, como o uso de telescópio, bem como ferramentas de detecção em comprimentos de onda que são indetectáveis ao olho humano, como aqueles do infravermelho. Não cabe a este artigo se deter na definição específica de “método científico”, o que por si só caracteriza um campo da filosofia da ciência (cf. Cupani, 2018, pp. 121-151); cabe aqui apenas explicitar que pressupomos algum critério metodológico para uma demarcação da justificação científica.
- III. Convém também uma observação sobre o conceito de conhecimento científico e sua relação com a “verdade”: para além da noção de mera justificação, a noção de conhecimento científico Kp sobre uma proposição p implica *ampla aceitação* de grupo. Essa ampla aceitação ocorre, em boa parte, não somente pela efetividade do método, mas pelo “éthos” ou pelas “normas epistêmicas” da comunidade científica (cf. Cupani, 2018, pp. 215-242). Em filosofia da ciência, discute-se quais seriam exatamente essas normas; Merton (1964) propõe cinco: comunitarismo, universalismo, desinteresse, originalidade e ceticismo organizado. Não cabe a este artigo detalhar essas normas, mas cumpre destacar que partimos do pressuposto de que a comunidade científica é um grupo em grande parte *normatizado* por um conjunto de valores ideais (mais ou menos alcançáveis na prática), não somente regras metodológicas, e que contribuem para a aceitação de que uma “proposição é verdadeira”.
- IV. Vale ainda observar que, em domínio semântico lógico, usamos “verdade” em sentido metafisicamente neutro, via semântica de Tarski, na leitura de da Costa, (2018, p. 125 e ss.); já em uma ciência particular, como

dito anteriormente, aceita-se uma proposição como verdadeira em um determinado sistema, nunca em absoluto. Vejamos dois exemplos. Exemplo formal: na álgebra elementar e na aritmética de Peano, $x + x = 2x$ e $1 + 1 = 2$; já na aritmética transfinita (teoria de cardinais e ordinais), para cardinais infinitos (como \aleph_0 para os números naturais), vale a propriedade $\kappa + \kappa = \kappa$, portanto, $\aleph_0 + \aleph_0 = \aleph_0$, enquanto que, para ordinais, vale $\omega + \omega = \omega \cdot 2 > \omega$; com o número “1” em particular podemos obter outro resultado ainda em álgebra booleana: $1 + 1 = 1$ (pois $1 + 1 = 1 \vee 1 = 1$). Exemplo empírico: em física quântica, um elétron pode estar em superposição de dois estados (como no experimento de dupla fenda, em que pode ser associado simultaneamente às trajetórias da fenda da esquerda e da direita, até a medição); já em física relativística clássica, qualquer objeto tem uma trajetória definida no espaço-tempo, não podendo estar “em dois lugares ao mesmo tempo”, de modo que a noção de trajetória clássica é incompatível com a ideia de superposição quântica.

- V. Nem toda crença cientificamente justificada é um conhecimento científico. Exemplo: há atualmente várias hipóteses justificáveis sobre o destino do universo observável, talvez a mais popular seja a conjectura do Big Freeze (ao longo do tempo, pode haver uma diminuição espontânea da entropia pelo teorema de recorrência de Poincaré, de flutuações térmicas e do teorema da flutuação); mas há outras hipóteses justificáveis, como Big Rip, Big Crunch e Big Bounce; em geral, cada hipótese baseia-se em comportamentos não bem conhecidos da energia escura. Nenhuma dessas teses é amplamente aceita como verdadeira na comunidade científica.
- VI. Por fim, convém dois exemplos concretos para a compreensão do funcionamento da *normatividade epistêmica* em ciências: no século XVII, Pierre de Fermat disse ter desenvolvido um teorema para provar que não há solução inteira com $n > 2$ e x, y, z inteiros > 0 para a equação $x^n + y^n = z^n$ (generalização do teorema de Pitágoras). Como Fermat nunca publicou essa prova, essa hipótese não foi reconhecida propriamente como teorema ou como “conhecimento científico” até 1995, com a publicação do teorema de Fermat-Wiles. A maioria dos matemáticos (sobretudo de outras áreas que não a álgebra: topologia, geometria etc.) não revisitam essa prova para aceitarem essa afirmação como verdadeira; em vez disso, aceitam-na como verdadeira por seguirem o subgrupo especializado com autoridade no assunto, podendo inclusive usá-la para suas próprias demonstrações em seus respectivos campos de atuação (quando aplicável). Vejamos agora um exemplo de ciência empírica: Em 1964, Peter Higgs conjecturou a existência de um bóson, hoje chamado “bóson de Higgs”, mas tal partícula

elementar bosônica, prevista no Modelo Padrão, apenas pôde ser observada décadas mais tarde, graças à tecnologia do LHC (especificamente entre 2011-2013). Embora o experimento possa ser refeito e reavaliado dentro do grupo de especialistas no assunto, os físicos de modo geral assumem como verdadeira a existência desse bóson, e levam em conta esse resultado em seus respectivos campos de atuação (quando aplicável).

Como a noção de “conhecimento científico” que estamos empregando implica uma aceitação de verdade relativa a um sistema e a um grupo normatizado por certos valores e regras, precisamos de uma semântica flexível, que mais tarde será detalhada. Antes, devemos esclarecer alguns conceitos epistêmicos, a começar pela noção de “crença de grupo”. Para essa noção, podemos empregar uma definição mais geral (híbrida) de “*Group Agent*”, de Jennifer Lackey (2021, p. 49):

Definição 2 (crença de grupo). *Um grupo G acredita que p se e somente se:*

1. *Há uma porcentagem significativa de membros operativos de G que acreditam que p .*
2. *Os membros são tais que a soma da base de suas crenças de que p resulta em um conjunto de crenças que não seja substancialmente incoerente.*

*Outras definições podem ser encontradas em Cichoski e Ruivo (2017).

Com a condição (1), essa definição captura a intuição por trás do princípio de Margaret Gilbert (1987): “Um grupo G acredita que p se e somente se os membros de G estiverem conjuntamente comprometidos em acreditar que p como um corpo”. Por sua vez, pela condição (2), a autora procura se esquivar do problema de crenças inconsistentes em um grupo formado por maioria simples, identificado por List e Pettit (2011); esse problema pode ser ilustrado pelo seguinte exemplo (Cichoski & Ruivo, 2017, p. 520):

(Painel sobre Mudança Climática). *Em um painel sobre mudança climática, três cientistas apresentam suas atitudes sobre as seguintes proposições p , $p \rightarrow q$ e q , a saber:*

p : As emissões globais de dióxido de carbono a partir de combustíveis fósseis estão acima de 6500 milhões de toneladas por ano.

$p \rightarrow q$: Se as emissões globais de dióxido de carbono a partir de combustíveis fósseis estão acima de 6500 milhões de toneladas por ano, então a temperatura global irá aumentar pelo menos 1,5 graus Celsius nas próximas três décadas.

q: A temperatura global irá aumentar pelo menos 1,5 graus Celsius nas próximas três décadas.

Na tabela a seguir, suponha que os cientistas são individualmente consistentes e suas crenças individuais podem ser agregadas; que a crença coletiva é o resultado de uma agregação majoritária; e que 1 e 0 designam, respectivamente, “verdadeiro” e “falso”:

Cientista/Proposição	p	$p \rightarrow q$	q
Cientista 1	1	1	1
Cientista 2	1	0	0
Cientista 3	0	1	0
Grupo (maioria)	1	1	0

Uma forma de interpretar a tabela anterior seria por meio de uma lógica fuzzy (como o sistema \mathbb{L}_κ de Łukasiewicz; cf. Priest, 2008, p. 224) com valoração v que atribui às proposições um valor no intervalo $[0,1]$, ou seja, $\{x: 0 \leq x \leq 1\}$; nesse caso, teríamos que, para o Grupo (maioria), $v(p) = \frac{2}{3}$, $v(p \rightarrow q) = \frac{2}{3}$ e $v(q) = \frac{1}{3}$. Nessa interpretação, podemos ler a implicação à moda de \mathbb{L}_κ : se $x \leq y$, então $x \rightarrow y = 1$; se $x > y$, então $x \rightarrow y = 1 - (x - y)$. Na última linha da tabela, teríamos um caso em que $\frac{2}{3} > \frac{1}{3}$, portanto $v(p \rightarrow q) = \frac{2}{3}$. Contudo, se quisermos uma solução em lógica bivalente, precisaremos de outros artifícios.

