UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Marília

OFICINA UNIVERSITÁRIA
CULTURA ACADÊMICA
Editora

A abordagem quantitativa da informação: a teoria matemática da comunicação

Marcos Antonio Alves

Como citar: ALVES, Marcos Antonio. A abordagem quantitativa da informação: a teoria matemática da comunicação. *In*: ALMEIDA, Carlos Cândido de; VITTI-RODRIGUES, Mariana (org.). **Estudos pluridisciplinares da informação**: filosofia, tecnologia e semiótica. Marília: Oficina Universitária; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2025. p. 121-152. DOI: https://doi.org/10.36311/2025.978-65-5954-633-6.p121-152.

BY NC ND

All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Sin derivados 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

4

A ABORDAGEM QUANTITATIVA DA INFORMAÇÃO: A TEORIA MATEMÁTICA DA COMUNICAÇÃO

THE QUANTITATIVE APPROACH TO INFORMATION: THE MATHEMATICAL THEORY OF COMMUNICATION

Marcos Antonio ALVES
UNESP
marcos.a.alves@unesp.br
https://orcid.org/0000-0002-5704-5328

https://doi.org/10.36311/2025.978-65-5954-633-6.p121-152

Resumo: Expomos a proposta da quantificação da informação tal como sugerida na Teoria Matemática da Comunicação. Iniciamos com a concepção de comunicação e do modelo unidirecional de comunicação. Em seguida, focalizamos a noção de informação subjacente a essa perspectiva, em vista de, na seção seguinte, expor a definição de quantificação da informação. Procuramos mostrar que, apesar dessa abordagem analisar apenas dos aspectos sintáticos da transmissão de mensagens, seus estudos são importantes para o tratamento de questões relacionadas à eficiência semântica e pragmática da comunicação.

Palavras-chave: Comunicação. Quantidade de Informação. TMC. Ruído.

Abstract: We present the proposal to quantify information as suggested by the Mathematical Theory of Communication. We begin by introducing the concept of communication and the unidirectional model of communication. Subsequently, we focus on the notion of information underlying this perspective and aim to present, in the next section, the definition of information quantification. We attempt to demonstrate that although this approach analyzes only the syntactic aspects of message transmission, it is important to address issues related to the semantic and pragmatic efficiency of communication.

Keywords: Communication. Quantity of Information. MTC. Noise.

1 Apresentação

A informação talvez tenha sido um dos elementos presentes em todas as grandes revoluções tecnológicas humanas, principalmente no tocante ao domínio e à manipulação de fenômenos ou objetos físicos. O controle e o uso intencional do fogo, da madeira ou da pedra, de certos metais, como ferro, cobre ou bronze, por exemplo, via produção de instrumentos capazes de facilitar a sobrevivência da espécie, dependem da capacidade de manipulação de informação referente às potencialidades ou propriedades desses objetos.

Na modernidade, o ser humano deparou-se com outra revolução tecnológica: a invenção da imprensa. Diferentemente das outras revoluções, nesta, a própria informação começou a ser o objeto manipulado, de sorte que a informação capturada passou a ser sobre ela própria. No mesmo sentido, o século XX testemunhou outro grande desenvolvimento, na manipulação da informação, através da criação de alguns aparelhos, como o telégrafo, o rádio e a TV. O passo seguinte para a universalização do seu uso foi a criação e o desenvolvimento de tecnologias de informação e comunicação, como os computadores pessoais, *notebooks* e telefones celulares.

Um dos grandes problemas da era da comunicação consiste em encontrar meios teóricos e práticos para maximizar a eficiência da comunicação. Isso significa a transmissão de modo mais eficiente possível da informação, com o menor tempo possível e com o mínimo possível de perda de sinais, ao longo do processo. A Teoria Matemática da Comunicação (doravante, TMC), tal como desenvolvida por pesquisadores como Nyquist (1928), Hartley (1928) e Shannon e Weaver (1949), trata de algumas dessas questões. Busca, por exemplo, uma definição da medida da informação em uma fonte e a capacidade de um canal de comunicação, analisa as características do ruído e de bons códigos de comunicação, o tipo de fontes ou de mensagens no mundo, e como a sua natureza afeta a eficiência na comunicação. O objetivo principal desta abordagem consiste em construir meios eficientes de codificar e transferir mensagens.

Abordamos alguns aspectos da abordagem da Teoria Matemática da Comunicação, baseados principalmente na obra de Shannon e Weaver

(1949), referentes a questões como as elencadas acima. Para tanto, iniciamos tratando da sua noção de comunicação e do modelo unidirecional de comunicação. Em seguida, focalizamos a noção de informação subjacente a essa perspectiva, em vista de, na seção seguinte, expor a sua definição de quantificação da informação.

2 Modelo unidirecional de comunicação

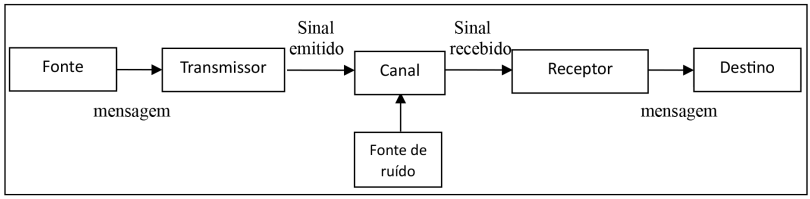
O matemático, engenheiro, criptógrafo, pesquisador dos laboratórios Bell, Claude Elwood Shannon, é conhecido como o pai da informação. Em 1948, ele publica um artigo intitulado "A Mathematical Theory of Communication", no qual estabelecia as bases dessa nova área de pesquisa. Em 1949, lança uma nova versão do texto, denominada "The Mathematical Theory of Communication" (Shannon; Weaver, 1949), com o acréscimo de uma parte introdutória, não formal, escrita por Warren Weaver.

Do ponto de vista da TMC, a comunicação é vista como um processo de transmissão de informações, a exemplo do que ocorre em uma conversa presencial ou via ligação telefônica, no envio de *e-mail*, em uma consulta em terminais eletrônicos. Explicitam Shannon e Weaver (1949, p. 3):

> A comunicação é qualquer procedimento pelo qual uma mente afeta outra mente. Além da fala escrita e oral, a comunicação envolve música, artes pictóricas, teatro, balé e, de fato, todo comportamento humano. Em algumas situações pode ser desejável usar uma definição mais ampla de comunicação. Tal definição envolveria procedimentos por meio dos quais um mecanismo (por exemplo um equipamento automático para rastrear um aeroplano e computar suas prováveis posições futuras) afeta outro mecanismo (por exemplo um míssil guiado perseguindo este aeroplano).

A transmissão de informações pressupõe alguns componentes, como uma fonte, um canal e um destino. Para a informação ser transmitida da fonte até o destino, por meio de um canal, geralmente é necessária a construção de um transmissor e um receptor. A Figura 1 ilustra o modelo de comunicação unidirecional. Nesse modelo, as informações são transmitidas apenas em uma direção: da fonte para o destino.

Figura 1 – Modelo de comunicação unidirecional



Fonte: Shannon e Weaver (1949, p. 7)

No exemplo da ligação telefônica, o falante é a fonte de informações e o ouvinte o destino. As palavras emitidas pela fonte (mensagens) são transformadas pelo transmissor em sinais, ondas físicas. Em seguida, são enviadas através de fios ou via satélite (canal) para o telefone do ouvinte, onde são transformadas pelo receptor novamente em sons (mensagem), a fim de serem recebidas pelo destino.

