



A IMPORTÂNCIA DE SHANNON & WEAVER PARA A CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO

THE IMPORTANCE OF SHANNON & WEAVER FOR INFORMATION SCIENCE

LA IMPORTANCIA DE SHANNON Y WEAVER PARA LA CIENCIA DE LA INFORMACIÓN

Adriana Sousa Silva¹

¹ Doutoranda em Ciências da Informação pela Universidade Federal da Bahia. E-mail: drica_cind@hotmail.com. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0404414344102672>. Orcid Id: <https://orcid.org/0000-0002-1623-8887>.

RESUMO

O estudo buscar conhecer a importância de Claude Elwood Shannon e Warren Weaver para o campo da Ciência da Informação (CI), procurando analisar suas biografias, as interferências das suas formações na construção da CI e suas produções científicas, em especial a influência da Teoria Matemática da Comunicação (TMC), também conhecida como Teoria da Informação.

PALAVRAS- CHAVE: Claude Elwood Shannon; Warren Weaver; Teoria Matemática da Comunicação; Teoria da Informação; Ciência da Informação.

ABSTRACT

The study seeks to understand the importance of Claude Elwood Shannon and Warren Weaver for the field of Information Science (IC), seeking to analyze their biographies, the interference of their training in the construction of IC and their scientific productions, especially the influence of Mathematical Theory of Communication (TMC), also known as Information Theory.

KEYWORDS: Claude Elwood Shannon; Warren Weaver; Mathematical Theory of Communication; Information Theory; Information Science.

RESUME

Este estudio busca comprender la importancia de Claude Elwood Shannon y Warren Weaver en el campo de las Ciencias de la Información (CI), analizando sus biografías, el impacto de su formación en el desarrollo de las CI y su producción científica, en particular la influencia de la Teoría de la Comunicación Matemática (TCM), también conocida como Teoría de la Información.

Palabras- clave: Claude Elwood Shannon; Warren Weaver; Teoría de la Comunicación Matemática; Teoría de la Información; Ciencias de la Información.

INTRODUÇÃO

Claude Elwood Shannon foi um matemático estadunidense que passou a ser conhecido como o pai da teoria da informação devido às suas descobertas no que se refere a transmissão de informações de maneira eficiente. Seus estudos, em conjunto com o matemático Warren Weaver, deram origem à Teoria Matemática da Comunicação (TMC), também conhecida como Teoria da Informação, que tem como objetivo analisar a quantificação, armazenamento e comunicação da informação.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo é conhecer as trajetórias de Claude Elwood Shannon e Warren Weaver e sua importância para a Ciência da Informação (CI), em especial a influência da TMC para a CI.

CLAUDE ELWOOD SHANNON

Nascido em 30 de abril de 1916, na cidade de Gaylord, no estado de Michigan/EUA, Claude Elwood Shannon formou-se no ano de 1936 em matemática e em engenharia elétrica pela Universidade do Michigan. Shannon tornando-se mestre em engenharia elétrica com a premiada pesquisa intitulada *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*², sobre o uso da álgebra booleana para analisar, otimizar e construir relações numéricas lógicas, estabelecendo assim a teoria por trás da computação digital e dos circuitos digitais. Shannon formou-se doutor em matemática, pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts, com a pesquisa sobre genética populacional intitulada *An Algebra for Theoretical Genetics*³.

Profissionalmente, Shannon trabalhou no Instituto de Tecnologia de Massachusetts com um analisador diferencial, um dos primeiros tipos de computador mecânico desenvolvido por Vannevar Bush. O analisador diferencial era utilizado para calcular soluções numéricas para equações diferenciais ordinárias. Shannon também atuou como matemático pesquisador entre os anos de 1941 a 1972 na *AT&T Bell Telephones Laboratories*, laboratório criado pelo próprio inventor do telefone, Graham Bell, onde se dedicou a aprimorar a qualidade da transmissão de informações.

Shannon também contribuiu, durante a Segunda Guerra Mundial (1939 a 1945), para a defesa nacional dos Estados Unidos com atividades no campo da

² Tradução: Uma análise simbólica de circuitos de relés e comutação.

³ Tradução: A álgebra para teoria genética.

criptografia, enquanto membro pesquisador do Comitê de Pesquisa de Defesa Nacional (NDRC). Seu trabalho durante a guerra foi responsável pela construção de um sistema de comunicação secreto através do qual o Presidente dos Estados Unidos Franklin Delano Roosevelt se comunicava com Winston Leonard Spencer Churchill durante a Segunda Guerra Mundial.

Em 1940, Shannon casou-se com Norma Levor, divorciando-se cerca de um ano pós o casamento. Em 1949, uniu-se em matrimônio com Mary Elizabeth Moore com quem teve três filhos. Mary Elizabeth, conhecida como Betty, ajudou Shannon na construção de algumas de suas invenções mais famosas, como, por exemplo, o dispositivo de aprendizado de máquina, denominado Theseus, que inspirou todo o campo da Inteligência Artificial.

Claude Elwood Shannon ocupou o cargo de professor visitante de ciências da comunicação e matemática no Instituto de Tecnologia de Massachusetts em 1956. Em 1957 foi nomeado para o corpo docente do Instituto, permanecendo como consultor da *Bell Telephones*. Em 1958 ele se tornou *Donner Professor of Science*.

Ademais, Shannon era interessado em malabarismo, monociclismo e xadrez. Ele também inventou muitos dispositivos, incluindo um computador de numeração romana chamado THROBAC, máquinas de malabarismo e dispositivos que poderiam resolver o quebra-cabeça do cubo mágico ou melhorar as probabilidades ao jogar roleta.

Portador da doença de Alzheimer, Shannon passou seus últimos anos de vida em uma casa de repouso em Massachusetts, onde faleceu em 24 de fevereiro de 2001, aos 84 anos.

A PRODUÇÃO DE CLAUDE ELWOOD SHANNON

A formação acadêmica associada a prática profissional de Shannon contribuíram para o desenvolvimento de importantes estudos matemáticos. Em 1941, Shannon publicou o artigo “A teoria matemática do analisador diferencial” ao qual o autor apresenta resultado dos estudos sobre as condições das quais as funções de uma ou mais variáveis podem ser geradas, além das condições sob as quais equações diferenciais ordinárias podem ser resolvidas. Neste artigo, Shannon destaca a aproximação de funções relacionadas à transmissão e ao controle automático de velocidade.

No ano seguinte, em 1942, Shannon publicou um artigo sobre o número de redes paralelas em série de dois terminais e 06 (seis) anos após, em 1948, publicou no

Bell System Technical Journal o artigo *A Mathematical Theory of Communication*⁴. Este artigo fundou e lançou os conceitos básicos para uma nova teoria de transmissão e processamento de informação, apresentando um modelo esquemático linear de um sistema de comunicações.