Note (pelos destaques na tabela) que, por maioria, assumimos que o grupo G acredita que q é falso, mas, ao mesmo tempo, esse grupo acredita que p e $p \rightarrow q$ são verdadeiros, o que intuitivamente (em uma lógica modal normal) deveria levá-lo a acreditar que q também seja o caso. Entretanto, em termos modais de crença B de G , temos um caso em que não vale o esquema (K), pois é verdade que $B_G(p \rightarrow q)$ e $B_G p$, mas não que $B_G q$.

$$(K). B_G(p \rightarrow q) \rightarrow (B_G p \rightarrow B_G q)$$

Vale observar que a condição (2) de Lackey se desvia desse problema; todavia, não o esclarece logicamente. Além disso, a depender do que se está analisando em um grupo, é questionável se convém simplesmente desconsiderar

suas crenças incoerentes. Parece que, até mesmo na comunidade científica, esse tipo de fenômeno da maioria é aplicável. Por exemplo: em uma pesquisa recente (Myers *et al.*, 2021) com um grupo de 153 especialistas em clima, feita de forma independente para cada cientista, 98,7% deles indicaram que a Terra está aquecendo principalmente devido à atividade humana, como a queima de combustíveis fósseis. Esse dado representa uma maioria esmagadora em torno de uma crença de grupo cientificamente justificada com uma informação socialmente relevante.

Em crenças coletivas nas ciências, não deve ser subestimado o fator de justificação. Parece que a comunidade científica não apenas tem uma crença de grupo, mas uma aceitação da justificação da crença, no sentido de que um consenso científico reflete também uma aceitação coletiva na metodologia que fundamenta a consideração de uma proposição como verdadeira. Podemos entender esse fenômeno através das noções de “aceitação de grupo” e “crença posicional de grupo” de Tuomela (cf. Tuomela, 2013, p. 127; Tuomela, 2007, p. 135; Cichoski; Ruivo, 2017, p. 528), definidas a seguir:

Definição 3 (aceitação de grupo). *Um grupo G aceita p como verdadeira (ou corretamente assertível) para si mesmo se, e somente se, os membros de G aceitam coletivamente p como verdadeira para G como um grupo.*

A noção de “aceitação”, se aplicada a um grupo definido em termos de maioria, também está suscetível a um problema semelhante, conhecido como “paradoxo doutrinal”. Esse paradoxo é extensamente debatido na área de Teoria Social da Escolha (cf. List, 2013; Grossi; Pigozzi, 2014) e interpretado formalmente em Lógica de Jogos (Pauly, 2007; Daniels, 2011). Podemos adaptá-lo à situação do paradoxo anterior: suponha que os três cientistas aceitem que $p \vee q$ é verdadeira, mas diverjam quanto a qual das proposições disjuntas é verdadeira. Nessa situação, teríamos o seguinte quadro:

Cientista/Proposição	p	q	$p \wedge q$
Cientista 1	1	1	1
Cientista 2	1	0	0
Cientista 3	0	1	0
Grupo (maioria)	1	1	0

Se interpretarmos a “aceitação” como um operador modal (Pacuit, 2017, p. 19), por exemplo, pelo operador de J , para “ter uma justificação para”, não vale para o grupo (maioria) o chamado axioma (C):

$$(C). (J_G p \wedge J_G q) \rightarrow J_G(p \wedge q)$$

Notamos que G tem uma justificação para p e uma outra para q , mas não para a conjunção de ambas (a conjunção não está justificada, pelas condições de Tuomela). Esse é mais um princípio comum de lógica modal normal, mas que não funciona para justificação em grupos.

Tuomela ainda oferece uma noção interessante de crença posicional de grupo que aplica o conceito anterior de aceitação. Para simplificar nossa interpretação lógica posterior, podemos adaptar essa noção para grupos totais (e não relativos a uma maioria), ou seja, que abrangem todos os agentes do grupo.

Definição 4 (crença posicional de grupo). *Um grupo G possui crença posicional em relação a um subgrupo g de que p se e somente se:*

1. *Os membros do grupo [com poder para tomada de decisão] aceitam coletivamente que p é a perspectiva do grupo.*
2. *Existe uma crença mútua entre os membros do grupo [com poder para tomada de decisão] de que (1) é o caso.*
3. *Caso existam outros membros do grupo [aqueles que não dispõem de poder para tomada de decisão], eles aceitam p (em virtude da normatividade do grupo).*
4. *Existe uma crença mútua no grupo de que (3) é o caso.*

Note que a abordagem de Tuomela possui um pressuposto normativo de algum subgrupo de pesquisa $g1 \subseteq G$ dentro de um supergrupo G ; quando um grupo está subordinado a um subgrupo desse modo, anotaremos como G^{g1} . Além disso, há um pressuposto de racionalidade para ambos os grupos (pelas condições 2 e 4). Esses pressupostos são aproximadamente aceitáveis para modelarmos o consenso científico, mas convém destacar que podem ser mais facilmente contestáveis em outros casos de crenças comuns em um grupo.

Todavia, alguém poderia colocar a seguinte questão: e se houver mais de um subgrupo científico normativo dentro de G ? Essa situação parece plausível no contexto das ciências, ao menos nas ciências empíricas/reais (tais como física, biologia e economia), o que pode nos levar a mais um paradoxo. No caso em que haja uma forma de saber que p , por uma determinada metodologia científica (digamos, aquela adotada na física quântica) é aceita por G , e $\neg p$, por

uma outra metodologia (digamos, aquela adotada na física relativística clássica) igualmente aceita pelo grupo geral, isso nos deixaria com o seguinte quadro:

Grupo/Proposição	p	$\neg p$	$p \wedge \neg p$
subgrupo $g_1 \subseteq G$	1	0	0
subgrupo $g_2 \subseteq G$	0	1	0
Supergrupo G^{g_1, g_2}	1	1	0

Para a tabela anterior, assumamos a seguinte interpretação: g_1 é um subgrupo de cientistas que demonstra, pelo experimento da dupla fenda, que uma partícula pode estar em sobreposição; g_2 é um subgrupo independente de cientistas que demonstra, por uma teoria determinística de campos e trajetórias, que qualquer corpo não pode estar em duas trajetórias ao mesmo tempo no tempo-espaço. Ambos são subgrupos da comunidade científica, com crenças metodologicamente justificadas e aceitas como verdadeiras por seus pares. Como o supergrupo G no qual se encontram é *normativo* de modo a automaticamente também aceitar o que subgrupos especialistas assumem como verdadeiros em suas áreas, então podemos dizer que o grupo G^{g_1, g_2} se vê obrigado a aceitar como verdadeiro tanto que p quanto que $\neg p$. Note que nessa descrição não se está fazendo distinção sobre o fato de p ser verdadeiro em um sistema (quântico), mas falso em outro (clássico); simplesmente está se descrevendo que ambos são considerados verdadeiros na comunidade científica.

Desse modo, se sintetizarmos o conhecimento de um grupo (total) G pela expressão E'_G (lê-se: “todos sabem que”), também não vale para o grupo G^{g_1, g_2} o princípio (C). Vale observar que $(E'_{G^{g_1, g_2}} p \wedge E'_{G^{g_1, g_2}} \neg p) \rightarrow E'_{G^{g_1, g_2}} (p \wedge \neg p)$ é uma instância desse princípio. Pegamos um caso de *dissenso* científico estrito (com uma contradição $p \wedge \neg p$), para que fique claro como não é desejável que se conclua a conjunção, ainda que os subgrupos de cientistas possam ter divergência quanto a fórmulas distintas quaisquer. E o mesmo raciocínio pode-se aplicar, *mutatis mutandis*, ao caso do princípio (K) discutido anteriormente.

Curiosamente, esse problema não parece surgir quando o princípio (C) é invertido, ou seja, quando temos o conhecido esquema (M):

$$(M). E'_{G^{g_1, g_2}} (p \wedge q) \rightarrow (E'_{G^{g_1, g_2}} p \wedge E'_{G^{g_1, g_2}} q)$$

O esquema (M) parece apropriado, caso assumamos dois pressupostos:

- a. Os conhecimentos dos subgrupos g_1 e g_2 são totais (não apenas de maiorias).
- b. Os subgrupos g_1 e g_2 são coerentes em termos de lógica modal normal.

O pressuposto (a) serve para evitarmos os paradoxos relacionados a maiorias, enquanto o pressuposto (b) garante-nos que o conhecimento científico nunca será contraditório e os agentes nesse grupo terão um raciocínio normal sobre o que conhecem.

Vale dizer que o pressuposto da totalidade (a) não é apenas um recurso de simplificação, mas também reflete o fato de que uma pesquisa científica costuma ser feita e analisada primariamente por um grupo bem delimitado e ordenado de agentes epistêmicos. Há casos, no entanto, em que há um conhecimento científico distribuído no grupo (em que cada um conhece parte de um processo), o que denominamos D_g . Por exemplo, para dois cientistas a_1 e a_2 :

$$(K_{a_1}\varphi \wedge K_{a_2}(\varphi \rightarrow \psi)) \rightarrow D_{a_1,a_2}\psi$$

Exemplo de conhecimento científico distribuído: Suponha um astrônomo a_1 que sabe apenas que um exoplaneta transita sua estrela (φ); e suponha um astrofísico a_2 que, embora não esteja ciente dessa observação, sabe que se um exoplaneta transita sua estrela, então é possível calcular seu raio a partir da queda de luminosidade ($\varphi \rightarrow \psi$). Individualmente, nenhum dos dois cientistas sabe o raio do exoplaneta; juntos (de forma distribuída), o grupo sabe que seu raio pode ser calculado (ψ).