Uma vez selecionada e emitida a mensagem pela fonte, o transmissor cumpre a sua função no processo comunicativo. O transmissor é uma entidade que codifica as mensagens emitidas pela fonte e as transforma em sinais a serem transmitidos para o destino. O sinal, o qual pode ser uma onda elétrica ou química, por exemplo, geralmente é finito, tem curta duração no tempo e depende de um canal, especialmente um ambiente físico, para subsistir.

O transmissor tem a função de encontrar o melhor meio de transformar as mensagens em sinais, para que estes sejam transmitidos corretamente pelo canal. A realização dessa segunda função depende das capacidades, propriedades e restrições do canal. Não é possível, por exemplo, transmitir ondas visuais através de aparelhos de rádio, ou palavras faladas por meio de pombos-correios.

O transmissor, em última instância, prepara a mensagem para que a sua transmissão seja otimizada. A função de transmitir a mensagem efetivamente é do canal de comunicação. O canal é o meio pelo qual os sinais recebidos do transmissor são transmitidos para o receptor. Ele pode transmitir os sinais de forma analógica, digital ou dos dois modos. É de acordo

com esse tipo de mensagem que os sistemas são classificados em discretos, contínuos ou mistos.

No sistema de comunicação, a fonte e o destino costumam ser elementos dados no mundo, como um lance de moeda ou de um dado, a partir do qual se teoriza a seu respeito, definindo-se, por exemplo, a sua quantidade de informação. Já outros elementos, como o transmissor e o receptor, são muito mais de engenharia tecnológica, sendo aparatos tecnológicos a serem construídos. É preciso ter boas tecnologias de informação e comunicação para transformar as mensagens, adequadamente, em sinais, para serem transmitidas via canal, a fim de evitar ruído ou de recuperar mensagens ruidosas. Sem bons aparelhos telefônicos, por exemplo, não seria possível transmitir eficientemente áudios e vídeos da fonte para o destino, mesmo com um canal suficientemente poderoso. Mesmo com todo o aparato físico, com satélites atuais, não seria possível transmitir um vídeo via aparelho telefônico da década de 1990.

O aspecto da engenharia citado acima também ilustra outro fator relevante, na abordagem da TMC. Essa teoria se inclina a estabelecer as bases teóricas para a eficiência da comunicação. Considerando que a transmissão da informação está vinculada ao gasto energético em um sistema, como explicita Floridi (2010), seus resultados são importantes para a construção de sistemas de comunicação eficientes. Todavia, a construção efetiva, física, desses canais e seus aparelhos relacionados extrapola, em princípio, os limites e objetivos da TMC.

O canal de comunicação situa-se entre o transmissor e o receptor. Shannon e Weaver (1949) definem um canal discreto como um sistema por meio do qual uma sequência de escolhas, a partir de um conjunto finito de símbolos elementares, pode ser transmitida de um ponto para outro. Na sua abordagem, por questões práticas, ele assume que cada símbolo possui uma certa duração no tempo. Ou seja, os símbolos são discretos. Sem essa restrição, além de dificultar a sua identificação e definir a sua quantidade de informação, um símbolo de duração ilimitada poderia jamais alcançar o destino.

Nem sempre símbolos diferentes apresentam a mesma duração. Esse é o caso da telegrafia, por exemplo, conforme ilustra Alves (2012). Um sistema no qual os símbolos possuem a mesma duração é o da computação digital, meio pelo qual quase toda a comunicação ainda é em grande parte realizada, via tecnologias da comunicação e informação.

A eficiência da comunicação depende da capacidade do canal em transmitir informações. Se um canal possui capacidade de transmissão de informações menor do que a encontrada na fonte, pode ocasionar a perda ou demora excessiva na sua transmissão, prejudicando a eficiência da comunicação.

O canal também pode interferir na eficiência da comunicação, modificando os sinais originalmente selecionados na fonte, através do ruído. De maneira geral, ruído é tudo aquilo que modifica uma mensagem em sua transmissão. São fatores inexistentes na mensagem original que a fazem chegar incompleta, composta de novos elementos ou misturada com outra mensagem ao destino. São fontes de perturbação que podem modificar as mensagens originais, fazendo-as chegar distorcidas ao ponto final. Em uma chamada telefônica, por exemplo, chiados na conversa podem fazer com que a mensagem chegue incompleta ou mesmo alterada ao destino. Conforme Shannon e Weaver (1949, p. 8), "[t]odas essas mudanças no sinal transmitido são denominadas ruído".

Em um sentido mais específico, Shannon distingue dois modos de alteração nos sinais, produzidos no canal: o ruído e o equívoco. O ruído é tudo aquilo que pode chegar ao destino sem ter partido da fonte. Assim, no caso em que uma fonte emite "Luís é culto" e o destino pode receber as mensagens "Luís é culto" ou "Luís é ladrão", por exemplo, a probabilidade de chegar ao destino aquilo que partiu da fonte é menor do que 1. Há possibilidade de o destino receber algo não oriundo da fonte. Já o equívoco é tudo aquilo que pode partir da fonte sem alcançar o destino. Este seria o caso, por exemplo, de uma fonte enviar as mensagens, "Luís é culto" ou "Luís é ladrão", mas somente uma delas chegar ao destino. Assim, a probabilidade de ter partido da fonte uma mensagem que alcançou o destino é menor do que 1. Há possibilidade de não chegar ao destino algo oriundo

da fonte. Enquanto no ruído não é possível determinar o que o destino recebe, no equívoco é impossível saber exatamente o que a fonte seleciona.

A Figura 2 ilustra tal diferença entre ruído e equívoco.

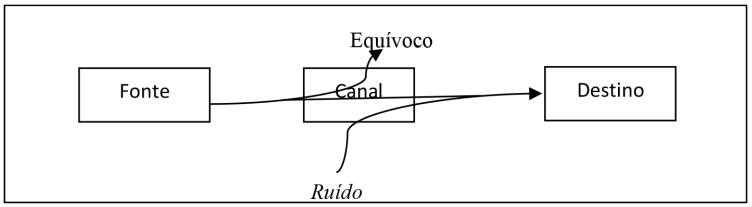
Figura 2 – Representação de ruído e equívoco

Fonte: Elaboração nossa.

Ruído e equívoco indicam graus de independência entre fonte e destino. Eles são estabelecidos quantitativamente de forma semelhante à da definição de entropia em uma fonte, a ser exposta na próxima seção, feita com base na distribuição de probabilidades das mensagens. O valor do ruído e do equívoco é calculado a partir da probabilidade condicional de ocorrência de uma mensagem, dada a ocorrência de outra. Trata-se, assim, de entropias relativas entre fonte e destino. A Figura 3 representa um modelo de comunicação linear com ruído e equívoco.

No processo comunicativo, o grau de entropia, ou seja, o grau de aleatoriedade de uma fonte, tende sempre a aumentar, em função da incidência de ruído e equívoco, em conformidade à segunda lei da termodinâmica. Imaginemos, por exemplo, um processo ilimitado de reproduzir uma fotocópia. Cada nova tiragem vai perdendo um pouco do texto original, até o ponto em que ele se torna ilegível, sendo impossível recuperá-lo em sua totalidade, ou seja, é classificado como um processo irreversível, segundo definido na termodinâmica.

Figura 3 – Modelo de comunicação unidirecional com ruído e equívoco



Fonte: Elaboração nossa.

Dois meios de evitar ou recuperar símbolos alterados pelo ruído é através da inserção da redundância e da codificação. A redundância é a medida do grau de repetição de sinais em uma fonte. Consiste na inserção de informações repetidas às mensagens, desnecessárias, em princípio, que se manifestam no aumento do número de signos na mensagem. Por isso, argumenta Roman (1992, p. 3), "[...] quanto maior a redundância adicionada à mensagem de uma fonte, mais confiavelmente pode-se detectar e corrigir erros, mas menor será a eficiência na transmissão das mensagens (será mais lenta e custosa)". Em termos técnicos, é a diferença entre a capacidade de um canal de comunicação e o quanto dele é utilizado.

