Claude Elwood Shannon e *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*: tornando o computador uma máquina semiótica

Christian Hugo Pelegrini*

Resumo:

O nome de Claude Elwood Shannon não é totalmente estranho aos pesquisadores de Comunicação Social. No entanto, parte de sua importância para a história da comunicação no século XX é pouco conhecida. Sua dissertação de mestrado e o artigo dela derivado (*A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*) foram essenciais para que o computador se tornasse uma máquina de comunicação e, conseqüentemente, penetrasse em nossa sociedade na forma como ocorre hoje. Este artigo revisa o primeiro grande trabalho de Shannon e explicita sua participação no contexto atual da comunicação.

Palavras-chave: Tecnologias da comunicação; História da comunicação; Shannon

Abstract:

The name of Claude Elwood Shannon is not a completely strange to Communication researchers. However, part of its importance to the history of communication in the XXth century is not well known. His master's dissertation and the derived paper (*A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*) were essentials to the transformation of computers into communication machines and, consequently, penetration in our society as happens today. This paper revises the first great work of Shannon and explains its participation in the present context of communication.

Key words: Technologies of communication; History of communication; Shannon

---

* Mestre em Hstória da Ciência pela PUC-SP, Radialista formado pela UNESP de Bauru, Especialista em Teorias da Comunicação pela Fundação Cásper Líbero. Professor da Universidade Municipal de São Cetano do Sul e do Centro Universitário SENAC. email: chrishp@uscs.edu.br

Introdução

O atual panorama da comunicação tem muito da obra do matemático e engenheiro americano Claude Elwood Shannon. Usualmente, encontramos seu nome ligado ao de Warren Weaver, batizando um modelo de processo de comunicação muito usado em cursos de comunicação social (o Modelo de Shannon-Weaver)[1].

No entanto, a obra de Claude Shannon é muito mais ampla que o modelo de comunicação. Os trabalhos de Shannon estão diretamente ligados ao cenário atual das comunicações por serem a base científica de uma série de avanços tecnológicos que culminaram na atual panorama (quer o abordemos como Revolução Digital, Era da Informação, Sociedade em Rede etc). Para Robert G. Gallager (2001, p.2681), "em um número surpreendente de modos, ele permitiu a era da informação". Embora a afirmação possa parecer extrema, é inegável que a obra de Claude Shannon é, de fato, um dos elementos de permitiram *esta* era da informação.

Ainda assim, quando analisamos as menções a Shannon na literatura especializada da área de comunicação, notamos uma compreensão limitada, quando não uma série de imprecisões e mal-entendidos em relação a sua obra e ao significado dela para a comunicação atual. Talvez o hiato entre a matemática avançada de seus trabalhos e o repertório predominantemente humanístico dos historiadores e teóricos da comunicação tenha impedido que sua participação na História da Comunicação do século XX fosse adequadamente narrada.

Dentre toda a vasta obra de Claude Shannon, fica evidente o predomínio e a importância de dois trabalhos: o artigo derivado de sua dissertação de mestrado, *A Symbolic Analysis of Relay And Switching Circuits*, e a série de artigos coligidos e publicados sob a forma do livro *Teoria Matemática da Comunicação*.

Embora o segundo trabalho de Shannon (*Teoria Matemática da Comunicação*) tenha sido comentado para o público brasileiro por autores como Isaac Epstein, Décio Pignatari e Teixeira Coelho, o primeiro grande trabalho de Shannon (*A Symbolic Analysis of Relay And Switching Circuits*) permanece bem pouco conhecido do público da comunicação. Seja em função da falta de uma tradução do trabalho para a língua portuguesa ou pela já mencionada distância entre o comunicólogo e a linguagem matemática, o fato é que pouco se sabe sobre este importante elemento científico que tornou possível o uso do computador como máquina de comunicação.

Para preencher esta lacuna e tentar aproximar o pesquisador da comunicação deste importante cientista, este artigo se propõe revisar o primeiro grande trabalho de Shannon e explicitar sua importância para a história das tecnologias de comunicação do século XX. O artigo vai relatar a construção dos fundamentos científicos que permitiriam, a partir da década de 40, a transformação dos computadores – então grandes calculadoras – em máquinas manipuladoras de símbolos. Se hoje usamos computadores e *gadgets* eletrônicos para fotografar e gravar sons, editar textos, imagens, músicas etc, devemos tal possibilidade ao sistema algébrico formulado por Shannon no final da década de 30. Ainda que tal obra não possa ser considerada o único fator no desenvolvimento tecnológico (considere-se, por exemplo, o transistor e as pesquisas com materiais), foi condição necessária e determinou os caminhos que a engenharia eletrônica percorreria nas décadas seguintes.