Eventualmente um outro agente a_3 (como o leitor deste artigo) ou um grupo de agentes g (o grupo de leitores deste artigo) pode ter conhecimento desse conhecimento distribuído (ou seja, saber que há aquele conhecimento distribuído). Aproveitando o exemplo anterior, teríamos, para um agente a_3 : $K_{a_3} D_{a_1,a_2}\varphi$; ou, para um subgrupo g : $E_g D_{a_1,a_2}\varphi$ onde a_1 e a_2 podem ou não estar em g .

Do par de pressupostos (a) e (b) decorre que o grupo maior G^{g_1,g_2} nunca se verá em uma situação em que tenha conhecimento de $p \wedge q$ e não tenha conhecimento de um dos dois termos em separado. Para o caso particular anterior, obtemos a seguinte tabela:

Grupo/Proposição	$p \wedge q$	p	q
$g_1 \subseteq G$	1	1	1
$g_2 \subseteq G$	0	1	0
G^{g_1, g_2}	1	1	1

Se aceitarmos tais pressupostos para uma aceitação normativa em comunidade científica, é fácil ver que *não* há o mesmo tipo de conhecimento “ E ” entre aquele dos subgrupos g_1 e g_2 e aquele do grupo geral G^{g_1, g_2} . No primeiro caso (duas primeiras linhas), temos um conhecimento científico direto E que obedece a uma lógica epistêmica normal; no segundo (última linha, para G^{g_1, g_2}), temos um conhecimento indireto E' (justificado por se saber de conhecimentos científicos de subgrupos especializados), desse modo, funcionando como um operador que agrega e generaliza a aceitação de conhecimentos de grupos (podemos chamar de “conhecimento de supergrupo”).

Desse modo, precisamos distinguir na comunidade científica dois tipos de conhecimento mútuo: E'_{G^g} e E_g . No caso E'_{G^g} , trata-se de um conhecimento mais fraco que o caso E_g , como podemos constatar pelo fato de não ser governado pelos princípios (K) e (C), mas apenas obedecer a (M), enquanto que o conhecimento normativo (E_g) obedece a todos esses (a seguir listamos esses princípios e rasuramos os não aceitos por E'_{G^g}):

- (K): $\neg E'_{G^{g_1, g_2}}(p \rightarrow q) \rightarrow (E'_{G^{g_1, g_2}} p \rightarrow E'_{G^{g_1, g_2}} q)$
- (C): $\neg (E'_{G^{g_1, g_2}} p \wedge E'_{G^{g_1, g_2}} q) \rightarrow E'_{G^{g_1, g_2}}(p \wedge q)$
- (M): $E'_{G^{g_1, g_2}}(p \wedge q) \rightarrow (E'_{G^{g_1, g_2}} p \wedge E'_{G^{g_1, g_2}} q)$
- (K): $E_{g_1, g_2}(p \rightarrow q) \rightarrow (E_{g_1, g_2} p \rightarrow E_{g_1, g_2} q)$
- (C): $(E_{g_1, g_2} p \wedge E_{g_1, g_2} q) \rightarrow E_{g_1, g_2}(p \wedge q)$
- (M): $E_{g_1, g_2}(p \wedge q) \rightarrow (E_{g_1, g_2} p \wedge E_{g_1, g_2} q)$

Em termos de aplicação para Filosofia da Ciência com respeito a uma fórmula qualquer φ , podemos ler esses operadores da seguinte maneira:

$E_g \varphi$: “há um *consenso direto* científico sobre φ ”.

Leitura literal: “o grupo g sabe que φ em virtude de seus membros o comprovarem diretamente”.

$E'_{Gg} \varphi$: “há um *consenso indireto* científico sobre φ ”.

Leitura literal: “o grupo G sabe que φ em virtude de seus membros confiarem em um subgrupo especializado g ”.

$E'_{Gg_1g_2} \varphi \wedge E'_{Gg_1g_2} \neg \varphi$: “há um *dissenso* científico sobre φ ”.

No próximo tópico, oferecemos uma semântica relacional em estados/mundos possíveis para representar os sentidos científicos. Na sequência (terceira seção deste artigo), oferecemos uma interpretação dos consensos e dos dissensos em uma semântica de vizinhança.

2. Conhecimento em subgrupos da comunidade científica

Para nos adequarmos às expectativas de grupo na comunidade científica, bem como a abordagens atuais em teoria dos jogos e lógica de anúncios públicos (uma lógica epistêmica dinâmica que permite determinadas revisões do conhecimento), podemos utilizar, no lugar de “crença mútua” (na definição anterior), as noções de “conhecimento mútuo” e “conhecimento comum”, conforme as definições a seguir, e então estabeleceremos uma relação de conhecimento posicional de grupo.

A partir daqui, podemos sintetizar e abreviar as definições e as proposições utilizando uma linguagem formal L_{Kn} para conhecimento em grupo. As fórmulas (expressões bem formadas) dessa linguagem podem ser dadas recursivamente por um formulário de Backus-Naur, ou *Backus-Naur Form* (BNF), como se segue:

$$\varphi := p \mid \neg \varphi \mid (\varphi \wedge \psi) \mid K_i \varphi, i \in A \mid D_G \varphi, G \subseteq A \mid C_G \varphi, G \subseteq A \mid [\varphi] \psi.$$

Nesse formulário, p é uma proposição atômica qualquer e a expressão $K_i \varphi$ indica que i é um agente no conjunto de agentes A que sabe que φ . As operações E_G , D_G e C_G são, respectivamente, operações epistêmicas para “todos sabem que”, “há um conhecimento distributivo de que” e “há um conhecimento comum de que”. A fórmula $[\varphi] \psi$ será esclarecida mais tarde. E os operadores de negação \neg e conjunção \wedge são assumidos primitivamente para

que, a partir desses, possam-se definir abreviadamente os demais operadores da lógica clássica:

- $\varphi \vee \psi \equiv \neg(\varphi \wedge \psi)$
- $\varphi \rightarrow \psi \equiv (\neg\varphi \vee \psi)$
- $\varphi \leftrightarrow \psi \equiv ((\varphi \rightarrow \psi) \wedge (\psi \rightarrow \varphi))$

Agora podemos fornecer as seguintes definições de conhecimento em grupo:

Definição 5 (conhecimento mútuo). *Há conhecimento mútuo de φ em um grupo G se, e somente se, para todo agente $a \in G$, $K_a\varphi$. Quando todos em um grupo G sabem que p , escrevemos $E_G p$. Formalmente:*

$$E_G \varphi \equiv \bigwedge_{i \in G} K_i \varphi,$$

onde $\bigwedge_{i \in G} K_i \varphi$ é a conjunção das fórmulas “ $K_a \varphi \wedge K_b \varphi \wedge \dots$ ” (com abuso de notação) para indivíduos $a, b, c \dots$ de um grupo de agentes G .

Na sequência, a noção de conhecimento comum é mais complexa. Pressupõe o conhecimento mútuo, mas não pode ser introduzida por definição abreviativa; requer uma relação diferente, que amplia/enriquece a linguagem (Sant’Anna, 2005, p. 9). Abaixo há três versões (posteriormente, assumimos a terceira):

Definição 6.1 (conhecimento comum). *Assumindo um conjunto de estados (um subconjunto de S) como um evento, seja K_{a_1} e K_{a_2} funções de conhecimento dos indivíduos a_1 e a_2 para o conjunto S de estados. Um evento $E \subseteq S$ é conhecimento comum entre a_1 e a_2 no estado $s \in S$ se s é um membro de todo conjunto na sequência infinita $K_{a_1}(E), K_{a_2}(E), K_{a_1}(K_{a_2}(E)), K_{a_2}(K_{a_1}(E)), \dots$ (Osborne, 1994, p. 73).*

Definição 6.2 (conhecimento comum). *Há um conhecimento comum em um grupo G sobre uma proposição p se, e somente se, se todos em G conhecem p , então todos em G sabem que todos em G conhecem p , etc. Formalmente: seja $E_G^0 p = p$, $E_G^1 = E p$ e $E_G^{k+1} = E_G E_G^k p$, escrevemos $C_G \varphi$ se $E_G^k \varphi$ para $k = 1, 2, \dots$ (Fagin, 1995, pp. 23-24):*

$$C_G \varphi \equiv \bigcap_{k=1}^{\infty} E_G^k \varphi.$$

Definição 6.3 (conhecimento comum). *O conhecimento comum também pode ser definido pela seguinte relação (Rendsvig, 2023):*

$$R_G^C \equiv \left(\bigcup_{i \in G} R_i \right)^*,$$

onde a operação $(R)^*$ designa uma função de fechamento transitivo reflexivo sobre uma relação R de um agente $i \in G$. Se R é uma relação binária $s_1 R s_2$, então $(R)^*$ é R mais R em um par reflexivo e todos os pares de estados que faltam para fazer R uma relação transitiva.