A redundância na língua portuguesa, por exemplo, é próxima a cinquenta por cento. A ocorrência de metade dos símbolos é controlada pela estrutura estatística da língua. Assim, não há como ocorrer, por exemplo, conforme as regras gramaticais, a sequência de palavras "homem é comprou" ou ocorrer a letra "p" depois de "n". A probabilidade de ocorrência de "comprou" depois de "homem é" ou de "p" depois de "n" é nula. Exatamente por causa da redundância, ao lermos a mensagem "_ ho_em _ bra_ilei_r_.", na qual os traços substituem letras apagadas, sabemos quais símbolos estão faltando na sentença, garantindo o processo comunicativo e recuperando a mensagem original distorcida pelo ruído.

Conforme lembra Krippendorff (2009), a redundância pode se dar devido à capacidade do canal não utilizada, à transmissão duplicada de mensagens ou a restrições ao conjunto de mensagens possíveis, por exemplo, por uma gramática ou vocabulário especializado. Ela parece um desperdício, mas é de considerável importância na comunicação humana.

No contexto da engenharia da comunicação, deseja-se que a codificação das mensagens da fonte seja tal que elas possam ser transmitidas em média, e não isoladamente, com o máximo de economia de tempo, de dinheiro, de energia. Para tanto, determina-se, por exemplo, que mensagens com maior probabilidade de ocorrência sejam codificadas com um número menor de símbolos. Em um código binário, a letra "e", na língua portuguesa, por exemplo, deveria ser codificada como "0", enquanto a letra "w" poderia ser codificada como "01001". Se considerarmos que cada dígito possui uma duração para ser transmitido, a demora na transmissão de "w" seria compensada pela rapidez na transmissão de "e", escolhido com maior frequência.

Diferentemente da redundância, a codificação desempenha papel fundamental no tocante à economia, velocidade e fidelidade na transmissão de informações. O interesse específico por problemas de codificação configura uma parte especial da TMC: a teoria do código. Nela são investigadas, dentre outras, questões a respeito da melhor sequência de símbolos associados a mensagens, a fim de que se possa transmitir o maior número de informações, em menos tempo, em um dado canal. Procura-se, ainda, a construção de códigos capazes de auxiliar na identificação e eliminação, por parte do receptor, dos erros inseridos no canal, como mostram Blahut (1988), Roman (1992) e Cover e Thomas (1991).

O destino é o alvo final da informação. Possui um papel totalmente passivo, no sistema de comunicação unidirecional. Ele apenas recebe as informações emitidas pela fonte, a qual, juntamente com o canal, possui um papel ativo no processo comunicativo.

Em um sentido geral, uma fonte pode ser entendida como um processo gerador de informações. Os elementos de uma *fonte no mundo* são os eventos abarcados por ela. Um evento pode ser pensado como um signo linguístico, um acontecimento, fenômeno natural, uma ideia, um comportamento, com base em uma circunstância.

Exemplos de fontes são os lances de moeda ou de dados, cujos eventos são, respectivamente, "cara" e "coroa" e cada um dos seis lados da face do dado; os jogos de loteria, cujos eventos são os números sorteados; o clima, cujos eventos são chuva, calor, umidade, raio etc.

Segundo Alves (2023), um evento certo é aquele cuja probabilidade é total (um), um evento impossível é aquele com probabilidade nula (zero) e um evento possível é aquele cuja probabilidade não é nem total nem nula. No lance de dado não viciado normal, um evento impossível seria "cair o número sete" e um evento possível seria "cair o número três" – e nenhum evento seria considerado certo. No lance de moeda totalmente viciada, com apenas a face cara, o evento "cair cara" seria considerado certo, e qualquer outro pertencente ao conjunto de eventos da fonte seria impossível.

Em termos conceituais, uma fonte pode ser pensada como um processo gerador de mensagens, representantes dos eventos da fonte no mundo. As mensagens, na visão da TMC, concebidas como um conjunto de signos organizados de acordo com determinadas regras adotadas, serão as portadoras de informação. Para Wiener (1970, p. 33), "[...] uma mensagem é uma sequência discreta ou contínua de elementos mensuráveis distribuídos no tempo (o que os estatísticos chamam série temporal)". Pode ser uma sequência de símbolos ou de palavras escritas ou faladas de uma linguagem, a temperatura registrada por um termômetro contínuo ou o toque de uma campainha.

As mensagens são selecionadas com base na sua probabilidade de ocorrência. Quanto maior tal probabilidade, maior é a chance de a mensagem ser selecionada na fonte. Elas podem ser digitais ou analógicas. As digitais, ou discretas, são constituídas por elementos com duração e tamanho delimitados, como nas sentenças escritas de uma linguagem. Nelas, é possível distinguir, enumerar, classificar e identificar, com precisão, os seus elementos. Já as mensagens analógicas, ou contínuas, caracterizam-se por não apresentar separação nítida entre seus componentes, como nas sentenças faladas ou nos velocímetros que registram a velocidade através de ponteiros, em vez de números.

Uma fonte discreta é aquela que manipula (escolhe, delimita e gera) apenas mensagens discretas. As fontes discretas geram suas mensagens símbolo por símbolo, como na telegrafia ou na computação digital, em que os elementos das mensagens podem ser representados por sequências finitas de dígitos binários "0" e "1".

A produção de uma sequência de símbolos, de acordo com certas probabilidades, é chamada *processo estocástico*. Para Shannon e Weaver (1949), uma fonte discreta pode ser representada por um processo estocástico, ou seja, como um espaço de probabilidades. Por outro lado, um processo estocástico, o qual produz uma sequência discreta de símbolos escolhidos a partir de um conjunto finito, pode ser considerado uma fonte discreta.

Quando, em um processo estocástico, as probabilidades dependem da ocorrência de mensagens anteriores, tem-se um processo ou uma *cadeia de Markov*. De acordo com Epstein (1986, p. 59), uma cadeia de Markov pode ser definida como "[...] um processo probabilístico no qual o desenvolvimento futuro depende do que acontece as características probabilísticas o estado presente". Na língua portuguesa, por exemplo, seguindo as suas regras gramaticais, a chance de ocorrer a letra "t" logo após a ocorrência de "m", é nula, o que não acontece com as letras "a" ou "b". No jogo de xadrez, a possibilidade de ocorrência de certas jogadas no futuro depende da realização de certos movimentos anteriores, conforme as regras do jogo.

Dentre as cadeias de Markov estão os *processos ergóticos*, caracterizados pela existência de uma estabilidade, ou seja, uma regularidade estatística duradoura. Como suas propriedades não mudam com o tempo, qualquer amostra razoavelmente grande de suas mensagens tende a ser representativa da sequência geral de ocorrência de suas mensagens. Segundo Wiener (1970), a previsão do futuro de uma mensagem faz-se sobre uma espécie de operador sobre o seu passado, seja ele realizado por um esquema de computação matemática, seja por um aparelho mecânico ou elétrico.

Fontes ergóticas são aquelas cujas amostras produzidas possuem as mesmas propriedades estatísticas. As suas propriedades não se alteram com o tempo. Descobertas as probabilidades de ocorrência dos símbolos, pode-se prever, para qualquer momento, a probabilidade de ocorrência daquele símbolo.