Com a sua visão, tornava-se possível partilhar uma variedade de informações (como sons ou imagens) através de fios elétricos, sob a forma binária de zeros e uns, sendo que, até então, a comunicação se julgava limitada à transmissão de ondas eletromagnéticas. Em *A Mathematical Theory of Communication*, que introduziu a palavra "bit" pela primeira vez, Shannon mostrou que adicionar bits extras a um sinal permitia a correção de erros de transmissão.

Em 1949, Shannon continuou seu trabalho mostrando como a álgebra booleana poderia ser usada para sintetizar e simplificar circuitos de comutação de relés. Ele também provou resultados ao colorir as arestas de um gráfico de modo que duas arestas da mesma cor não se encontrem em um vértice. Neste mesmo ano, publicou outro artigo importante sobre a teoria da comunicação dos sistemas de sigilo. O trabalho em sistema de comunicação criptografado realizado por Shannon durante a Segunda Guerra Mundial foi desclassificado e publicado, gerando uma revolução do campo da criptografia.

Em 1952, Shannon desenvolveu um experimento ilustrando as capacidades dos relés telefônicos. Seu trabalho posterior analisou ideias em inteligência artificial e desenvolveu programas para jogos. Em 1956, a humanidade pôde conhecer o primeiro jogo jogado pelo computador Los Alamos MANIAC.

Ao longo de sua vida profissional, Shannon recebeu diversas homenagens pelo seu trabalho. Entre uma longa lista de prêmios estavam o Prêmio Alfred Nobel do Instituto Americano de Engenheiros Americanos (1940), a Medalha Nacional de Ciência (1966), o Prêmio Harvey (1972), a Medalha de Ouro da Sociedade de Engenharia de Áudio (1985) e o Prêmio Kyoto (1985). Shannon também recebeu o *Marconi Lifetime Achievement Award* da *Guglielmo Marconi International Fellowship Foundation* em 2000.

⁴ Tradução: "A teoria matemática de comunicação".

Em reconhecimento ao seu trabalho, a Sociedade de Teoria da Informação do Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE) lançou o prêmio Shannon para homenagear pesquisadores dedicados ao campo inventado por Claude Elwood Shannon.

O PAI DO BIT, DA COMUNICAÇÃO ELETRÔNICA E DA TEORIA DA INFORMAÇÃO

Em sua pesquisa de mestrado, Shannon propôs um método para aplicar uma forma matemática de lógica chamada álgebra booleana ao projeto de circuitos de comutação de relés. Essa inovação, considerada o avanço que transformou o design de circuitos “de arte em ciência”, continua sendo a base do design de circuitos e chips até hoje.

Durante seu trabalho como pesquisador na *Bell Telephone Laboratories*, Shannon conseguiu explicar o problema fundamental da comunicação de maneira quantitativa: a unidade básica de informação é uma situação de "sim-não", expressado através da álgebra binária booleana por meio dos números 1 e 0, onde 1 significa "sim" (ou ligado) e 0 significa "não" (ou desligado).

Anteriormente, o sistema de numeração decimal era utilizado na construção de computadores. A partir das constatações de Shannon, com o uso do sistema binário, os computadores passaram a ser totalmente eletrônicos.

Por isso, Shannon é definido como o engenheiro do século XX que mais contribuiu para as tecnologias do século XXI, sendo chamado como “pai do bit”, “pai da comunicação eletrônica” e “pai da Teoria da Informação”.

WARREN WEAVER

Nascido em 17 de julho de 1894, na cidade de Reedsburg, no estado de Wisconsin/EUA, Warren Weaver formou-se em matemática em 1916, pela Universidade de Wisconsin e tornou-se PhD em matemática e física teórica em 1921, também pela Universidade de Wisconsin.

Weaver atuou como professor assistente de matemática no *Throop Polytechnic Institute*⁵ em Pasadena, Califórnia, no ano de 1917, quando foi convocado

⁵ O *Throop Polytechnic Institute* foi fundado em 1891 e assumiu seu nome atual de *California Institute of Technology* (Caltech), em 1920.

pelo Exército para participar do Conselho Nacional de Pesquisa, visando unir esforços técnicos para desenvolver equipamentos eficazes para ajudar os aviadores dos EUA nas batalhas aéreas da Primeira Guerra Mundial.

Depois de completar seu serviço de guerra, Weaver retornou ao *Throop Polytechnic Institute* em 1919, onde lecionou por um ano como professor assistente de matemática. No mesmo ano, Warren Weaver casou-se com Mary Hemenway, com quem teve dois filhos.

Em 1921, Weaver foi nomeado professor titular do Departamento de Matemática em Wisconsin-Madison, atuando como presidente do Departamento entre os anos de 1928 a 1932, quando assumiu o cargo de diretor da Divisão de Ciências Naturais na Fundação Rockefeller.

Durante a Segunda Guerra Mundial, Weaver chefiou o Painel de Matemática Aplicada do Escritório de Pesquisa e Desenvolvimento Científico. Ao fim da guerra, foi diagnosticado com a doença de Ménière, e, apenas em 1946, retomou ao seu trabalho na Fundação Rockefeller. Weaver ocupou o cargo de diretor da Divisão de Ciência e Agricultura e posteriormente de vice-presidente de Ciências Naturais e Médicas na Fundação Rockefeller, quando se aposentou em 1959.

Enquanto diretor da Divisão de Ciências Naturais da Fundação Rockefeller, Weaver apoiou, incentivou e mostrou possíveis caminhos aos jovens cientistas para que esses também contribuíssem com a biologia molecular. Passando a ser conhecido como “advogado da ciência”.

Aficionado por Lewis Carroll, autor do Clássico “Alice no País das Maravilhas”, Weaver publicou em 1964, o livro “Alice em várias línguas: as traduções de Alice no País das Maravilhas” que tinha como objetivo explicar os desafios de traduzir a obra em 42 idiomas.

Weaver faleceu em 24 de novembro de 1978, na cidade de Upper Milford, no estado de Connecticut/EUA. Em reconhecimento às suas contribuições extraordinárias para a Fundação Rockefeller e para a busca pela ciência, em 1989, a Fundação instituiu o Programa Warren Weaver Fellows.

A PRODUÇÃO DE WARREN WEAVER

Nas suas quase três décadas de liderança nas ciências naturais na Fundação Rockefeller, Warren Weaver contribuiu substancialmente para a revolução de meados do

século na biologia e nas ciências agrícolas. Ao longo de uma vida dedicada à construção de pontes entre as ciências, Weaver também contribuiu significativamente para a matemática, estatística, física, ciência da computação e associações científicas.