Exemplo: em uma relação $\left(\bigcup_{i \in \{a,b\}} R_i \right)^*$, podemos chegar a s_3 a partir de s_1 em duas etapas, parando em s_2 .

Desde Lewis (1969), há uma extensa discussão focada em conhecimento e crença comuns em lógica modal (Halpern; Moses, 1990), epistemologia social (Cubitt; Sugden, 2003) e teoria dos jogos (Geanakoplos, 1995; Pacuit; Roy, 2017). No entanto, não temos espaço para aprofundá-la neste estudo. Ponto importante desse operador é que ele nos permite mostrar como o conhecimento científico geral de uma área depende do conhecimento compartilhado por um subgrupo de especialistas que estudam certas proposições. Em outras palavras, ele representa a ideia de que o conhecimento comum pode ser expresso como uma implicação entre diferentes tipos de conhecimento mútuo:

$$C_{Gg}(E_g \varphi \rightarrow E'_{Gg} \varphi).$$

Posteriormente, diferenciaremos formalmente conhecimentos mútuos E_G de E'_G . Com respeito a C_{Gg} , também é possível interpretar como C'_{Gg} , embora não sejam equivalentes (como mais tarde ficará claro). De todo modo, o conhecimento comum dessa implicação se justifica na comunidade científica na medida em que os cientistas costumam estar cientes de que se trata de um grupo com conhecimento posicional normativo. Isso é o que possibilita a um matemático usar um teorema que ele pode não saber provar, mas que já foi provado, ou a um físico usar um dado que ele próprio não constatou, mas que foi confirmado por experimentos de outros físicos e revisado por um grupo competente de especialistas, ou mesmo a um biólogo levar em conta informações sobre espécies que ele próprio nunca constatou, mas que foram devidamente descritas e revisadas por pares.

Finalmente, é interessante destacar que em um grupo também podemos ter “conhecimento distribuído” (introduzido também por definição ampliativa).

Há também uma discussão a respeito desse tipo de conhecimento de grupo (cf. Halpern; Moses, 1990; Roelofsen, 2007) que extrapola os fins desta pesquisa, mas que ainda assim cumpre ser indicada, pois é razoável assumir que exista conhecimento científico distribuído. Trata-se de um conhecimento que, embora ninguém possa tê-lo em particular, existe na somatória dos conhecimentos dos membros, conforme definição a seguir.

Definição 7 (conhecimento distribuído). *Existe um conhecimento distribuído D entre agentes a_1, a_2, \dots, a_n (tal que n é um número natural) de que p se e somente se da intersecção entre os conjuntos dos mundos dos agentes a_1, a_2, \dots, a_n segue-se que p . Em síntese, esse operador pode ser definido através da seguinte relação:*

$$R_G^D \equiv \bigcap_{i \in G} R_i.$$

A partir dessas definições formais, podemos definir informalmente (por convenção) um “conhecimento científico” e um “conhecimento científico normativo” dentro de uma comunidade científica. Trata-se de definições informais nominais (Sant’Anna, 2005, pp. 4 e 8), o que significa que estabelecem um nome a partir de termos já conhecidos (o que pode incluir termos formais já definidos), mas não são definidas em um sistema formal específico – então serão adotadas apenas por convenção.

Definição 8 (conhecimento científico). *Um agente cientista α (em uma comunidade científica G) possui conhecimento científico de φ se e somente se:*

1. $K_\alpha \varphi$;
2. *O agente α tem sua crença (de conhecimento) de φ justificada por análises que seguem metodologias aceitas pelo grupo G .*

Para facilitar a exposição, a partir daqui assumimos sempre que $K_\alpha \varphi$ traduz exclusivamente um conhecimento científico sobre φ de algum agente α . Do mesmo modo, $D_G \varphi$, $E_G \varphi$ e $C_G \varphi$ restringem-se a partir daqui ao conhecimento científico, respectivamente, distribuído, total e comum a um determinado grupo de cientistas G . A seguir oferecemos mais algumas definições informais que interpretam as relações entre os grupos de cientistas.

Definição 9 (grupo científico normativo). *Um subgrupo g de cientistas (subconjunto de uma comunidade científica G) possui autoridade normativa sobre G em relação a determinado conjunto de proposições $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n \in \Phi$*

(para n número natural) e suas negações se, e somente se, se g possui conhecimento científico comum sobre qualquer $\varphi_n \in \Phi$, então G tem conhecimento posicional φ_n . Para designar um grupo científico normativo, escrevemos: $g^\ddagger \subseteq G$.

Definição 10 (conhecimento científico normativo). Um subgrupo g de cientistas (subconjunto de uma comunidade científica G) possui conhecimento científico normativo de φ se e somente se:

1. $E_g \varphi$;
2. O subgrupo g tem autoridade reconhecida por G sobre o conteúdo epistêmico de φ , ou seja, em relação a g e φ , o grupo G possui conhecimento posicional de φ . Formalmente: $E_g \varphi \rightarrow E_G g \varphi$.

A partir das noções precedentes, finalmente podemos definir a noção de consenso científico da seguinte maneira:

Definição 11 (consenso científico). Há um consenso científico sobre φ no grupo G se e somente se:

1. O grupo G corresponde a uma comunidade científica em uma determinada área de competência;
2. Existe um subgrupo $g \subseteq G$ com conhecimento científico normativo de φ ;
3. g é um grupo científico normativo sobre uma classe de proposições Φ que inclui φ (escrevemos: g^\ddagger);
4. Não existe um subgrupo $g_2 \subseteq G$ com conhecimento científico normativo de $\neg\varphi$.

Definição 12 (dissenso científico forte). Há um dissenso científico sobre φ no grupo G se e somente se:

1. O grupo G corresponde a uma comunidade científica em uma determinada área de competência;
2. Existem subgrupos $g_1^\ddagger, g_2^\ddagger \subseteq G$ para as mesmas fórmulas em Φ ;
3. $E_{g_1} \varphi$ e $E_{g_2} \neg\varphi$.

É interessante notar que, no caso de dissenso, há conhecimentos posicionais na comunidade científica contrários: $E'_{G^{g_1, g_2}} \varphi \wedge E'_{G^{g_1, g_2}} \neg\varphi$. A comunidade conhece ambas as fórmulas, por

métodos aceitos pelo grupo, até que o dissenso seja resolvido, o que pode acontecer com a adição de nova informação/evidência.

Na Filosofia da Ciência, uma forma conhecida de lidar com esse processo de “atualização do conhecimento científico” é por via da equação de Brookes (1980, p. 131):

$$K[S] + \Delta I = K[S + \Delta S]$$

Nessa pseudofórmula (pois os termos não são rigorosamente definidos), $K[S]$ designa uma estrutura de conhecimento, enquanto ΔI é a adição de uma informação. Da soma desses termos, resulta um conhecimento cuja estrutura é igual à anterior, somada a uma subestrutura modificada pela informação nova. Nessa formulação, como argumenta o autor, está implícito que uma “informação” e um “conhecimento” possuem uma determinada natureza comum, de modo que ΔK poderia substituir ΔI :

$$\Delta I \Leftrightarrow \Delta K$$

Aceitando tal equivalência, esse tipo de estratégia pode ser modelado aproximadamente em termos de Lógica de Anúncios Públicos ou *Public Announcements Logic* (PAL): uma espécie de lógica epistêmica dinâmica que permite que anúncios atualizem modelos de agentes M (sobre a noção lógica de “anúncio”, cf. Plaza, 1989), transformando um modelo ao remover todos os estados em que a fórmula anunciada é falsa. Podemos escrever como $M|_{\varphi}$ um modelo atualizado por uma fórmula φ (detalhes sobre atualização de modelos encontram-se em van Benthem, 2011).

A seguir oferecemos uma estrutura semântica de mundos possíveis, para aplicá-la em um modelo epistêmico de múltiplos agentes. Também discutiremos como lidar com dissensos em ciências através de uma semântica de vizinhança.

3. Lógica epistêmica e conhecimento científico

Neste tópico vamos nos limitar à base semântica de uma lógica epistêmica multiagentes dinâmica para a comunidade científica. Resultados de completude, método de prova e outros podem ser conferidos em Pereira (2015).