Uma fonte discreta pode ser representada por um processo estocástico, ou seja, como um espaço de probabilidades (Shannon; Weaver, 1949). Por outro lado, todo processo estocástico, o qual produz uma sequência

discreta de símbolos escolhidos a partir de um conjunto finito, pode ser considerado uma fonte discreta. No que se segue, propomos uma concepção de fonte discreta ergótica, a ser utilizada na definição da quantificação da informação.

Definição 1 (Fonte discreta ergótica)

Seja $A_F = \{m_1, ..., m_n\}$ o espaço da fonte *F*, em que m_i, para $1 \leq i \leq n$ e n natural, é a mensagem *i* de *F*.

Seja $P_F = \{p(m_1), ..., p(m_n)\}$ a distribuição de probabilidades de *F*, em que $p(m_i) \in Q$, $0 \leq p(m_i) \leq 1$, é o valor probabilidade de m_i. Além disso, $\sum^{n}_{i=1} p(m_i) = 1$.

Uma *fonte discreta ergótica F* com *n* mensagens é tal que $F = \{m_1, p(m_1); ...; m_n, p(m_n)\}$.

A fonte constituída pelas mensagens correspondentes aos eventos de um lance de moeda não viciada, em que a mensagem "cara" é representada por "C" e "coroa" por "K", e a fonte constituída pelo lance de um dado não viciado seriam assim descritas:

Exemplo 1

Moeda: {C, ½; K, ½}

Dado: {1,⅙; 2, ⅙; 3, ⅙; 4, ⅙; 5, ⅙; 6, ⅙}.

Na perspectiva da TMC, a eficiência da comunicação consiste em transmitir, de modo adequado, as informações selecionadas na fonte para o destino, no menor tempo e ~~com~~ gastos possíveis. Os problemas de comunicação, sustentam Shannon e Weaver (1949), podem ser estudados sob três enfoques, representados pela solução dos seguintes problemas:

a: Problema técnico: quão acuradamente os símbolos de comunicação podem ser transmitidos.

b: Problema semântico: quão precisamente os símbolos transmitidos carregam o significado desejado.

c: Problema da efetividade: quão efetivamente o significado recebido afeta a conduta de modo desejado.

O *problema técnico* consiste na análise da exatidão da transferência dos símbolos das mensagens selecionadas na fonte. Sob esse prisma, avalia-se em que medida os símbolos, entendidos como entidades formais de uma estrutura, que chegaram ao destino, são, de fato, os que partiram da fonte. Investigam-se, ainda, as causas das possíveis falhas no processo de comunicação, como o ruído, e os meios para evitá-las, eliminá-las e corrigi-las. Aqui, a informação é analisada sob um ponto de vista técnico, ou seja, quantitativo e sintático. A eficiência da comunicação é medida pela reprodução exata ou aproximada, no destino, dos símbolos selecionados na fonte, bem como da velocidade pela qual os símbolos são transmitidos, que pode depender tanto da capacidade do canal quanto da codificação.

O *problema semântico*, por sua vez, refere-se à precisão do significado dos sinais. Sob esse prisma, busca-se analisar em que medida o destino capturou o significado das mensagens emitidas pela fonte. A informação é concebida sob um ponto de vista qualitativo e semântico.

A eficiência da comunicação semântica pressupõe a eficiência da comunicação no nível técnico. Em geral, para que o significado original da mensagem emitida pela fonte seja transmitido e captado pelo destino, é essencial que os símbolos constituintes da mensagem cheguem ao destino sem modificações sintáticas significativas, ou seja, com o mínimo possível de ruído e equívoco. No problema semântico, a análise é centrada naquilo a que as mensagens se referem ou sobre o seu conteúdo, naquilo que elas querem dizer. A questão a ser investigada corresponde à análise da qualidade da mensagem, ao seu significado ou à sua referência.

Por fim, o *problema da efetividade* consiste na análise da realização dos comandos subjacentes na mensagem emitida pela fonte. Uma vez recebida a mensagem e captado o seu significado pelo destino, investiga-se em

quais condições a sua conduta satisfaz o solicitado na mensagem emitida pela fonte. A eficiência da comunicação é definida a partir da adequação da atividade efetuada pelo destino, com os pressupostos da mensagem oriunda da fonte.

A solução do problema da efetividade pressupõe, em geral, a solução dos outros dois problemas anteriores. Se o destino não captura o significado da mensagem, ou a recebe de modo alterado, pode não capturar o pedido implícito emitido pela fonte. Assim, por exemplo, imaginemos a situação na qual duas pessoas estão em uma festa. Se uma delas diz "Eu estou cansado" e a outra não ouve, por conta do barulho alto, provavelmente a falta de recepção do sinal emitido pela fonte, ou seja, a incidência de ruído inserido no canal, também provocaria alterações nos níveis semântico e pragmático, no processo comunicativo. Pode ocorrer que, ao receber o sinal com cortes, o significado não alcance o ouvinte, levando-o a agir de maneira diferente do esperado pela fonte.

Se, por um lado, problemas de engenharia podem resultar em problemas semânticos e sintáticos, por outro, a eficiência no primeiro nível não garante a eficiência nos demais níveis. Pode ocorrer que a fonte, no exemplo acima da festa, estivesse indicando um sentido de cansaço mental devido ao barulho alto prolongado ou a uma indisposição, mas o destino tenha interpretado como cansaço físico. Essa ineficiência no nível semântico ocasionaria, com boa margem de probabilidade, ineficiência no nível pragmático. O falante poderia, no caso, desejar ir embora do local, enquanto o ouvinte poderia trazer uma cadeira para descansar.

Para Shannon e Weaver (1949, p. 31), como mostrado acima, "[a]spectos semânticos e pragmáticos da informação são irrelevantes para o problema técnico, ou de engenharia. Porém, aspectos de engenharia não são irrelevantes para os aspectos semânticos ou de efetividade". No caso específico da comunicação humana, pode-se estabelecer, ainda, um limite da quantidade máxima de informação recebida para um indivíduo ser capaz de entender uma mensagem. Conforme Krippendorff (2009), há estimativas de que a compreensão de leitura exige uma média máxima de 16 bits por segundo, por conta de nossa capacidade atual de processamento da informação, que envolve graus de concentração, atenção, estresse, cansaço, etc.

Os problemas de segundo e terceiro níveis levam em conta determinados aspectos, como desejos, intenções, construções semânticas, cognitivas e emocionais, relações interpessoais, dentre outros fatores. Pensadores como Dretske (1981), por exemplo, utilizam os resultados e conceitos da TMC para propor uma abordagem semântica e pragmática da informação, conforme mostram Alves (2011) e Salsmam e Alves (2022).

Ao direcionar seus estudos apenas ao nível sintático, a TMC desconsidera, propositalmente, todos esses elementos em sua abordagem, focando especificamente na forma, na estrutura dos signos, em seu aspecto sintático. Assim, mensagens com valor semântico distinto podem possuir o mesmo valor informacional. Mensagens como "Hoje é terça" e "A lua é de queijo" podem possuir a mesma quantidade de informação, se possuíssem, por exemplo, a mesma probabilidade de ocorrência.

Um dos recursos usados para medir a eficiência da comunicação foi estabelecer uma definição quantitativa da informação. Antes de apresentá-la, abordamos, a seguir, a noção de informação subjacente à proposta da TMC.

3 A noção de informação subjacente à TMC

A TMC não tem por finalidade apresentar uma definição de informação, discutir seu estatuto ontológico ou tratar do conteúdo das mensagens de uma fonte. Nessa perspectiva, um primata pressionando teclas aleatoriamente em um teclado de computador, o sorteio de um número na loteria ou uma descoberta científica produziriam bastante informação. Isso independe das mensagens serem ou não verdadeiras, de possuírem ou não significado. Embora muito pouco provável, o conjunto de símbolos emitidos pelo primata poderia resultar em uma tradução fiel do artigo de Shannon para a língua portuguesa. Mas não seria isso o que definiria a informação, nos termos da TMC.