Dentre as principais produções de Weaver destaca-se: (i) O Lady Luck onde escreveu um relato popular da teoria da probabilidade (1963); (ii) O artigo publicado no *American Scientist* sobre ciência e guerra, intitulado *Science and Complexity*⁶ (1948); (iii) O livro *U.S. Philanthropic Foundations: Their History, Structure, Management and Record*⁷ (1967) onde fez uma avaliação das fundações filantrópicas nos Estados Unidos, a partir de uma análise detalhada de como as doações fizeram a diferença em muitas áreas de atividade; (iv) O livro *Early support for mathematics from Rockefeller*⁸ (1977) levantando algumas das contribuições feitas pelas organizações filantrópicas da Rockefeller na década de 1920 para as ciências matemáticas; e (v) Em parceria com Max Mason, em 1929, escreveu o livro de física, *The Electromagnetic Field*⁹ (1929), um clássico sobre o campo eletromagnético.

Considerado a primeira pessoa a aventar o uso de computadores eletrônicos para a tradução de línguas naturais, Weaver publicou em 1949 o Memorando da Tradução Automática onde propôs que técnicas estatísticas do campo da teoria da informação poderiam ser usadas para permitir que computadores traduzissem texto de uma linguagem natural para outra automaticamente.

Com apoio da Fundação, Weaver desenvolveu o Programa de Biologia Experimental, inicialmente denominado *Processos Vitales*, com objetivo de aplicar as ferramentas e técnicas das ciências físicas à resolução de problemas das ciências biológicas. Ao mesmo tempo, ele identificou oportunidades para trabalho interdisciplinar nas ciências biológicas e físicas que resultaram no novo campo da biologia molecular.

Weaver escreveu uma introdução expositiva à teoria matemática geral da comunicação, que apareceu como o segundo de dois artigos em *The Mathematical Theory of Communication*, publicado em 1949.

⁶ Tradução: Ciência e Complexidade.

⁷ Tradução: Fundações Filantrópicas: Sua História, Estrutura, Gestão e Registro.

⁸ Tradução: Apoio inicial à matemática de Rockefeller.

⁹ Tradução: O Campo Eletromagnético.

A TEORIA MATEMÁTICA DA COMUNICAÇÃO

A Teoria Matemática da Comunicação foi desenvolvida pelos matemáticos e engenheiros Claude Elwood Shannon e Warren Weaver, com a finalidade específica de solucionar questões técnicas de armazenamento e circulação de informação.

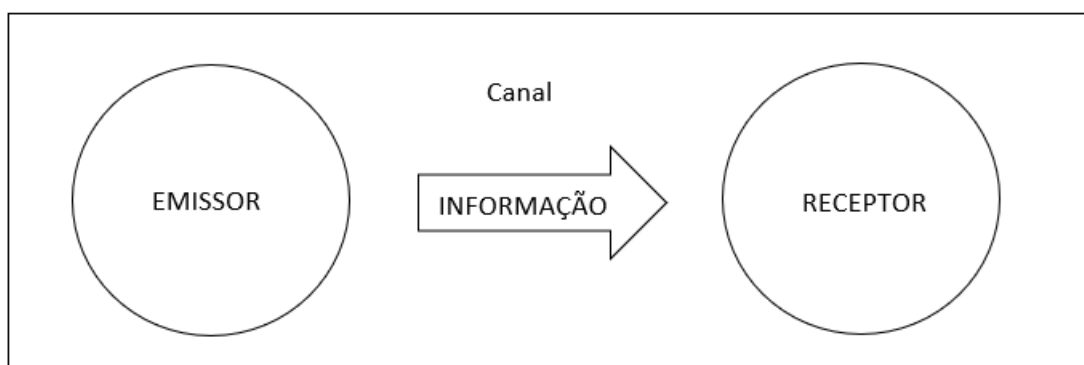
Publicizada pelo artigo *A Mathematical Theory of Communication*, a Teoria foi publicada em duas partes, nas edições de julho e outubro do ano de 1948, no *Bell System Technical Journal*. No ano seguinte, em 1949, o artigo foi editado como livro e Weaver teve o importante papel de escrever uma revisão do livro em linguagem compreensível voltada ao grande público, ampliando o alcance da obra.

Considerada como uma teoria sobre a transmissão eficiente das mensagens, a TMC tem como objetivo melhorar a eficiência do processo comunicativo a partir do aumento da velocidade de transmissão de mensagens, da diminuição das distorções e da ampliação do rendimento global do processo de transmissão de informações.

Importante destacar que a TMC surgiu para atender exclusivamente a engenharia de telecomunicações (Santos; Nunes, 2012), com base matemática, destinado a estudar os problemas de transmissão de mensagens pelos canais físicos, ou seja tinha como preocupação o caráter objetivo da informação e não com a compreensão do seu significado.

Weaver apontou que a palavra "informação" na TMC não está relacionada ao que é dito, mas no que poderia dizer. Ou seja, segundo a TMC o tratamento e a utilização dos termos informação e mensagem são sinônimos, visto que o processo comunicacional se refere ao relacionamento entre o emissor, o canal e o receptor (Imagem 1).

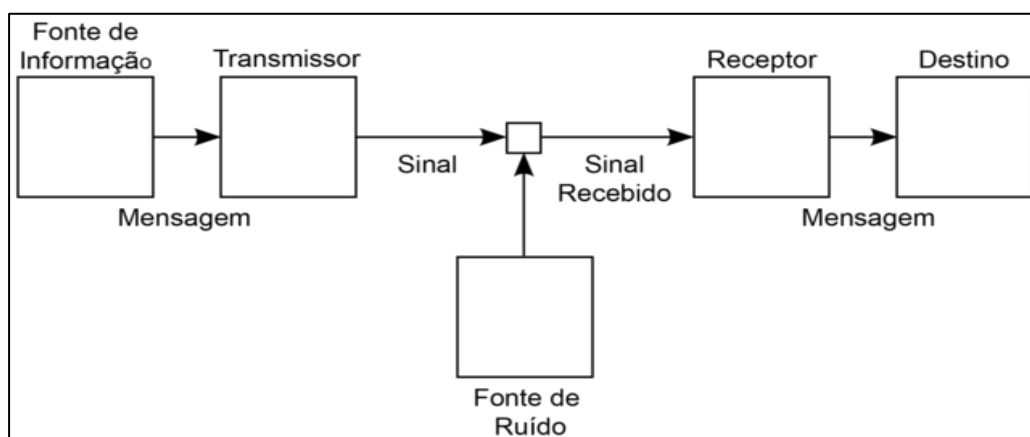
Imagem 1 – Processo Comunicacional.



Fonte: Elaborada pela autora, com base em Santos; Nunes, 2012.

De acordo com Shannon e Weaver, o processo comunicacional dentro da TMC pode ser descrito enquanto um sistema de comunicação composto pelas seguintes elementos: fonte de informação; mensagem; transmissor; sinal; fonte de ruído; sinal recebido; receptor e destino (Imagem 2).