3.1. Semântica para os conhecimentos científicos normativos

Definição 13 (modelo epistêmico multiagente). Um modelo epistêmico multiagente M para um conjunto de agentes A é uma estrutura de Kripke $\Delta = \langle S, \{R_i\}_{i \in A} \rangle$ com uma valoração a partir do modelo $M = \langle S, \{R_i\}_{i \in A}, V \rangle$ onde

1. S é um conjunto não vazio de estados/mundos epistêmicos possíveis;
2. para todo $i \in A$, R_i é uma relação binária de ordenação para S ;
3. V é uma função de valoração que mapeia as proposições verdadeiras, $V: Atom \mapsto \wp(S)$ para cada $s \in S$.

Definição 14 (verdade). Denominamos $\|\varphi\|$ o conjunto-verdade de uma fórmula φ . Um conjunto de fórmulas $\Gamma \subseteq L$ é satisfazível se existe algum modelo M e um estado $s \in S$ tal que $(M, s) \models \varphi$ para toda fórmula $\varphi \in \Gamma$. Assim, uma fórmula $\varphi \in L$ é satisfazível quando $\{\varphi\}$ é satisfazível.

Definição 16 (validade). Uma fórmula $\varphi \in L$ é válida em um modelo M , ou seja, $M \models \varphi$, quando $(M, s) \models \varphi$ para todo $s \in S$. Dada uma certa estrutura $\Delta = \langle S, \{N_i\}_{i \in A} \rangle$, para cada $s \in S$, dizemos que uma fórmula φ é válida em s de Δ (ou seja, $(\Delta, s) \models \varphi$), o que denota que $(M, s) \models \varphi$ para todo modelo M baseado em Δ (ou seja, $M = \langle \Delta, V \rangle$). Por sua vez, quando uma fórmula $\varphi \in L$ é válida em Δ (ou seja, $\Delta \models \varphi$), significa que $(\Delta, s) \models \varphi$ para todo $s \in S$. Assim, dada uma certa classe Σ de estruturas, uma fórmula $\varphi \in L$ é válida em Σ (ou seja, $\models_{\Sigma} \varphi$) se e somente se $\Sigma \models \varphi$ para toda estrutura $\Delta \in \Sigma$.

Dentro de um modelo epistêmico multiagente, podemos estabelecer as condições de verdade para as fórmulas básicas de L_{Kn} da seguinte maneira:

- $(M, s) \models p$ (para $p \in Atom$) sse $V(p)$;
- $(M, s) \models \neg\varphi$ sse $(M, s) \not\models \varphi$;
- $(M, s) \models \varphi \wedge \varphi'$ sse $(M, s) \models \varphi$ e $(M, s) \models \varphi'$;
- $(M, s) \models K_i\varphi$ sse $(M, t) \models \varphi$ para todo t tal que $(s, t) \in R_i$;
- $(M, s) \models D_G\varphi$ sse $(M, s') \models \varphi$ para todo $s' \in S$ tal que $sR_G^D s'$;
- $(M, s) \models C_G\varphi$ sse $(M, s') \models \varphi$ para todo $s' \in S$ tal que $sR_G^C s'$.

Agora podemos definir um modelo atualizado por uma fórmula $\varphi\varphi$ qualquer na lista anterior:

Definição 15 (modelo atualizado). *Seja φ uma fórmula qualquer para um sistema PAL, e seja M um modelo epistêmico multiagente para um sistema de PAL, esse modelo atualizado com respeito a uma fórmula anunciada φ é um modelo $M|_{\varphi} = \langle S^{\dagger}, R_i^{\dagger}, V^{\dagger} \rangle$ tal que*

1. $S^{\dagger} = \|\varphi\|_M = \{s \in S : M, s \models \varphi\}$;
2. Para cada aplicação de V^{\dagger} , o modelo $M|_{\varphi}$ se comporta exatamente como a função V sobre M ;
3. $R_i^{\dagger} = R_i \cap (\|\varphi\|_M \times \|\varphi\|_M)$;
4. para cada $s \in S^{\dagger}, V^{\dagger}(\varphi, s) = V(\varphi, s)$.

Em PAL, normalmente representa-se com “[φ] ψ ” a expressão “após qualquer anúncio φ , é o caso que ψ ”, o que satisfaz a seguinte condição:

- $(M, s) \models [\varphi]\psi$ sse $(M, w) \models \varphi \Rightarrow (M|_{\varphi}, s) \models \psi$.

Assim, podemos traduzir aproximadamente a proposta de Brookes dizendo que, se $M, s \models K_{\alpha}\varphi$, então $M|_{K_{\alpha}\psi}, s \models K_{\alpha}(\varphi \wedge \psi)$. Como caso particular, esse princípio vale para o conhecimento científico: se $M, s \models K_{\alpha}\varphi$, então $M|_{K_{\alpha}\psi}, s \models K_{\alpha}(\varphi \wedge \psi)$. Desse modo, podemos parafrasear a equação de Brookes da seguinte forma para conhecimento científico em PAL:

$$(M, s \models K_{\alpha}\varphi + M|_{K_{\alpha}\psi}) = M|_{K_{\alpha}\psi}, s \models K_{\alpha}(\varphi \wedge \psi)$$

Por extensão, esse princípio também vale para o consenso científico, quando há um conhecimento científico normativo de um subgrupo $g \subseteq G$, temos $E_g\varphi$ e então o modelo é atualizado por $M|_{E_g\psi}$. Desse modo, podemos representar uma expansão gradual do conhecimento científico em diferentes áreas das ciências, cada uma relativa a um grupo normativo dentro da comunidade científica.

Por sua vez, uma propriedade interessante de PAL para a aplicação em conhecimento científico é o fato de que um conhecimento pode ser eliminado por um anúncio. Na fórmula anterior, por exemplo, poderíamos ter o anúncio de $\neg\varphi$, ou mesmo de $K_{\alpha}\neg\varphi$, gerando uma contradição com $K_{\alpha}\varphi$ no modelo desatualizado; nesse caso, no modelo atualizado o estado ss em que ocorre a contradição é eliminado.

Essa característica pode ser interpretada na terminologia da Filosofia da Ciência como um caso particular de falseacionismo popperiano (Popper, 1968 [1962]), pois constatava-se um conhecimento científico em um determinado estado da comunidade científica (representado por um modelo M), mas, à luz de uma nova informação/evidência anunciada, não há mais (em um estágio atualizado da comunidade científica).

3.2. O problema da inconsistência nos dissensos científicos

Contudo, ainda precisamos modelar apropriadamente os dissensos científicos. Quando dizemos que há uma ocorrência $E_G^g p \wedge E_G^g \neg p$ para quando há um dissenso, esse tipo de conhecimento não pode ser o K usual em lógica epistêmica, pois levaria a um conhecimento contraditório pelo princípio $(E_G^g p \wedge E_G^g \neg p) \rightarrow (E_G^g (p \wedge \neg p))$. Portanto, não podem existir dissensos científicos no sistema PAL anterior.

Se quisermos admitir dissensos científicos que acarretem esse tipo de conjunção, uma alternativa é definir um conhecimento mais fraco K' . A particularidade desse conhecimento reside em seu menor poder de justificação quando comparado ao conhecimento forte K . Originalmente, Newton da Costa (2018) sugeriu essa distinção para diferenciar o conhecimento das ciências demonstrativas (formais) e aquele das ciências empíricas (reais).

No primeiro caso (para ciências como a matemática, a lógica e a ciência da computação), as justificativas para o conhecimento são teoremas, então é mais adequado o conhecimento forte K representado em uma lógica normal (ou seja, com uma estrutura de Kripke). Já no segundo caso (para ciências como a física, a biologia e a economia), as justificativas são fornecidas por métodos indutivos, heurísticos e investigativos, que são menos rígidos que aqueles utilizados em provas matemáticas.

Para abranger ambos os casos de conhecimento científico (formal e real), da Costa definiu diferentemente K e K' , conforme a definição clássica de conhecimento, mas distinguiu uma justificação forte J e uma justificação fraca J' . A seguir oferecemos os axiomas do autor para os cálculos de justificação:

Justificação forte:

- I. $J(\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow (J\varphi \rightarrow J\psi)$;
- II. $J\varphi \leftrightarrow JJ\varphi$;
- III. $J\varphi \rightarrow \neg J\neg\varphi$;
- IV. $\varphi / J\varphi$;

V. Uma classe de fórmulas $J\varphi$ onde φ é uma proposição aceita como verdadeira por a no campo científico (formal) em consideração.

Axiomas adicionais para justificação fraca:

VI. $J\varphi \rightarrow J'\varphi$;

VII. $K(\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow (J'(\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow (J'\varphi \rightarrow J'\psi))$, onde K obedece à definição abreviativa anterior.

Observe-se que o princípio $J\varphi \rightarrow \neg J\neg\varphi$ garante que não seja possível que φ e sua negação sejam justificáveis (em sentido forte).