O sucesso na comunicação para a TMC consiste em fazer com que a mesma quantidade de símbolos emitidos pela fonte seja entregue ao destino com a máxima economia possível. Para lidar com essas questões, o

tratamento dado à informação segue o mesmo dado a qualquer objeto a ser levado de um ponto a outro. É necessário definir uma medida, uma quantificação do objeto transportado.

Como acontece nas transações comerciais, é fundamental saber se a quantidade do produto recebido pelo comprador é a mesma do emitido pelo vendedor, buscando identificar possíveis perdas no processo de transporte. A quantificação também é essencial para saber que tipo de meio de transporte deverá ser utilizado, para que a carga alcance o destino com o mínimo possível de perda. Não se pode querer, por exemplo, transportar 500kg de repolho em uma carriola. Boa parte do produto não poderá ser posto no veículo ou se perderia no percurso. A ideia da quantificação da informação também possui estes dois aspectos: encontrar meios de comparar o montante de sinais emitido e recebido e definir a capacidade do meio de transmissão, ou seja, do canal de comunicação. Não é possível, por exemplo, transmitir uma grande quantidade de informação, envolvendo áudio e vídeo, digamos, via telegrafia. Tampouco, pode-se desejar transmitir as ligações telefônicas via aparelhos de celular em uma metrópole com satélites muito rudimentares.

Dois dos pioneiros no estudo da quantificação, do armazenamento e da transmissão da informação foram Nyquist (1928) e Hartley (1928). Eles descrevem a quantidade de informação presente em uma fonte de acordo com o seu número de mensagens possíveis. Shannon, em 1948, aprimorou essa ideia e estabeleceu as bases da TMC. Ele inclui novos fatores à proposta de Nyquist (1928) e Hartley (1928), como o efeito do ruído no canal, a economia possível na transmissão de informações e a possibilidade de mensagens possuírem quantidade de informações distintas.

Para Hartley (1928), a informação em uma mensagem é a medida da liberdade de escolha de alguém, ao selecioná-la, baseada em uma fonte. De acordo com Shannon e Weaver (1949), a informação relaciona-se não ao que *realmente* se diz, mas ao que se *poderia* dizer. É uma medida da liberdade de escolha, quando se seleciona uma mensagem. Na perspectiva em questão, lembra Pignatari (1968, p. 45), "[...] só pode haver informação onde há dúvida e dúvida implica na existência de alternativas – donde escolha, seleção, discriminação".

A concepção de liberdade aqui não pode ser confundida com visões filosóficas, associando-a, por exemplo, ao poder de escolha, via deliberação e efetivação dessa escolha com base na vontade. Na perspectiva filosófica, tal noção costuma ser associada à capacidade de agir por si mesmo, à autodeterminação, independência, autonomia do agente. Nesses termos, mesmo sendo um evento com probabilidade nula ou total de ocorrência em uma fonte, em tese, um agente possuiria liberdade para escolhê-lo ou não, mudando a ordem das coisas, se possível. Assim, embora não seja possível, conforme as regras gramaticais atuais da língua portuguesa, a ocorrência de "b" depois de "n", pode-se optar por mudar a ordem das coisas e começar a falar "ponbo", por exemplo.

Na TMC, a noção de liberdade está associada a um espaço de probabilidades, na qual se mede a variação na ocorrência de mensagens de uma fonte. Assim, ao se afirmar que se tem mais ou menos liberdade na escolha de uma mensagem em uma fonte, significamos a possibilidade de, no contexto total, essa mensagem eliminar mais ou menos possibilidades, como buscaremos expor no restante deste capítulo.

Para Hershberger (1955), a informação pode ser definida como uma medida da redução de incerteza. Está relacionada à imprevisibilidade em uma mensagem ou em uma fonte, trazendo à tona um elemento ausente antes da sua ocorrência. No caso do lance de dados, a queda de um de seus lados para cima informa algo até então desconhecido. A informação pressupõe a possibilidade de ocorrência de mais de uma mensagem em uma fonte. Se ela admite apenas a ocorrência de uma mensagem, não há liberdade de escolha, não há incerteza a ser reduzida. Sabe-se *a priori* qual mensagem ocorreria, o que impede a geração de novidade ou redução de incerteza.

Quanto maior a liberdade de escolha, a redução de incerteza, em uma fonte, mais informativa a fonte será. A informação atinge seu valor máximo, quando todas as mensagens de uma fonte tiverem a mesma chance de ocorrência. Já quando apenas uma delas puder ocorrer, temos um valor informacional nulo.

A informação também costuma ser associada à noção de ordem. Na TMC, o termo "ordem" é utilizado para se referir à noção que se caracteriza pela estabilidade, regularidade, arranjo, e pressupõe previsibilidade, regularidade. A desordem, por sua vez, é caracterizada pela aleatoriedade, pelo acaso, pela randomicidade.

Na TMC, a ordem em uma fonte é definida a partir da distribuição da probabilidade de seus eventos ou mensagens. Uma fonte totalmente desordenada é aquela cujos eventos ou mensagens possuem a mesma probabilidade de ocorrência. Já a ordem máxima acontece, quando um evento possui probabilidade absoluta de ocorrência. Quanto mais díspares forem as probabilidades de ocorrência dos eventos, mais ordenada é a fonte.

A ordem é geralmente associada à noção de entropia, compreendida como a medida da aleatoriedade de uma fonte. Aplicada à noção de informação, a entropia é definida com base na probabilidade de ocorrência das mensagens de uma fonte. Na concepção de Shannon e Weaver (1949), a entropia é a medida da incerteza de uma variável randômica. Trata-se da medida da desordem. Quanto mais desordenada uma fonte, maior a sua quantidade de entropia. A entropia está em proporção inversa à ordem.

O aumento na entropia significa um aumento da liberdade de escolha, da redução da incerteza. Quanto mais desordenada for uma fonte, maior será sua quantidade média de informação. Por isso, conforme Shannon e Weaver (1949), a informação e a entropia estão na mesma proporção.

Quanto mais semelhantes forem as probabilidades de ocorrência das mensagens de uma fonte, maior é a sua desordem, a qual está na mesma proporção da aleatoriedade ou randomicidade. Quando, em uma fonte, as mensagens acontecem aleatoriamente, a previsibilidade é sacrificada. A ordem pressupõe que algumas coisas aconteçam mais vezes e outras, menos, isto é, depende da disparidade da probabilidade de ocorrência das mensagens.

Nesse processo, uma fonte é totalmente desordenada, possui o máximo de entropia, quando todas as suas mensagens são equiprováveis. Em fontes com essa característica, quanto maior a sua quantidade de mensa-

gens possíveis, mais ela é desordenada. Por outro lado, por maior que seja o número de mensagens possíveis em uma fonte, se uma delas tiver uma probabilidade muito elevada de ocorrência, digamos, quase absoluta, a desordem é baixa.

Para exemplificar o que afirmamos acima, consideremos um lance não viciado de moeda, onde há duas possibilidades igualmente prováveis de escolha: "cara" ou "coroa"; um lance não viciado de dados, onde existem seis possibilidades. A liberdade no lance da moeda é menor que no lance de dado. No caso do dado, poderíamos dizer muito mais coisas do que poderia ser dito no lance da moeda. Sob a ótica em questão, então, a quantidade de informação presente no jogo de dados deve ser maior do que a do lance de moeda.