Imagem 2 – Diagrama esquemático de um sistema geral de comunicação.



Fonte: Guedes, 2011 *apud* Shannon, 1948.

Contudo, Shannon e Weaver alertam para os problemas da comunicação, dividindo-os em 03 (três) níveis. O primeiro refere-se ao problema técnico sobre a precisão com qual os símbolos de comunicação são transmitidos. O segundo nível se refere ao problema semântico, isto é, sobre a precisão de significados carregados pelos símbolos transmitidos. O terceiro é o pragmático no que tange o problema de eficácia com o qual o significado recebido afeta a conduta da maneira desejada (Araújo, 2009; Bezerra, 2020).

Segundo Sá (2019) e Araújo (2009), Shannon e Weaver dedicaram-se na TMC ao nível do problema técnico, especificamente ao transporte físico da materialidade da informação, embora os autores da Teoria alertem que os progressos alcançados na resolução do problema técnico poderão contribuir para a resolução dos problemas de semântica e da eficiência.

Importante destacar que, a TMC dotou a CI da capacidade de analisar a informação de forma linear, desconsiderando todo e qualquer aspecto subjetivo existente no processo informacional.

A apropriação, por parte da Ciência da Informação, de conceitos oriundos das ciências exatas colaborou significativamente para a constituição da base teórica inicial da

Ciência da Informação. Conceitos como probabilidade e entropia foram utilizados por Shannon para mensurar a quantidade de informação possível de ser selecionada e enviada através de determinado canal (Bezerra, 2020). Araújo (2009, p. 194) complementa afirmando que ao trazer das ciências exatas os conceitos de entropia e probabilidade, a TMC considera a informação como uma entidade “da ordem da probabilidade, sendo a entropia um de seus atributos” o que torna ainda mais clara a característica que a particulariza, a quantificação da informação.

Os conceitos oriundos da TMC foram e continuam sendo amplamente utilizados na recuperação da informação, na medida em que tanto sua fundamentação teórica básica como as pesquisas iniciais realizadas nessa área estão firmemente assentadas em alguns dos principais conceitos da TMC. Araújo (2009) destaca que mesmo sendo alvo de críticas, especialmente nas duas últimas décadas, em nenhum momento a TMC teve sua permanência ameaçada como modelo adotado pela Ciência da Informação.

A construção epistemológica da CI está baseada em um paradigma eminentemente positivista que exclui o papel ativo do sujeito cognoscente no processo de recuperação da informação (Bezerra, 2020 *apud* Capurro, 2003). Pinheiro e Loureiro (1995) chamam atenção que é na recuperação da informação que a interveniência do computador se faz de maneira mais acentuada.

Cabe lembrar que, Shannon, considerado como pai do bit, percebeu que o dígito binário era o elemento fundamental em toda a comunicação e que suas investigações mais importantes foram no desenvolvimento dos sistemas comunicacionais, nomeadamente através do uso das potencialidades do código binário. Dentro deste contexto, a TMC surgiu no momento em que o processo de revolução científica e tecnológica possibilitou sinais afirmativos da necessidade de estabelecer novas formas de mensuração de conteúdos providos em suportes que carregam uma potencialidade quantitativa de informação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a Segunda Guerra as tecnologias de transferência de informação passaram a se multiplicar. Contudo, não era possível quantificar a quantidade de informação que precisava ser transportada. A TMC definiu uma noção matemática pela qual a informação poderia ser quantificada e demonstrou que a informação poderia ser

fornecida de forma confiável através de canais de comunicação imperfeitos, como linhas telefônicas ou conexões sem fio.

A Teoria Matemática da Comunicação ou Teoria da Informação, desenvolvida por Shannon e Weaver, trouxe importantes contribuições ao conceito da informação, ainda que sua origem esteja na solução de problemas técnicos de transmissão de sinais, na comunicação.

Ao analisarmos as influências da TMC percebemos que devido a importância, tanto teórica como histórica dessa teoria para a Ciência da Informação, houve a criação de uma dependência epistemológica muito forte da CI para com a referida teoria.

Considerando que a TMC contribuiu fortemente nas mais diversas áreas do conhecimento: matemática, informática, biblioteconomia, linguística, filosofia, psicologia, comunicação, engenharia, educação, medicina, biologia, física, geografia, agricultura dentre muitas outras áreas, destaca-se importância de Claude Elwood Shannon e Warren Weaver para a Ciência da Informação.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Carlos Alberto Ávila. Correntes teóricas da Ciência da Informação. **Ciência da Informação**. Brasília, DF, v. 38, n. 3, p. 192-204, set./dez. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ci/a/qhsrgPL7T6RbKKVbMwrPMNb/?format=pdf>. Acesso em: 16 abr 2024.

BEZERRA, Arthur Coelho. Da teoria matemática para uma proposta de teoria crítica da informação: a integração dos conceitos de regime de informação e competência crítica em informação. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 25, número 3, p. 182-201, set./2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pci/a/nC4jjgPCTzBXXyQCNPmbksQ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 16 abr 2024.

COUTINHO, Marília. O nascimento da biologia molecular: revolução, redução e diversificação - um ensaio sobre modelos teóricos para descrever mudança científica. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 15, n. 3, p. 43-82, set/dez. 1998. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8945>. Acesso em: 16 abr 2024.

GUEDES, William. A teoria matemática da comunicação e a ciência da informação. Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação, 12., 2011, Distrito Federal. **Anais [...]** Distrito Federal: Unb, 2011. Disponível em: <https://cip.brapci.inf.br/download/178153>. Acesso em: 16 abr 2024.

IEEE Information Theory Society. Claude E. Shannon. **IEEE Information Theory Society**. 2024. Disponível em: <https://www.itsoc.org/about/shannon>. Acesso em: 16 abr 2024.

National Academy of Sciences. **Warren Weaver 1894-1978: A Biographical Memoir by. Mina Rees.** Biographical Memoir, 1987, 39 p. Disponível em: <https://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/weaver-warren.pdf>. Acesso em: 16 abr 2024.

O'CONNOR, J. J.; ROBERTSON, E. F. Claude E Shannon (1916 - 2001) – Biografia. **MacTutor História da Matemática.** 2024. Disponível em: [Claude E Shannon \(1916 - 2001\) - Biography - MacTutor History of Mathematics \(st-andrews.ac.uk\)](https://st-andrews.ac.uk/Biographies/Shannon/). Acesso em: 16 abr 2024.

O'CONNOR, J. J.; ROBERTSON, E. F. Warren Weaver. **MacTutor História da Matemática.** 2024. Disponível em: <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Weaver/>. Acesso em: 16 abr 2024.

PENA, Aurélio Bianco; SILVA, Cibelle Celestino. Da comunicação à informação: quando a prática se sobrepõe à teoria. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Ybsq49zS7BSBKMqjLHXmDKt/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 abr 2024.