Para montarmos um cálculo unicamente com justificação fraca, estes são os axiomas:

i. $\varphi \rightarrow \psi / J'\varphi \rightarrow J'\psi$;

ii. $J'\varphi \leftrightarrow J'J'\varphi$;

iii. $\varphi / J'\varphi$;

iv. Uma classe de fórmulas $J'\varphi$ onde φ é uma proposição apropriada.

O cálculo de justificação fraca de da Costa é governado pelos seguintes esquemas:

Se $\varphi \leftrightarrow \psi$, infere-se $(J'\varphi \leftrightarrow J'\psi)$;

$J'(\varphi \wedge \psi) \rightarrow (J'\varphi \wedge J'\psi)$;

$J'\varphi \leftrightarrow J'J'\varphi$;

Se φ , infere-se $J'\varphi$.

Trata-se de um sistema modal monotônico (cf. Chellas, 1980), como o próprio autor percebe (da Costa, 2018, p. 70). Entretanto, não cabe em uma semântica de Kripke (a semântica padrão de mundos possíveis), embora apresente uma semântica de vizinhanças. Isso ocorre porque o axioma I (uma instância da condição minimal K para lógica modal normal) é substituído pelo axioma (i), mais fraco que o axioma análogo para justificação forte.

Seguindo o espírito da proposta de da Costa, mas simplificando-a para o tratamento apenas do conhecimento, podemos distinguir um conhecimento forte K , que obedece à condição de Kripke, e um conhecimento fraco K' , que siga apenas uma versão mais fraca (tal qual no cálculo de justificação fraca). Todavia, nossa abordagem não é feita para aplicação exclusiva em ciências empíricas, mas sim para caracterizar dissensos científicos, dado que assim é possível representar como os cientistas aceitam igualmente resultados opostos, mas não necessariamente assumem a conjunção deles (o que resultaria em incoerência).

4. Uma lógica epistêmica não normal para dissensos científicos

Nesta seção, forneceremos um *framework* para uma versão fraca de conhecimento científico. Para tal, utilizaremos uma linguagem L'_{Kn} (cujos termos serão progressivamente definidos e explicados no decorrer do tópico), dada pelo seguinte formulário:

$$\varphi := p \mid \neg\varphi \mid (\varphi \wedge \psi) \mid K'_i\varphi, i \in A \mid D'_G\varphi, G \subseteq A \mid C'_G\varphi, G \subseteq A \mid [\varphi]^{\cap}\psi \mid [\varphi]^{\subseteq}\psi.$$

4.1. Semântica para os dissensos científicos

Começemos por definir uma estrutura de vizinhança multiagente e um modelo de vizinhança epistêmica de grupos (cf. Pacuit, 2017, pp. 116-124):

Definição 16 (vizinhança multiagente) *Uma estrutura de vizinhança multiagente é uma tupla $F = \langle S, \{N_i\}_{i \in A} \rangle$, onde S é um conjunto não vazio de estados e, para cada $i \in A$, temos uma função de vizinhança $N_i: S \mapsto \wp(\wp(S))$ para esse agente.*

Definição 17 (modelo de vizinhança multiagente) *Um modelo de vizinhança multiagente é uma tupla $M = \langle S, \{N_i\}_{i \in A}, V \rangle$, onde $\langle S, \{N_i\}_{i \in A} \rangle$ é uma vizinhança multiagente e $V: Atom \mapsto \wp(S)$ é uma função de valoração.*

Analogamente a como utilizamos a função de relação de Kripke R_i para definir um conhecimento total de grupo, seja $N_G: S \mapsto \wp(\wp(S))$ uma função de vizinhança para um grupo G , para todo $s \in S$, dizemos que $N_G(s) \equiv \bigcap_{i \in G} N_i(s)$.

Com essa definição de modelo, podemos estabelecer as condições de verdade para um conhecimento fraco multiagente, como se segue:

- $(M, s) \models p$ (para $p \in Atom$) sse $V(p)$;
- $(M, s) \models \neg\varphi$ sse $(M, s) \not\models \varphi$;
- $(M, s) \models \varphi \wedge \varphi'$ sse $(M, s) \models \varphi$ e $(M, s) \models \varphi'$;
- $(M, s) \models K'_i\varphi$ sse $\|\varphi\|_M \in N_i(s)$;
- $(M, s) \models E'_G\varphi$ sse $\|\varphi\|_M \in N_G(s)$.

Cada função de vizinhança N pode ser associada a uma função de mapeamento $m_N: \wp(S) \mapsto \wp(S)$ para um subconjunto $X \subseteq S$ tal que $m_N(X) = \{s \mid X \in N(s)\}$. Assim, intuitivamente, $m_N(X)$ é o conjunto de

estados em que X é necessário. Assim, podemos obter os seguintes conjuntos-verdade para as fórmulas de nossa linguagem:

- $\|p\|_M = V(p)$, para $p \in \text{Atom}$;
- $\|\neg\varphi\|_M = S - \|\varphi\|_M$;
- $\|(\varphi \wedge \varphi')\|_M = \|\varphi\|_M \cap \|\varphi'\|_M$;
- $\|K'_i\varphi\|_M = m_{N_i}(\|\varphi\|_M)$;
- $\|E'_G\varphi\|_M = m_{N_G}(\|\varphi\|_M)$;

Para obtermos N_G^D como um análogo da relação R_G^D definida na seção anterior, podemos utilizar uma interessante função de vizinhança de agregação (Pacuit, 2017, p. 118). Suponha duas coleções de subconjuntos de S , chamemos de X e Y . A partir desses subconjuntos, considere uma coleção desses conjuntos que consista na intersecção de cada elemento de X e Y :

$$X \cap Y = \{Z \mid Z = X' \cap Y', \text{ para algum } X' \in X \text{ e } Y' \in Y\}.$$

A partir desse conjunto, para cada $\emptyset \neq G \subseteq A$, uma agregação de vizinhança é uma função $N_G^\cap: S \mapsto \wp(\wp(S))$ em que, para cada $s \in S$, $N_G^\cap(s) = \prod_{i \in G} N_i(s)$.

Enquanto um conhecimento distribuído descreve o que um grupo conhece depois de todos no grupo compartilharem o que eles conhecem, um conhecimento comum descreve o que um grupo conhece quando todos são completamente transparentes (sem qualquer comunicação). Seguindo esse raciocínio, podemos definir o conhecimento comum por uma noção de “estados/mundos evidentes”. A definição que oferecemos se restringe a estruturas monotônicas (tais como a do cálculo de justificação de da Costa).

Definição 18 (monotonicidade). *Uma função de vizinhança $N_i: S \mapsto \wp(\wp(S))$ para cada agente $i \in A$ é monotônica se e somente se para todo $s \in S$ e para todos os conjuntos $X, Y \subseteq S$, se $X \subseteq Y$ e $X \in N_i(s)$, então $Y \in N_i(w)$.*

Definição 19 (Estados/mundos evidentes). *Seja $M = \langle S, \{N_i\}_{i \in A}, V \rangle$ um modelo de vizinhança multiagente, um conjunto $E \subseteq S$ é i -evidente para algum agente quando $E \subseteq \{s \mid E \in N_i(s)\}$. Um conjunto E é G -evidente se*

é i -evidente para todos os agentes $i \in G$. De modo geral, um conjunto E é evidente se é A -evidente.

Há diferentes formas de definir conhecimento comum utilizando essa noção de “evidência” (Pacuit, 2017, pp. 119-124). Aqui adotaremos a versão de Lismont e Mongin (1994), pois tem o mesmo espírito da definição que oferecemos anteriormente para conhecimento comum relacional.

A partir de um modelo monotônico de vizinhança multiagente $M = \langle S, \{N_i\}_{i \in A}, V \rangle$, para cada $G \subseteq A$, defina uma função de vizinhança $N_G^c: \wp(S) \mapsto \wp(S)$ tal que

$$N_G^c(Y) = \{s \mid \text{existe um conjunto } E \text{ } G\text{-evidente tal que } s \in m_G(E) \text{ e } E \subseteq Y\}.$$

Para um conjunto $E \subseteq W$, assumamos um conjunto \hat{E}_α , onde α é algum cardinal infinito, tal que, por indução transfinita:

$$\begin{aligned} \hat{E}_0 &= m_G(E); \\ \hat{E}_\alpha &= m_G(E \cap \bigcap_{\beta < \alpha} \hat{E}_\beta). \end{aligned}$$

Por essas definições, conseguimos delimitar, como se seguem, as condições de verdade para o conhecimento distribuído e o conhecimento comum em semântica de vizinhança:

- $(M, s) \models D'_G \varphi$ sse $\|\varphi\|_M \in N_G^\cap(s)$;
 - $(M, s) \models C'_G \varphi$ sse $s \in N_G^c(\|\varphi\|_M)$.
- $\|D'_G \varphi\|_M = m_{N_G^\cap}(\|\varphi\|_M)$;
 - $\|C'_G \varphi\|_M = m_{N_G^c}(\|\varphi\|_M)$.