Em termos ilustrativos, teríamos os dois seguintes espaços amostrais, representando o lance de moeda e dado não viciados. A letra "C" representa "Cara", "K" representa "coroa" e os números representam os lados de um dado:

Exemplo 2

Lance de moeda: KCKKCCKCKCKCKKCCCK

Lance de dado: 121454213426564

Percebemos, no Exemplo 2, a existência de um padrão no lance de moeda, uma regularidade maior, se comparado ao lance do dado, no sentido de se repetir mais os elementos possíveis. Como o número de opções na moeda é menor, a repetição de mensagens é maior, restringindo a liberdade de escolha e aumentando a previsão dos seus acontecimentos. A ordem no lance da moeda é maior, ou seja, a entropia é menor. Assim, a quantidade de informação nessa fonte deve ser menor do que a do lance do dado. Observamos que o aumento no número de opções torna maiores o grau de entropia e a quantidade de informação da fonte.

No caso de fontes não equiprováveis, essa relação é a mesma. Podemos ilustrá-la através do Exemplo 3, no qual o primeiro espaço amostral representa uma moeda não viciada, como acima exposto; o segundo,

uma moeda viciada, cuja "cara" é escolhida setenta e cinco por cento das vezes; e o terceiro seria uma moeda com a face "cara" em ambos os lados.

Exemplo 3

Moeda não viciada: KCKCKCKCKCKCKCKC

Moeda parcialmente viciada: CCCKCKCKCCCKCCKC

Moeda totalmente viciada: CCCCCCCCCCCCCCCC

A regularidade, existência de um padrão bem estabelecido, no segundo caso e, mais ainda, no terceiro, pode ser percebida com facilidade. A liberdade de escolha, ou seja, a variação na ocorrência dos eventos, no primeiro caso, é maior do que no segundo, que também é maior do que na terceira situação. A liberdade de escolha diminui progressivamente. A queda da face "cara", no terceiro caso, não gera novidade. Já o segundo gera menos novidade do que no primeiro deles. Na moeda totalmente viciada, eu nada mais poderia dizer além de "saiu cara". Ao dizer tudo o que poderia ser dito, nada se informa, dada a ocorrência sempre do mesmo evento.

No segundo caso acima, a variedade na ocorrência de eventos aumenta, se comparada ao terceiro, mas ainda é restrita. Ao visualizar a ocorrência do evento "cara", eu poderia ter visualizado, também, a ocorrência de "coroa", mas com uma margem menor do que na primeira situação, na qual tudo pode acontecer em cada instante. No segundo caso, ao observar a face "cara" no lance, haveria uma margem pequena de ter acontecido "coroa". Observa-se, assim, que a ordem é maior, ou seja, a entropia e, assim, a quantidade de informação são menores progressivamente do terceiro para o primeiro caso.

A unidade de informação é identificada a uma fonte com duas mensagens possíveis com a mesma probabilidade de ocorrência. Pode-se facilmente perceber que um lance de moeda não viciado, conforme exposto acima, exige apenas uma escolha: "cara" ou "coroa". Esse não é o caso com fontes mais complexas, como o dado não viciado.

Mesmo se baseando em justificativas factuais ou pré-teóricas, a definição da unidade de informação possui certa dose de arbitrariedade, assim como na definição de outras unidades, como de massa ou comprimento. Todavia, há também fatores técnicos e práticos que justificam essa escolha. Estabelecer que uma fonte possui uma unidade de informação significa que os símbolos precisarão associar, ao máximo, um símbolo, um dígito binário (*Binary digit* – Bit) por mensagem, para ser transmitido eficientemente. Se uma moeda é lançada a cada segundo, a capacidade mínima do canal será de 1 bit por segundo, para o destino receber as mensagens enviadas pela fonte. Em outras palavras, deve ser capaz de transmitir, por exemplo, 0 (cara) ou 1 (coroa) a cada segundo.

Isso também está associado ao tipo de funcionamento das tecnologias de informação e comunicação, em geral, no sistema de circuitos elétricos, cujo funcionamento é passa corrente e não passa corrente, ao estilo de interruptores elétricos ou de termostatos. Se estivéssemos operando com a computação quântica, por exemplo, em vez da digital, provavelmente adotaríamos, como base, outra medida informacional.

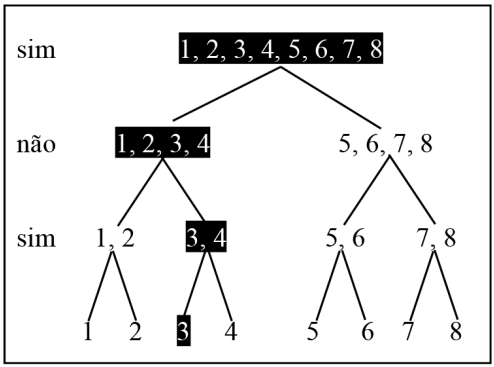
Em vista desse panorama geral da noção de informação subjacente à proposta da TMC, expomos, a seguir, uma definição da quantidade de informação presente em uma mensagem e em uma fonte.

4 A quantificação da informação na TMC

A definição da medida da liberdade de escolha em uma fonte pode ser ilustrada através de um método de divisão das mensagens, segundo exposto por Edwards (1971), dentre outros. Para fontes com mensagens equiprováveis, o procedimento consiste em sucessivas divisões do número de alternativas possíveis em dois grupos, com o mesmo número de elementos, escolhendo-se um desses grupos em cada divisão, com base na resposta à pergunta: "Escolho o primeiro grupo?" O número de respostas "sim" ou "não" necessárias até se obter dois grupos constituídos por apenas um elemento será o valor da liberdade de escolha na fonte.

Uma fonte com oito mensagens equiprováveis precisaria de três respostas à pergunta em questão, conforme demonstrado na Figura 4, a qual, como as próximas figuras.

Figura 4 – Método de divisão das mensagens de uma fonte com oito mensagens possíveis equiprováveis



Fonte: Elaboração nossa.

A seleção ou a geração da mensagem número 3, no rol de mensagens, portanto, demandou três escolhas sucessivas. Esse método permite estabelecer a seguinte relação:

Figura 5 – Relação entre o número de mensagens de uma fonte e o de decisões para a escolha de uma delas

Número de mensagens (n)	Divisão por 2	Número de decisões (H)
1	2	0
2	2	1
4	2	2
8	2	3
16	2	4

Fonte: Elaboração nossa.

Esse método captura a noção de informação exposta na seção anterior. Em situações equiprováveis, quanto maior for o número de elementos da fonte, maior será a liberdade de escolha presente nela.

A Figura 5, acima, permite fixarmos, por combinatória, a seguinte relação matemática entre o número de mensagens, denotado por "*n*", e o número de decisões, denotado por "*I*":

$$n = 2^I \qquad (1)$$

De acordo com a definição de função logarítmica, se $B = A^x$, então, $\log_A B = x$. A partir disso, estabelecemos uma definição da quantidade de informação em uma fonte com mensagens equiprováveis (Shannon; Weaver, 1949).

Definição 2 (Quantidade de informação em fonte com mensagens equiprováveis)

Seja *F* uma fonte ergótica discreta de informações com *n* mensagens equiprováveis. A *quantidade de informação de F*, denotada por "I_F", é definida pela seguinte equação:

$$I_F = \log_2 n. \qquad (2)$$

Exemplo 4:

$F_1 = \{m_1, ½; m_2, ½\}$. $H_{F1} = \log_2 2 = 1$.

$F_2 = \{m_1, ¼; m_2, ¼; m_3, ¼; m_4, ¼\}$. $H_{F2} = \log_2 4 = 2$.

$F_3 = \{m_1 ⅙; \ldots; m_6, ⅙\}$. $H_{F3} = \log_2 6 = 2{,}58$.