PINHEIRO, Lena Vania Ribeiro; LOUREIRO, José Mauro Matheus. Traçados e limites da ciência da informação. **Ciência da Informação**, v. 24, n. 1, 1995 – Artigos. Disponível em: <https://revista.ibict.br/ciinf/article/view/609>. Acesso em: 16 abr 2024.

Porto Editora. Claude Shannon na Infopédia [em linha]. **Infopédia.** 2024. Disponível em: [Claude Shannon - Infopédia \(infopedia.pt\)](https://pt.infopedia.org/?dl=shannon). Acesso em: 16 abr 2024.

SÁ, Alzira Tude. Uma abordagem matemática da informação: a teoria de Shannon e Weaver – possíveis leituras. **Logeion: Filosofia da informação**, Rio de Janeiro, v. 5 n. 1, p. 48-70, set.2018/fev. 2019. Disponível em: <https://revista.ibict.br/fiinf/article/view/4245>. Acesso em: 16 abr 2024.

SANTOS, Izabel Lima dos; NUNES, Jefferson Veras. Relações entre a teoria matemática da comunicação e a ciência da informação. **Múltiplos Olhares em Ciência da Informação**, v. 2, n. 2, out. 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/moci/article/download/16944/13706/48048>. Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Breve biografia de Claude Shannon. **Webpages.** 2024. Disponível em: <https://webpages.ciencias.ulisboa.pt/~ommartins/seminario/xadrez/biografiashannon.htm>. Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Claude Shannon, o pai do bit. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). 2024. Disponível em: <http://www.mat.ufrgs.br/~portosil/passa1c.html>. Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Claude Shannon: conheça o pai da teoria da informação. **Mentalidades Matemáticas.** 2024. Disponível em: <https://mentalidadesmatematicas.org.br/claude-elwood-shannon-conheca-o-pai-da-teoria-da-informacao/>. Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Claude Shannon: pai da Teoria da Informação nascia há 97 anos. **Terra.** 2024. Disponível em: https://www.terra.com.br/byte/claude-shannon-pai-da-teoria-da-informacao-nascia-ha-97-anos,8121c08e6e65e310VgnVCM20000099cceb0aRCRD.html?utm_source=clipboard. Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Cláudio Shannon. **Wikipédia**. 2024. Disponível em:
https://en.wikipedia.org/wiki/Claude_Shannon. Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Warren Weaver. **Britannica**. 2024. Disponível em:
<https://www.britannica.com/topic/University-of-Wisconsin>. Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Warren Weaver. **Coleção e Catálogo online do Rockefeller Archive Center**. 2024. Disponível em:
<https://dimes.rockarch.org/agents/D8zqbxgxZdiJGFsLmnCbKS>. Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Warren Weaver. **Wikipédia**. 2024. Disponível em:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Warren_Weaver. Acesso em: 16 abr 2024.

SERRANO-BOSQUE, Francisco Javier; CAPONI, Gustavo. Warren Weaver e o Programa de Biologia Experimental da Fundação Rockefeller. **Scientiae Zudia**, São Paulo, v. 12, n. 1, pág. 137-67, 2014. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/ss/a/y3kB3n597z7B9QLHxmjjmmv/?format=pdf&lang=es>. Acesso em: 16 abr 2024.

VERSÃO INTEGRAL EM LÍNGUA INGLESA

The Importance of Shannon e Weaver for Information Science

Adriana Sousa Silva¹⁰

INTRODUCTION

Claude Elwood Shannon was an American mathematician who became known as the father of information theory due to his discoveries regarding the efficient transmission of information. His studies, in conjunction with mathematician Warren Weaver, gave rise to the Mathematical Theory of Communication (MTC), also known as Information Theory, which aims to analyze the quantification, storage, and communication of information.

In this sense, the objective of this study is to explore the careers of Claude Elwood Shannon and Warren Weaver and their importance to Information Science (IS), particularly the influence of MCT on IS.

CLAUDE ELWOOD SHANNON

Born on April 30, 1916, in Gaylord, Michigan, USA, Claude Elwood Shannon graduated in 1936 with a degree in mathematics and electrical engineering from the University of Michigan. Shannon earned a master's degree in electrical engineering with his award-winning research, "A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits,"¹¹ on the use of Boolean algebra to analyze, optimize, and construct logical numerical relationships, thus establishing the theory behind digital computing and digital circuits. Shannon earned his doctorate in mathematics from the Massachusetts Institute of Technology with his research on population genetics, "An Algebra for Theoretical Genetics"¹².

Professionally, Shannon worked at the Massachusetts Institute of Technology with a differential analyzer, an early type of mechanical computer developed by Vannevar Bush. The differential analyzer was used to calculate numerical solutions to ordinary

¹⁰ PhD student in Information Science at the Federal University of Bahia. E-mail: drica_cind@hotmail.com. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0404414344102672>. Orcid Id: <https://orcid.org/0000-0002-1623-8887>.

¹¹ Translation: A symbolic analysis of relay and switching circuits.

¹² Translation: Algebra for genetic theory.

differential equations. Shannon also worked as a research mathematician from 1941 to 1972 at AT&T Bell Telephone Laboratories, a laboratory founded by the inventor of the telephone, Graham Bell, where he dedicated himself to improving the quality of information transmission.

During World War II (1939 to 1945), Shannon also contributed to the national defense of the United States with activities in the field of cryptography, as a research fellow at the National Defense Research Committee (NDRC). His work during the war led to the construction of a secret communications system through which US President Franklin Delano Roosevelt communicated with Winston Leonard Spencer Churchill during World War II.

In 1940, Shannon married Norma Levor, divorcing about a year after their marriage. In 1949, he married Mary Elizabeth Moore, with whom he had three children. Mary Elizabeth, known as Betty, helped Shannon build some of his most famous inventions, such as the machine-learning device called Theseus, which inspired the entire field of Artificial Intelligence.

Claude Elwood Shannon became a visiting professor of communication sciences and mathematics at the Massachusetts Institute of Technology in 1956. In 1957, he was appointed to the faculty of the Institute, remaining as a consultant to Bell Telephones. In 1958, he became Donner Professor of Science.

Shannon was also interested in juggling, unicycling, and chess. He also invented many devices, including a Roman numeral computer called the THROBAC, juggling machines, and devices that could solve Rubik's Cube puzzles or improve the odds when playing roulette.

Shannon, suffering from Alzheimer's disease, spent his final years in a nursing home in Massachusetts, where he died on February 24, 2001, at the age of 84.

THE PRODUCTION OF CLAUDE ELWOOD SHANNON

Shannon's academic training combined with his professional practice contributed to the development of important mathematical studies. In 1941, Shannon published the article "The Mathematical Theory of the Differential Analyzer," in which he presented the results of studies on the conditions under which functions of one or more variables can be generated, as well as the conditions under which ordinary differential

equations can be solved. In this article, Shannon emphasized the approximation of functions related to transmission and automatic speed control.