Nosso interesse em construir essas definições alternativas (sem função de relação entre mundos) de conhecimento científico reside na fraqueza dessas versões. Em uma estrutura de Kripke, há alguns esquemas de fórmulas e regras que são verdadeiros em todos os modelos epistêmicos de múltiplos agentes, enquanto que em estruturas de vizinhança muitos desses esquemas não são válidos em um sistema minimal. A seguir está uma lista com os esquemas

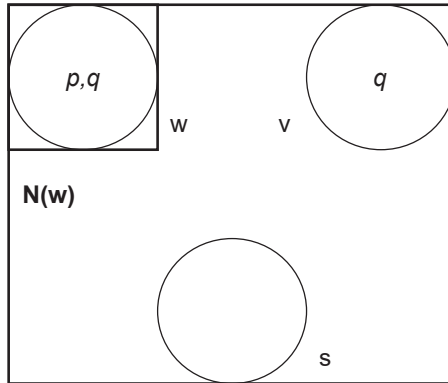
lógicos que, em modelos de vizinhança, não são necessariamente válidos (os quais estão selecionados e rasurados):

- (Dual). $K_i \varphi \leftrightarrow \neg \widehat{K}_i \neg \varphi$
onde \widehat{K}_i é uma “possibilidade epistêmica” (dual de K_i)
- (M). $\neg K_i (\varphi \wedge \psi) \rightarrow (K_i \varphi \wedge K_i \psi)$
- (C). $(K_i \varphi \wedge K_i \psi) \rightarrow K_i (\varphi \wedge \psi)$
- (K). $K_i (\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow (K_i \varphi \rightarrow K_i \psi)$
- (N). $K_i \top$
- (RM). Se $\varphi \rightarrow \psi$, infere-se $K_i \varphi \rightarrow K_i \psi$
- (Nec). Se φ , infere-se $K_i \varphi$
- (RE). Se $\varphi \leftrightarrow \psi$, infere-se $K_i \varphi \leftrightarrow K_i \psi$

Vamos nos limitar a fornecer contraexemplos para (C) e (K) – os princípios indesejados por da Costa para seu cálculo de justificação fraca. Para contraexemplos dos demais sequentes rasurados, bem como para prova da validade de (RE) e (Dual), cf. Pacuit (2017).

- Para (C), seja $M = \langle S, \{N_i\}_{i \in A}, V \rangle$ um modelo de vizinhança para $S = \{w, v\}$, assumamos uma função de valoração com $V(p) = \{w\}$ e $V(q) = \{v\}$ e a seguinte função de vizinhança:
 - $N(w) = \{\{w\}, \{v\}\}$;
 - $N(v) = \{\emptyset\}$.
- Para (K), considere um modelo $M = \langle S, \{N_i\}_{i \in A}, V \rangle$ com vizinhança $S = \{w, v, s\}$ e valores $V(p) = \{w\}$ e $V(q) = \{w, v\}$ para uma função $N_i: S \mapsto \wp(\wp(S))$ tal que:
 - $N(w) = \{\{w\}, \{w, v, s\}\}$.

Como exemplo de representação gráfica de um modelo de vizinhança, segue um diagrama do contraexemplo para (K):



Todavia, se quisermos um sistema monotônico (Pacuit, 2017, p. 55), precisamos do esquema (M). Assim, se Δ_E é uma estrutura minimal de vizinhança, Δ_{EM} é uma estrutura Δ_E acrescida do axioma (M), através do qual podemos derivar (RM) do seguinte modo:

por hipótese:

1. $\varphi \rightarrow \psi$
de 1, por lógica proposicional clássica:
 2. $\varphi \leftrightarrow (\varphi \wedge \psi)$
de 2, por (RE):
 3. $K_i \varphi \leftrightarrow K_i(\varphi \wedge \psi)$
instância de (M):
 4. $K_i(\varphi \wedge \psi) \rightarrow K_i \varphi \wedge K_i \psi$
de 3 e 4, por lógica proposicional clássica:
 5. $K_i \varphi \rightarrow K_i \varphi \wedge K_i \psi$
de 5, por lógica proposicional clássica:
 6. $K_i \varphi \rightarrow K_i \psi$
de 1–6, por dedução:
- $\varphi \rightarrow \psi \vdash_{EM} K_i \varphi \rightarrow K_i \psi$.

Uma estrutura Δ_{EM} é suficiente para descrevermos todas as formas de conhecimento científico em agentes e grupos que discutimos nas seções anteriores. Entretanto, se quisermos que essas formas de conhecimento fraco também sejam dinâmicas/atualizáveis, por meio de anúncios públicos na comunidade científica, então precisaremos definir em modelos de vizinhança a operação de “anúncio público”.

Sabemos que um anúncio público de φ em um modelo M transforma esse modelo em um submodelo, no qual o conjunto de estados é $\|\varphi\|_M$. O problema é: como podemos definir a função de vizinhança no submodelo? Recentemente, Ma e Sano (2015) forneceram duas diferentes soluções para essa questão.

Definição 20 (submodelo de intersecção/subconjunto) *Seja $M = \langle S, \{N_i\}_{i \in A}, V \rangle$ um modelo de vizinhança monotônico (com um conjunto de proposições atômica $Atom$) e $\emptyset \neq X \subseteq W$. O submodelo de intersecção (subconjunto) de M é um modelo atualizado $M^{!X} = \langle X, \{N_i^{!X}\}_{i \in A}, V^{!X} \rangle$, para $! \in \{\cap, \subseteq\}$, tal que, para todo $p \in Atom$, $V^{!X}(p) = V(p) \cap X$ e $N_i^{!X}: X \mapsto \wp(\wp(X))$ designa, para todo $w \in X$ e $i \in A$,*

$$N_i^{\cap X}(w) = \{Y \mid Y = Z \cap X \text{ para algum } Z \in N_i(w)\};$$

$$N_i^{\subseteq X}(w) = \{Y \mid Y \subseteq X \text{ e } Y \in N_i(w)\}.$$

Por essas funções de vizinhança, conseguimos estabelecer condições de verdade para duas versões de anúncios públicos:

- $(M, s) \models [\varphi]^{\cap} \psi$ sse $(M, s) \models \varphi \Rightarrow (M^{\cap \varphi}, s) \models \psi$;
- $(M, s) \models [\varphi]^{\subseteq} \psi$ sse $(M, s) \models \varphi \Rightarrow (M^{\subseteq \varphi}, s) \models \psi$.
- $\|[\varphi]^{\cap} \psi\|_M = (W - \|\varphi\|_M) \cup \|\psi\|_{M^{\cap \varphi}}$;
- $\|[\varphi]^{\subseteq} \psi\|_M = \|\psi\|_{M^{\subseteq \varphi}} \subseteq \|\varphi\|_M$.

Para mais detalhes sobre essas duas versões, cf. Ma e Sano (2015). E para prova de completude de Δ_{EM} e mais detalhes sobre semânticas de vizinhança, cf. Pacuit (2017).

4.2. Interpretação formal da normatização do conhecimento científico

Fundindo as linguagens L_{Kn} e L'_{Kn} com as noções de conhecimento de grupo que vimos e uma função de valoração em $\{1, 0\}$, podemos interpretar de duas formas o conhecimento posicional de grupo: por uma primeira versão (mais forte), que parece adequada às ciências demonstrativas/formais; e por uma segunda versão (mais fraca), que pode se adequar mais a algumas ciências empíricas/reais (como sugeriu Newton da Costa).

Versão forte:

1. $E_g p$
2. Todos sabem* que $(E_g p \rightarrow E'_{Gg} p)$

Considere agora uma versão fraca:

1. $E'_{g} p$
2. Todos sabem* que $(E'_{g} p \rightarrow E'_{Gg} p)$

* A expressão “todos sabem” pode ser interpretada de formas diferentes por E_{Gg} ou C_{Gg} .

De um ponto de vista estático, pode ser especialmente interessante a versão fraca para as ciências empíricas; no entanto, dado que estejamos em um sistema dinâmico (onde as conclusões científicas podem ser revisadas), como em PAL, também é aplicável o conhecimento forte. Mesmo adotando a versão forte, supondo que os subgrupos normativos sejam disjuntos ($g_1 \cap g_2 = \emptyset$), sem cientistas em comum, ainda pode haver dissenso científico não contraditório na escala do grupo total G , o que podemos representar com a seguinte tabela (voltaremos a utilizar a valoração $\{1,0\}$ para fins didáticos):

	p	$\neg p$	$p \wedge \neg p$
E_{g_1}	1	0	0
E_{g_2}	0	1	0
$E'_{Gg_1.g_2}$	1	1	0

Observa-se que para o conhecimento mútuo fraco não vale o princípio $(E'_{Gg_1.g_2} p \wedge E'_{Gg_1.g_2} \neg p) \rightarrow E'_{Gg_1.g_2} (p \wedge \neg p)$, pelo que não há contradição lógica resultante desse dissenso na comunidade científica, nem mesmo em conhecimento distribuído do supergrupo: não é o caso que $(D'_{Gg_1.g_2} p \wedge D'_{Gg_1.g_2} \neg p) \rightarrow D'_{Gg_1.g_2} (p \wedge \neg p)$.