$F_4 = \{m_1, ⅛ ; \ldots; m_8, ⅛\}$. $H_{F4} = \log_2 8 = 3$.

Com base no exemplo 4, o jogo de moeda não viciada, representado por F_1, é menos informativo do que a fonte do jogo de dados, representado por F_3.

Muitas fontes de informação, no entanto, possuem mensagens com probabilidade de ocorrência distinta. Algumas mensagens ocorrem mais vezes do que outras, como no caso de um lance de moeda viciado, por exemplo.

Na perspectiva da TMC, a rigor, a informação é atribuída à fonte e não às suas mensagens individuais. Embora algumas vezes seja conveniente atribuir informação às mensagens individuais (como se faz com o significado), o objetivo é definir uma quantidade de informação para uma fonte como um todo, lembram Shannon e Weaver (1949). Um dos motivos para isso está nos objetivos da TMC, os quais consistem em transmitir eficientemente todas as mensagens possíveis de ocorrência. A eficiência da comunicação está na transmissão, sem falhas, do conjunto de mensagens possíveis e não apenas de uma ou algumas delas.

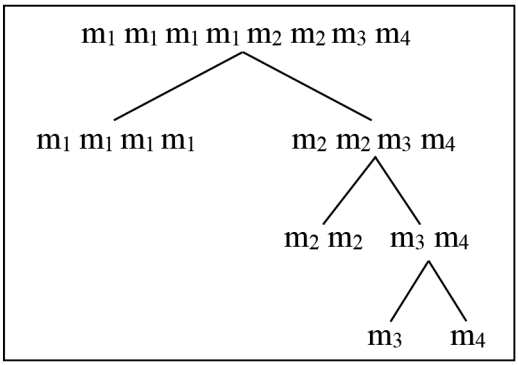
Entretanto, a definição da quantidade de informação, em uma fonte de informações, cujas mensagens não são equiprováveis, depende de uma espécie de quantificação da informação presente em cada mensagem.

Quando elas não são equiprováveis, o método da divisão em grupos, com o mesmo número de elementos para determinar a quantidade de informação, deixa de ser apropriado. A liberdade de escolha diminui nesses casos, em função da existência de uma espécie de preponderância de algumas mensagens. Ou seja, quando as mensagens são equiprováveis, a divisão do número de mensagens ao meio é viável, porque cada metade fica com cinquenta por cento de probabilidade de ocorrer, o que nem sempre acontece, quando elas não são equiprováveis.

Uma variação do método para medir a quantidade de informação, nesses casos, está em considerar a probabilidade de ocorrência das mensagens em uma fonte, de tal sorte a possibilitar a divisão em grupos equiprováveis.

Para ilustrarmos essa nova versão do método, imaginemos uma fonte com quatro mensagens nas quais, de cada oito ocorrências, m_1 ocorre quatro vezes, m_2 ocorre duas vezes, m_3 e m_4 ocorrem uma vez cada. A Figura 6 ilustra como adequar o caso de fontes como essa, cujas mensagens possuem probabilidades distintas, ao método anterior.

Figura 6 – Método de divisão das mensagens de uma fonte com quatro mensagens possíveis



Fonte: Elaboração nossa.

Com essa representação, podemos proceder como no caso das mensagens equiprováveis, dividindo o grupo ao meio. Segundo evidencia a Figura 6, a seleção da primeira mensagem, no caso em questão, exigiria apenas uma escolha; da segunda, exigiria duas; e das duas últimas, exigiria três escolhas. O esquema abaixo (Figura 7) focaliza essa relação.

Figura 7 – Relação entre o número de escolhas para a seleção de uma mensagem com a sua probabilidade de ocorrência

Mensagem (i)	Divisão	N. de escolhas (I_i)	Probabilidade (p_i)
1	2	1	½
2	2	2	¼
3	2	3	⅛
4	2	3	⅛

Fonte: Elaboração nossa.

No esquema acima, encontramos a seguinte relação matemática entre as três últimas colunas:

$$p_i = 2^{-I_i}. \qquad (3)$$

De acordo com a definição da função logarítmica, estabelecemos a quantidade de informação presente em uma mensagem de uma fonte, conforme a próxima definição (Shannon; Weaver, 1949).

Definição 3 (Quantidade de informação de uma mensagem)

Seja m_i uma mensagem de uma fonte *F* e p_i a probabilidade de ocorrência de m_i. A quantidade de informação em m_i, denotada por "I_i", é definida pela seguinte equação:

$$I_i = - \log_2 p_i. \qquad (4)$$

Quando $p_i = 0$, definimos que $- \log_2 0 = 0$, ou seja, $I_i = 0$.

A quantidade de informação presente em cada uma das mensagens enunciadas na Figura 6, acima, é assim definida:

$$I_1 = - \log_2 ½ = 1; \quad I_2 = - \log_2 ¼ = 2; \quad I_3 = - \log_2 ⅛ = 3; \quad I_4 = - \log_2 ⅛ = 3.$$

Alves (2012) mostra que, em fontes com mensagens equiprováveis, a quantidade de informação de qualquer das suas mensagens é igual à quantidade de informação da própria fonte. Nesses casos, a liberdade de escolha em uma mensagem coincide com a liberdade de escolha na própria fonte. Além disso, deriva-se das definições acima que a quantidade de informação é sempre positiva. Não há informação negativa, na perspectiva da TMC. Ademais, mensagens impossíveis ou certas são nulas, informacionalmente.

A determinação da quantidade média de informação de fontes nas quais as mensagens não são equiprováveis não se identifica com a sua quantidade de mensagens. Enquanto a quantidade de informação, em uma mensagem, é determinada pelo número de decisões binárias neces-

sárias para poder selecioná-la, a quantidade de informação em uma fonte é definida pelo número médio dessas decisões, para cada uma de suas mensagens.

No exemplo da Figura 6, acima, observamos que a quantidade de vezes que m_1 é selecionada é muito maior do que o número de vezes que as demais mensagens são selecionadas. Como a sua probabilidade de ocorrência é maior, a sua quantidade de informação deve ser menor. O número de decisões para a sua escolha também deve ser menor, o que representa que a liberdade de escolha na fonte diminui.

O número médio de decisões depende da probabilidade de ocorrência de cada mensagem, associado ao número de decisões exigido para ela ser selecionada. Quanto mais uma mensagem tem chance de ser escolhida, menos decisões são necessárias para a sua seleção.

Para calcular a quantidade de informação de uma fonte, procedemos, inicialmente, multiplicando a probabilidade de ocorrência de cada mensagem pela sua quantidade de informação. Com isso, obtemos a quantidade de informação em uma fonte qualquer, conforme a próxima definição (Shannon; Weaver, 1949).

Definição 4 (Quantidade de informação presente em uma fonte)

Sejam *F* uma fonte ergótica discreta com *n* mensagens e I_i a quantidade de informação na mensagem m_i de F. A quantidade de informação de *F*, denotada por "H_F", é definida pela seguinte equação:

$$H_F = \Sigma_i \, p_i \times I_i \qquad (5)$$

Abaixo, consideramos três fontes e calculamos a sua quantidade de informação.

Exemplo 5

$F_1 = \{m_1, ¼; m_2, ¾\}$.

$F_2 = \{m_1, ½; m_2, ¼; m_3, ⅛; m_4, ⅛\}$.

$F_3 = \{m_1, ½; m_1, ¼; m_3, 1/16; m_4, 1/16; m_5, 1/16; m_6, 1/16\}$.

$F_4 = \{m_1, ½; m_2\ ¼; m_3, ⅛; m_4, 1/16; m_5, 1/16; m_6, 1/32; m_7, 1/64; m_8, 1/64\}$.