The following year, in 1942, Shannon published a paper on the number of two-terminal serial-parallel networks, and six years later, in 1948, he published the article "A Mathematical Theory of Communication"¹³ in the Bell System Technical Journal. This paper founded and laid the basic concepts for a new theory of information transmission and processing, presenting a linear schematic model of a communications system.

With his vision, it became possible to share a variety of information (such as sounds or images) over electrical wires, in the binary form of zeros and ones, whereas, until then, communication was thought to be limited to the transmission of electromagnetic waves. In "A Mathematical Theory of Communication," which introduced the word "bit" for the first time, Shannon showed that adding extra bits to a signal allowed the correction of transmission errors.

In 1949, Shannon continued his work by showing how Boolean algebra could be used to synthesize and simplify relay switching circuits. He also demonstrated results by coloring the edges of a graph so that no two edges of the same color meet at a vertex. That same year, he published another important paper on the theory of communication in secrecy systems. Shannon's work on encrypted communication systems during World War II was declassified and published, sparking a revolution in the field of cryptography.

In 1952, Shannon developed an experiment illustrating the capabilities of telephone relays. His later work analyzed ideas in artificial intelligence and developed game programs. In 1956, humanity experienced the first game played by the Los Alamos MANIAC computer.

Throughout his professional life, Shannon received numerous honors for his work. Among a long list of awards were the Alfred Nobel Prize of the American Institute of American Engineers (1940), the National Medal of Science (1966), the Harvey Prize (1972), the Gold Medal of the Society for Audio Engineering (1985), and the Kyoto Prize (1985). Shannon also received the Marconi Lifetime Achievement Award from the Guglielmo Marconi International Fellowship Foundation in 2000.

¹³ Translation: "The mathematical theory of communication".

In recognition of his work, the Information Theory Society of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) launched the Shannon Prize to honor researchers dedicated to the field invented by Claude Elwood Shannon.

THE FATHER OF THE BIT, ELECTRONIC COMMUNICATION, AND INFORMATION THEORY

In his master's thesis, Shannon proposed a method for applying a mathematical form of logic called Boolean algebra to the design of relay switching circuits. This innovation, considered the breakthrough that transformed circuit design from an art into a science, remains the foundation of circuit and chip design to this day.

During his work as a researcher at Bell Telephone Laboratories, Shannon was able to explain the fundamental problem of communication quantitatively: the basic unit of information is a "yes-no" situation, expressed through Boolean binary algebra by the numbers 1 and 0, where 1 means "yes" (or on) and 0 means "no" (or off).

Previously, the decimal numbering system was used in computer construction. Based on Shannon's findings, with the use of the binary system, computers became fully electronic.

Therefore, Shannon is considered the 20th-century engineer who contributed most to 21st-century technologies, being called the "father of the bit," "father of electronic communication," and "father of information theory."

WARREN WEAVER

Born on July 17, 1894, in Reedsburg, Wisconsin, USA, Warren Weaver graduated in mathematics in 1916 from the University of Wisconsin and earned a PhD in mathematics and theoretical physics in 1921, also from the University of Wisconsin.

Weaver served as an assistant professor of mathematics at Throop Polytechnic Institute¹⁴ in Pasadena, California, in 1917, when he was drafted by the Army to join the National Research Council, aiming to combine technical efforts to develop effective equipment to aid US aviators in the aerial battles of World War I.

After completing his war service, Weaver returned to Throop Polytechnic Institute in 1919, where he taught for a year as an assistant professor of mathematics. That same year, Warren Weaver married Mary Hemenway, with whom he had two children.

¹⁴ Throop Polytechnic Institute was founded in 1891 and assumed its current name, the California Institute of Technology (Caltech), in 1920.

In 1921, Weaver was appointed full professor in the Department of Mathematics at Wisconsin-Madison, serving as chair of the Department from 1928 to 1932, when he assumed the position of director of the Division of Natural Sciences at the Rockefeller Foundation.

During World War II, Weaver headed the Applied Mathematics Panel of the Office of Scientific Research and Development. At the end of the war, he was diagnosed with Ménière's disease, and it was not until 1946 that he returned to his work at the Rockefeller Foundation. Weaver served as director of the Division of Science and Agriculture and later as vice president for Natural and Medical Sciences at the Rockefeller Foundation until his retirement in 1959.

While director of the Division of Natural Sciences at the Rockefeller Foundation, Weaver supported, encouraged, and showed young scientists possible paths to contribute to molecular biology. He became known as a "science advocate."

A fan of Lewis Carroll, author of the classic "Alice in Wonderland," Weaver published the book "Alice in Various Tongues: The Translations of Alice in Wonderland" in 1964, which aimed to explain the challenges of translating the work into 42 languages.

Weaver died on November 24, 1978, in Upper Milford, Connecticut, USA. In recognition of his extraordinary contributions to the Rockefeller Foundation and the pursuit of science, the Foundation established the Warren Weaver Fellows Program in 1989.

WARREN WEAVER'S PRODUCTION

In his nearly three decades of leadership in the natural sciences at the Rockefeller Foundation, Warren Weaver contributed substantially to the mid-century revolution in biology and agricultural science. Throughout a life dedicated to building bridges between the sciences, Weaver also contributed significantly to mathematics, statistics, physics, computer science, and scientific associations.

Among Weaver's main productions, the following stand out: (i) **Lady Luck**, where he wrote a popular account of probability theory (1963); (ii) The article published in **American Scientist** on science and war, entitled **Science and Complexity*¹⁵ (1948); (iii) The book **U.S. Philanthropic Foundations: Their History, Structure, Management*

¹⁵ Translation: Science and Complexity.

and Record^{16*} (1967), where he assessed philanthropic foundations in the United States, based on a detailed analysis of how donations made a difference in many areas of activity; (iv) The book **Early support for mathematics from Rockefeller**¹⁷(1977), highlighting some of the contributions made by Rockefeller's philanthropic organizations in the 1920s to the mathematical sciences; and (v) In partnership with Max Mason, in 1929, he wrote the physics book **The Electromagnetic Field**¹⁸(1929), a classic on the electromagnetic field. Considered the first person to propose the use of electronic computers for natural language translation, Weaver published the Machine Translation Memorandum in 1949, where he proposed that statistical techniques from the field of information theory could be used to allow computers to automatically translate text from one natural language to another.

With support from the Foundation, Weaver developed the Experimental Biology Program, initially called Vital Processes, with the goal of applying the tools and techniques of the physical sciences to solving problems in the biological sciences. At the same time, he identified opportunities for interdisciplinary work in the biological and physical sciences that resulted in the new field of molecular biology.