Conclusão

Neste artigo, mostramos como o consenso e o dissenso em uma comunidade científica normativa podem ser modelados (tanto estaticamente quanto dinamicamente) por uma noção de conhecimento posicional de grupo aplicada à lógica epistêmica multiagente com semântica de vizinhança – mais especificamente em um sistema não normal com estrutura monotônica (sistema EM), estrutura essa que se adéqua à “justificação científica fraca” proposta por Newton da Costa para ciências empíricas.

Para tal objetivo, definimos os diferentes tipos de conhecimento científico (em indivíduo e em grupo), incluindo conhecimento mútuo, conhecimento distribuído e conhecimento comum, só então chegando às noções de consenso científico e dissenso científico dentro de um grupo normatizado: ou seja, um grupo cujo conhecimento geral se segue do conhecimento de um subgrupo especializado em um determinado tema (conjunto de fórmulas).

Há dissenso científico se e somente se mais de um subgrupo possui conhecimento científico de grupo e esses conhecimentos são contrários entre si, em termos de conhecimento distribuído. Caso oposto, há consenso científico. Como demonstrado no último tópico do artigo, essa dicotomia pode ser capturada pelo formalismo de uma lógica epistêmica multiagente, sem que se siga uma contradição do conhecimento distribuído.

A partir dessas conclusões, estudos posteriores serão dedicados a pesquisar as propriedades metalógicas dos sistemas possíveis pela interpretação aqui proposta, em comparação com alternativas, como abordagem via lógica fuzzy, por exemplo; outros estudos ainda serão dedicados a testar os limites de aplicação de nossa semântica em contextos epistêmicos específicos.

Disponibilidade de dados:

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

Ausência de conflito de interesses:

O autor declara que não há conflito de interesses.

Editores responsáveis:

Mauro Luiz Engelmann

Referências

- BACHELARD, G. “Ensaio sobre o conhecimento aproximado”. Rio de Janeiro: Contraponto, 2004 [1928].
- BOYD, N. M., BOGEN, J. “Theory and Observation in Science”. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2021.
- BROOKES, B. C. “The foundations of information science; part I”. *Journal of Information Science* 2(3/4), 1980, pp. 125-133.
- CAT, J. “The Unity of Science”. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2024.
- CHELLAS, B. “Modal Logic: An Introduction”. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.
- CICHOSKI, L., RUIVO, L. “Epistemologia Coletiva: crença, justificação e conhecimento de grupo”. *Veritas* 62(3), 2017, pp. 508-539.
- CUBITT, R., SUGDEN, R. “Common Knowledge, salience and convention: A reconstruction”. *Economics and Philosophy* 19 (2), 2003, pp. 175-210.
- CUPANI, A. “*Sobre a ciência: estudos de filosofia da ciência*”. Florianópolis: Editora UFSC, 2018.
- DA COSTA, N. C. A. “O Conhecimento Científico”. São Paulo: Discurso Editorial, 2018.
- DANIËLS, T. “Social choice and the logic of simple games”. *Journal of Logic and Computation* 21 (6), 2011, pp. 883-906.
- DOS REIS, V. M. S., VIDEIRA, A. A. P. “John Ziman e a ciência pós-acadêmica: consensibilidade, consensualidade e confiabilidade”. *Scientiæ Studia*, São Paulo, 11 (3), 2013, pp. 583-611.
- FAGIN, R. *et al.* “Reasoning About Knowledge”. Cambridge, MA: The MIT Press, 1995.
- FAJARDO, R. A. dos S. “A Teoria dos Conjuntos e os Fundamentos da Matemática”. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2025.
- GEANAKOPOLOS, J. “Common Knowledge”. In: AUMANN, R. J., HART, S. (eds.). *Handbook of Game Theory with Economic applications*. Elsevier North-Holland, 1995.
- GILBERT, M. “Modelling Collective Belief”. *Synthese* 73 (1), 1987, pp. 185-204.
- GROSSI, D., PIGOZZI, G. “Judgment Aggregation: A Primer”. Morgan & Claypool Publishers, 2014.
- GUIMARÃES, V. A. L. “O ethos científico e a ciência ‘pós-acadêmica’ na visão de pesquisadores brasileiros”. *Revista de História Iberoamericana* 9 (1), 2016, pp. 28-66.
- HAACK, S. “Evidence Matters Science, Proof, and Truth in the Law”. New York: Cambridge University Press, 2014.
- HALPERN, J., MOSES, Y. “Knowledge and common knowledge in a distributed environment”. *Journal of the ACM* 37 (3), 1990, pp. 549-587.
- LACKEY, J. “The Epistemology of Groups”. New York, NY: Oxford University Press, 2021.
- LEWIS, D. “Convention”. Cambridge University Press, 1969.
- LISMONT, L., MONGIN, P. “Common knowledge: Relating anti-founded situation semantics to modal logic neighbourhood semantics”. *Journal of Logic, Language and Information* 3(4), 1994, pp. 285-302.

- LIST, C. “Social choice theory”. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2013.
- LIST, C., PETTIT, P. “Group agency: the possibility, design, and status of corporate agents”. Oxford: Oxford University Press, 2011.
- MA, M., SANO, K. “How to update neighbourhood models”. *Journal of Logic and Computation*, 2015.
- MERTON, R. “Teoría y estructura sociales”. México: Fondo de Cultura Económica, 1964.
- MILLER, B. “When is consensus knowledge based? Distinguishing shared knowledge from mere agreement”. *Synthese* 190 (7), 2013, pp. 1293-1316.
- MYERS, K. F. *et al.* “Consensus revisited: quantifying scientific agreement on climate change and climate expertise among Earth scientists 10 years later”. *Environmental Research Letters* 16 (10), 2021, pp. 1-10.
- NOUVEL, P. “Filosofia das Ciências”. Campinas: Papirus, 2013.
- OSBORNE, M. J., RUBINSTEIN, A. “A Course in Game Theory”. Cambridge, MA: MIT, 1994.
- PACUIT, E. “Neighborhood Semantics for Modal Logic”. Springer International Publishing AG, 2017.
- PACUIT, E., ROY, O. “Epistemic Foundations of Game Theory”. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2017.
- PAULY, M. “Axiomatizing collective judgment sets in a minimal logical language”. *Synthese* 158(2), 2007, pp. 233-250.
- PAULY, M., PARIKH, R. “Game Logic – an overview”. *Studia Logica* 75 (2), 2003, pp. 165-182.
- PEREIRA, M. “Extensões de Primeira Ordem para a Lógica do Anúncio Público”. Tese de doutorado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.
- POINCARÉ, H. “A ciência e a hipótese”. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia, 2024 [1902].
- POLANYI, M. “Personal Knowledge”. London: Routledge & Kagan Paul, 1985 [1958].
- POPPER, K. “A lógica da pesquisa científica”. São Paulo: Cultrix, 1974 [1959].
- POPPER, K. “Conjectures and refutations”. New York: Harper & Row, 1968.
- PRIEST, G. “An Introduction to Non-Classical Logic: from if to is”. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- RENDSVIG, R., SYMONS, J., WANG, Y. “Epistemic Logic”. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2023.
- ROELOFSEN, F. “Distributed Knowledge”. *Journal of Applied Non-Classical Logics* 17 (2), 2007, pp. 255-273.
- SANT’ANNA, A. S. “O que é uma definição”. São Paulo: Manole, 2005.
- TUOMELA, R. “Social Ontology: Collective Intentionality and Group Agents”. New York: Oxford University Press, 2013.
- TUOMELA, R. “The Philosophy of Sociality: The Shared Point of View”. New York: Oxford University Press, 2007.
- VAN BENTHEM, J. “Logical Dynamics of Information and Interaction”. Cambridge University Press, 2011.

ZIMAN, J. “Conhecimento Público”. Belo Horizonte: Itatiaia/São Paulo: Edusp, 1979 [1968].

ZIMAN, J. “Essays on science and society: Why must scientists become more ethically sensitive than they used to be?” *Science* 282 (5395), 1998, pp. 1813-1814.

ZIMAN, J. “Information, communication, knowledge”. *Nature* 224 (5217), 1969, pp. 318-324.

ZIMAN, J. “The continuing need for disinterested research”. *Science and Engineering Ethics* 8 (3), 2002, pp. 397-399.