$H_{F1} = (¼ \times 2) + (¾ \times 0{,}39) = 0{,}89$.

$H_{F2} = (½ \times 1) + (¼ \times 2) + (⅛ \times 3) + (⅛ \times 3) = 1{,}75$

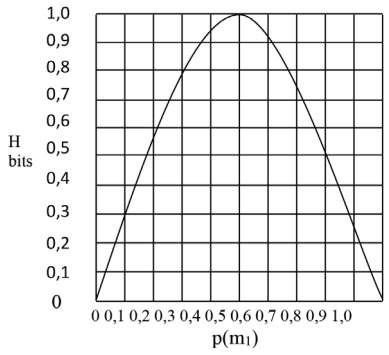
$H_{F3} = (½ \times 1) + (¼ \times 2) + (1/16 \times 4) + (1/16 \times 4) + (1/16 \times 4) + (1/16 \times 4) = 2$.

$H_{F4} = (½ \times 1) + (¼ \times 2) + (⅛ \times 3) + (1/16 \times 4) + (1/16 \times 4) + (1/32 \times 5) + (1/64 \times 6) + (1/64 \times 6) = 2{,}25$

As fontes F_1, F_2, e F_3 ilustram que o grau de liberdade de escolha diminuiu, quando comparado às fontes equiprováveis com a mesma quantidade de elementos, como no exemplo 4. Houve uma economia no número médio de escolhas. Também observamos que, embora F_4 tenha o dobro de mensagens possíveis do que F_2, do exemplo 4, a sua quantidade de informação delas é praticamente a mesma.

A Figura 8 mostra a variação da informação de uma fonte com duas mensagens, "m_1" e "m_2". A probabilidade de ocorrência de m_1 é denotada por "$p(m_1)$", de modo que $p(m_2)$ = "1 - $p(m_1)$".

Figura 8 – Variação na informação de uma fonte com duas mensagens



Fonte: Shannon e Weaver (1949, p. 50).

Esse gráfico explicita, dentre outras coisas, que a informação é máxima, quando as mensagens são equiprováveis, no caso, $p(m_1) = p(m_2) = ½$. Já a informação é mínima, quando uma das mensagens possui a probabilidade máxima. Exemplo de limite máximo seria o caso do lance de uma moeda, cuja probabilidade de ocorrência seria a mesma para cada evento. O limite mínimo seria o caso de uma moeda totalmente viciada, no qual apenas um dos lados pudesse ocorrer.

5 Considerações Finais

A perspectiva informacional da TMC foi o tema deste capítulo, buscando expor suas principais ideias, tais como a concepção de informação subjacente à sua abordagem quantificacional. A quantidade de informação depende, em última análise, da distribuição de probabilidades das mensagens de uma dada fonte, a partir da qual se define sua quantidade de informação.

Um dos pressupostos básicos dessa perspectiva é a inexistência de informação negativa. Isso explica o sinal negativo na equação que define o valor probabilidade de uma mensagem, garantindo que o valor informacional de um evento seja sempre positivo. Outro pressuposto básico é o de que cada mensagem deve possuir um valor determinado, em uma dada fonte. Isso justifica a arbitrariedade em se definir como nulo o valor informacional de mensagens com valor probabilidade zero.

Pesquisadores da TMC, tais como Shannon e Weaver, expressam claramente o seu objetivo de tratar da quantificação da informação com vistas a provar os principais teoremas da comunicação, como o da capacidade do canal, a fim de maximizar a eficiência da transmissão de informação.

Tal perspectiva não trata dos aspectos semânticos ou pragmáticos da informação ou da sua transmissão, como o fazem outros pensadores, como Dretske (1981), por exemplo. Este toma como ponto de partida resultados da TMC, em sua abordagem, mas os extrapola. Com isso, ele busca criar uma teoria da informação filosoficamente útil, como ele denomina, capaz de contribuir para estudos cognitivos, tal como a definição de

conhecimento. Por questões de espaço, não tratamos de possíveis críticas à abordagem da TMC, tanto referentes à noção de informação quanto a questões como as relações entre informação e entropia, conforme abordado por Alves (2012), por exemplo.

Referências

ALVES, M. A. O teatro como um sistema de comunicação. *Trans/form/ação*: revista de filosofia, Marília, v. 24, n. 1, p. 85-90, jan. 2001. Disponível em: https://revistas.marilia.unesp.br/index.php/transformacao/article/view/825. Acesso em: 10 maio 2023.

ALVES, M. A. *Lógica e informação*: uma análise da consequência lógica a partir de uma perspectiva quantitativa da informação. 2012. 211 f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

ALVES, M. A. Uma semântica informacional para a consequência lógica. *Principia*: an international journal of epistemology, Florianópolis, v. 27, n. 1, p. 117-135, maio 2023. DOI: https://doi.org/10.5007/1808-1711.2023.e85659. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/principia/article/view/85659. Acesso em: 10 maio 2023.

BLAHUT, R. *Principles and practice of information theory*. Amsterdam: Addison-Wesley, 1988.

COVER, T.; THOMAS, J. *Elements of information theory.* New York: John Wiley & Sons, 1991.

DRETSKE, F. I. *Knowledge and the flow of information*. Oxford: Blackwell, 1981.

EDWARDS, E. *Introdução à teoria da informação.* São Paulo: Cultrix, 1971.

EPSTEIN, I. *Teoria da informação.* São Paulo: Ática, 1986. (Série Princípios).

FLORIDI, L. *Information*: a very short introduction. Oxford: Oxford University Press, 2010.

HARTLEY, R. Transmission of information. *Bell System Technical Journal*, v. 7, n. 3, p. 535-563, July 1928. DOI: https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1928.tb01236.x. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/6769394. Acesso em: 18 nov. 2024.

HERSHBERGER, W. *Principles of communication systems.* New York: Prentice-Hall, 1955.

KRIPPENDORFF, K. Mathematical theory of communication. *In*: LITTLEJOHN, W.; FOSS, K. A (ed.). *Encyclopedia of communication theory*. Los Angeles: Sage, 2009. p. 614-618.

NYQUIST, H. Certain topics in telegraph transmission theory. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, v. 47, n. 2, p. 617-644, Apr. 1928. DOI: https://doi.org/10.1109/T-AIEE.1928.5055024. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/5055024. Acesso em: 18 nov. 2024.

PIGNATARI, D. *Informação, linguagem, comunicação.* São Paulo: Perspectiva, 1968.

ROMAN, S. *Coding and information theory.* New York*:* Springer, 1992.

SALSMAM, I. V.; ALVES, M. A. A abordagem informacional de conhecimento em Dretske. *Logeion*: filosofia da informação, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 174-196, mar. 2022. DOI: https://doi.org/10.21728/logeion.2022v8n2.p174-196. Disponível em: https://revista.ibict.br/fiinf/article/view/5812. Acesso em: 18 jan. 2024.

SHANNON, C. E.; WEAVER, W. *The mathematical theory of information.* Urbana: University of Illinois Press, 1949.

WIENER, N. *O conceito de informação na ciência contemporânea*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1970. (Ciência e informação, 2).

Agradecimentos

Agradecemos ao Grupo de Estudos em Filosofia da Informação, da Mente e Epistemologia - GEFIME (CNPq/UNESP), pelas discussões. Ao CNPq, pelo apoio, por meio da Chamada Universal 2018, Projeto "Relações entre informação, conhecimento e ação segundo Dretske", processo número 420433/2018–0 e Chamada PQ - 2021, Projeto "Informação, cognição e notícias falsificadas: uma análise a partir de Fred Dretske", processo número: 311630/2021–9. A André Martin de Oliveira Franco e Felipe Gustavo Alves Moreira, pelas leituras prévias do texto.