Weaver wrote an expository introduction to the general mathematical theory of communication, which appeared as the second of two articles in *The Mathematical Theory of Communication*, published in 1949.

THE MATHEMATICAL THEORY OF COMMUNICATION

The Mathematical Theory of Communication was developed by mathematicians and engineers Claude Elwood Shannon and Warren Weaver, specifically for the purpose of solving technical issues related to the storage and circulation of information.

Published in the article "A Mathematical Theory of Communication," the theory was published in two parts, in the July and October 1948 issues of the Bell System Technical Journal. The following year, in 1949, the article was published as a book, and Weaver played the important role of writing a revision of the book in understandable language aimed at a general audience, expanding the work's reach.

¹⁶ Translation: Philanthropic Foundations: Their History, Structure, Management, and Registration.

¹⁷ Translation: Early Support for Rockefeller Mathematics.

¹⁸ Translation: The Electromagnetic Field.

Considered a theory of efficient message transmission, the Mathematical Theory of Communication aims to improve the efficiency of the communication process by increasing message transmission speed, reducing distortions, and increasing the overall throughput of the information transmission process.

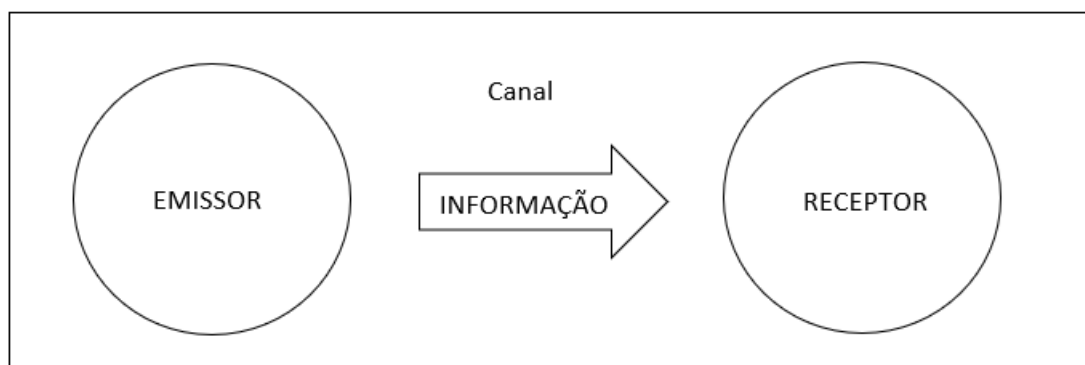
Publicized in the article "A Mathematical Theory of Communication," the theory was published in two parts, in the July and October 1948 issues of the Bell System Technical Journal. The following year, in 1949, the article was published as a book, and Weaver played the important role of writing a revision of the book in understandable language aimed at a general audience, expanding the work's reach.

Considered a theory of efficient message transmission, TMC aims to improve the efficiency of the communication process by increasing message transmission speed, reducing distortion, and increasing the overall throughput of the information transmission process.

It is important to emphasize that TMC emerged exclusively to serve telecommunications engineering (Santos; Nunes, 2012), with a mathematical basis, designed to study the problems of message transmission over physical channels. In other words, it was concerned with the objective nature of information rather than understanding its meaning.

Weaver pointed out that the word "information" in TMC does not relate to what is said, but to what it could say. In other words, according to TMC, the treatment and use of the terms information and message are synonymous, since the communication process refers to the relationship between the sender, the channel and the receiver (Image 1).

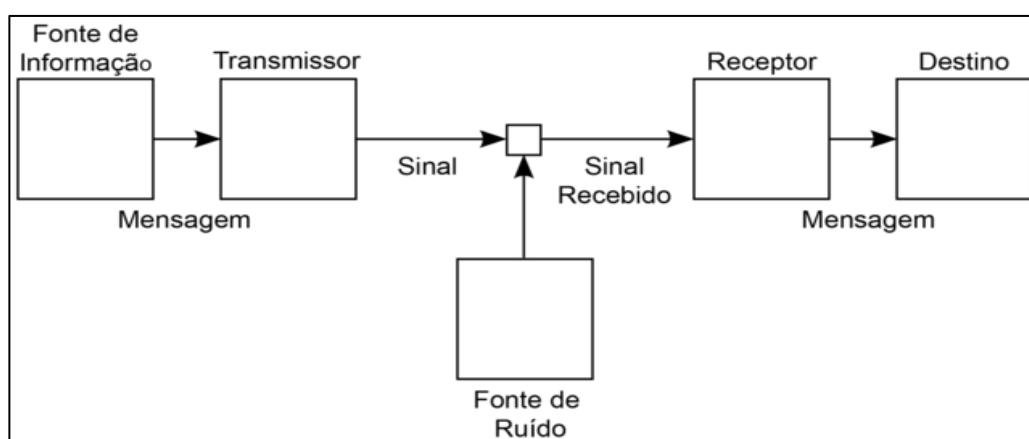
Image 1 – Communication Process.



Source: Prepared by the author, based on Santos; Nunes, 2012.

According to Shannon and Weaver, the communication process within TMC can be described as a communication system composed of the following elements: information source; message; transmitter; signal; noise source; received signal; receiver; and destination (Image 2).

Image 2 – Schematic diagram of a general communication system.



Source: Guedes, 2011 apud Shannon, 1948.

However, Shannon and Weaver warn of communication problems, dividing them into three levels. The first refers to the technical problem of the precision with which communication symbols are transmitted. The second level refers to the semantic problem, that is, the precision of the meanings carried by the transmitted symbols. The third is pragmatic, concerning the problem of effectiveness with which the received meaning affects behavior in the desired manner (Araújo, 2009; Bezerra, 2020).

According to Sá (2019) and Araújo (2009), Shannon and Weaver focused on the technical problem in TMC, specifically the physical transport of the materiality of information, although the authors of the Theory warn that progress achieved in solving the technical problem could contribute to solving the problems of semantics and efficiency. It is important to highlight that TMC provided CI with the ability to analyze information in a linear manner, disregarding any and all subjective aspects existing in the information process.

Information Science's appropriation of concepts from the exact sciences contributed significantly to the establishment of the initial theoretical foundation of Information Science. Concepts such as probability and entropy were used by Shannon to measure the amount of information that could be selected and sent through a given channel (Bezerra, 2020). Araújo (2009, p. 194) adds that by incorporating the concepts of

entropy and probability from the exact sciences, CMT considers information as an entity "of the order of probability, with entropy being one of its attributes," which further clarifies its distinguishing characteristic: the quantification of information.

The concepts originating from CMT were and continue to be widely used in information retrieval, as both its basic theoretical foundation and the initial research conducted in this area are firmly grounded in some of CMT's core concepts. Araújo (2009) highlights that despite being the target of criticism, especially in the last two decades, at no time has TMC's permanence been threatened as a model adopted by Information Science.

FINAL CONSIDERATIONS

After World War II, information transfer technologies began to multiply. However, it was impossible to quantify the amount of information that needed to be transported. TMC defined a mathematical notion by which information could be quantified and demonstrated that information could be reliably delivered through imperfect communication channels, such as telephone lines or wireless connections.

The Mathematical Theory of Communication, or Information Theory, developed by Shannon and Weaver, made important contributions to the concept of information, although its origins lie in solving technical problems of signal transmission in communication.

By analyzing the influences of TMC, we realize that due to the importance, both theoretical and historical, of this theory for Information Science, a very strong epistemological dependence of Information Science on this theory was created. Considering that TMC has contributed significantly to a wide range of fields: mathematics, computer science, library science, linguistics, philosophy, psychology, communication, engineering, education, medicine, biology, physics, geography, agriculture, among many others, the importance of Claude Elwood Shannon and Warren Weaver for Information Science stands out.

REFERENCES

- ARAÚJO, Carlos Alberto Ávila. Correntes teóricas da Ciência da Informação. **Ciência da Informação**. Brasília, DF, v. 38, n. 3, p. 192-204, set./dez. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ci/a/qhsrgPL7T6RbKKVbMwrPMNb/?format=pdf>. Acesso em: 16 abr 2024.
- BEZERRA, Arthur Coelho. Da teoria matemática para uma proposta de teoria crítica da informação: a integração dos conceitos de regime de informação e competência crítica em informação. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 25, número 3, p. 182-201, set./2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pci/a/nC4jjgPCTzBXXyQCNPmbksQ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 16 abr 2024.
- COUTINHO, Marília. O nascimento da biologia molecular: revolução, redução e diversificação - um ensaio sobre modelos teóricos para descrever mudança científica. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 15, n. 3, p. 43-82, set/dez. 1998. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8945>. Acesso em: 16 abr 2024.
- GUEDES, William. A teoria matemática da comunicação e a ciência da informação. Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação, 12., 2011, Distrito Federal. **Anais [...]** Distrito Federal: Unb, 2011. Disponível em: <https://cip.brapci.inf.br/download/178153>. Acesso em: 16 abr 2024.
- IEEE Information Theory Society. Claude E. Shannon. **IEEE Information Theory Society**. 2024. Disponível em: <https://www.itsoc.org/about/shannon>. Acesso em: 16 abr 2024.
- National Academy of Sciences. **Warren Weaver 1894-1978: A Biographical Memoir by. Mina Rees**. Biographical Memoir, 1987, 39 p. Disponível em: <https://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/weaver-warren.pdf>. Acesso em: 16 abr 2024.
- O'CONNOR, J. J.; ROBERTSON, E. F. Claude E Shannon (1916 - 2001) – Biografia. **MacTutor História da Matemática**. 2024. Disponível em: [Claude E Shannon \(1916 - 2001\) - Biography - MacTutor History of Mathematics \(st-andrews.ac.uk\)](https://www.st-andrews.ac.uk/Biographies/Shannon/). Acesso em: 16 abr 2024.
- O'CONNOR, J. J.; ROBERTSON, E. F. Warren Weaver. **MacTutor História da Matemática**. 2024. Disponível em: <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Weaver/>. Acesso em: 16 abr 2024.
- PENA, Aurélio Bianco; SILVA, Cibelle Celestino. Da comunicação à informação: quando a prática se sobrepõe à teoria. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Ybsq49zS7BSBKMqjLHXmDKt/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 abr 2024.
- PINHEIRO, Lena Vania Ribeiro; LOUREIRO, José Mauro Matheus. Traçados e limites da ciência da informação. **Ciência da Informação**, v. 24, n. 1, 1995 – Artigos. Disponível em: <https://revista.ibict.br/ciinf/article/view/609>. Acesso em: 16 abr 2024.
- Porto Editora. Claude Shannon na Infopédia [em linha]. **Infopédia**. 2024. Disponível em: [Claude Shannon - Infopédia \(infopedia.pt\)](https://pt.infopedia.org/?dl=Claude_Shannon). Acesso em: 16 abr 2024.

SÁ, Alzira Tude. Uma abordagem matemática da informação: a teoria de Shannon e Weaver – possíveis leituras. **Logeion: Filosofia da informação**, Rio de Janeiro, v. 5 n. 1, p. 48-70, set.2018/fev. 2019. Disponível em:

<https://revista.ibict.br/fiinf/article/view/4245>. Acesso em: 16 abr 2024.

SANTOS, Izabel Lima dos; NUNES, Jefferson Veras. Relações entre a teoria matemática da comunicação e a ciência da informação. **Múltiplos Olhares em Ciência da Informação**, v. 2, n. 2, out. 2012. Disponível em:

<https://periodicos.ufmg.br/index.php/moci/article/download/16944/13706/48048>.

Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Breve biografia de Claude Shannon. **Webpages**. 2024. Disponível em:

<https://webpages.ciencias.ulisboa.pt/~ommartins/seminario/xadrez/biografiashannon.htm>. Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Claude Shannon, o pai do bit. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). 2024. Disponível em: <http://www.mat.ufrgs.br/~portosil/passa1c.html>.

Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Claude Shannon: conheça o pai da teoria da informação. **Mentalidades Matemáticas**. 2024. Disponível em: <https://mentalidadesmatematicas.org.br/claude-elwood-shannon-conheca-o-pai-da-teoria-da-informacao/>. Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Claude Shannon: pai da Teoria da Informação nasceu há 97 anos. **Terra**. 2024. Disponível em: https://www.terra.com.br/byte/claude-shannon-pai-da-teoria-da-informacao-nasceu-ha-97-anos,8121c08e6e65e310VgnVCM20000099cceb0aRCRD.html?utm_source=clipboard. Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Cláudio Shannon. **Wikipédia**. 2024. Disponível em:

https://en.wikipedia.org/wiki/Claude_Shannon. Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Warren Weaver. **Britannica**. 2024. Disponível em:

<https://www.britannica.com/topic/University-of-Wisconsin>. Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Warren Weaver. **Coleção e Catálogo online do Rockefeller Archive Center**. 2024. Disponível em:

<https://dimes.rockarch.org/agents/D8zqbxgxZdiJGFsLmnCbKS>. Acesso em: 16 abr 2024.

Sem autor. Warren Weaver. **Wikipédia**. 2024. Disponível em:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Warren_Weaver. Acesso em: 16 abr 2024.

SERRANO-BOSQUE, Francisco Javier; CAPONI, Gustavo. Warren Weaver e o Programa de Biologia Experimental da Fundação Rockefeller. **Scientiae Zudia**, São Paulo, v. 12, n. 1, pág. 137-67, 2014. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ss/a/y3kB3n597z7B9QLHxmjjmmv/?format=pdf&lang=es>.

Acesso em: 16 abr 2024.