Na tentativa de melhor compreender os caminhos percorrido por Shannon, optamos por incluir algumas notas do percurso biográfico do autor, indicando os elementos que levaram ao trabalho analisado. Além da análise do princípio científico contido na obra, indicamos também os desdobramentos contemporâneos deste trabalho.

Sobre Claude E. Shannon

Claude Elwood Shannon nasceu em Petoskey, Michigan, em 30 de abril de 1916. Filho de um tabelião e de uma professora, Shannon freqüentou as escolas locais e sempre conseguiu bons desempenhos em ciências exatas e mecânicas. Tornou-se íntimo do Código Morse ao construir, ainda na infância, um telégrafo que ligava sua casa à casa de um amigo, meia milha distante. Para isso, usou os arames da cerca de um pasto entre as propriedades.

Na adolescência, trabalhou entregando jornais e telegramas. Também trabalhou na loja de departamentos da cidade fazendo manutenção nos receptores de rádio, bastante comuns naquela época.

Aos 16 anos, Shannon ingressou na Universidade de Michigan, seguindo os passos de sua irmã mais velha, Catherine, que acabara de obter o título de mestre em

Matemática. Em 1936, Shannon formou-se Bacharel em Matemática e Bacharel em Engenharia Elétrica (SHANNON, 1992, p. xi).

A dupla formação de Shannon é um aspecto que merece destaque. Como será mostrado adiante, a dupla formação permitiu a ele um singular olhar sobre os fenômenos que estudava. Ser um engenheiro com um conhecimento matemático mais profundo que os demais lhe proporcionou uma peculiar capacidade de analisar matematicamente questões concretas de engenharia; e ser um matemático com formação em engenharia lhe permitiu reconhecer e compreender as implicações (e as aplicações) práticas do que pesquisava. A tensão entre o engenheiro e o matemático estará presente em toda sua obra e deve ser considerada ao se tentar entender o seu pensamento.

O próprio Shannon (1992, p. xxv) relata o caminho que sua carreira tomou após a graduação.

> Quando eu obtive meu bacharelado em Michigan eu não estava certo do que faria em seguida. Havia um pequeno anúncio na parede dizendo que o M.I.T. estava procurando alguém para operar o analisador diferencial, uma máquina que Vannevar Bush havia inventado para resolver equações diferenciais. Eles queriam um pesquisador assistente para operá-lo, e eu me inscrevi para o trabalho.

O analisador diferencial era o mais poderoso computador da época, capaz de resolver equações diferenciais além do sexto grau (BRETON, 1991, p. 73). Seu funcionamento exigia que se configurasse uma série de circuitos de relés. Os relés (espécie de interruptores elétricos que podem estar abertos ou fechados – logo, um sistema binário) suscitaram em Shannon as primeiras comparações envolvendo a programação do Analisador Diferencial e a lógica de George Boole, aprendida em seus primeiros anos de faculdade (GALLAGER, 2001, p.2681).

No verão de 1937, Shannon estagiou nos Laboratórios Bell, importante centro de desenvolvimento de tecnologia e fonte de soluções técnicas da AT&T – empresa privada de telecomunicações que monopolizava esse mercado nos Estados Unidos. Nos Bell Labs, Shannon teve contato com os complexos sistemas de comutação telefônica que gerenciavam automaticamente as chamadas telefônicas domésticas (em muitos aspectos, equivalentes aos sistemas binários de relés do analisador diferencial).

Voltando ao M.I.T (Massachusetts Institute of Technology) ainda em 1937, Shannon apresentou sua dissertação de mestrado *A Symbolic Analysis of Relay And Switching Circuits*. Por recomendação de seu mentor, Vannevar Bush, Shannon editou um artigo de 16 páginas com o conteúdo da dissertação e o apresentou ao *Transactions American Institute of Electrical Engineers* (o Institute of Electrical Engineers mais tarde viria a se tornar o IEEE[2]).

Em seu primeiro trabalho de destaque, Shannon desenvolveu uma álgebra específica para realizar a síntese e a análise de circuitos elétricos que executassem a lógica de George Boole.
Ainda que não seja este o objeto do artigo, convém uma breve explanação sobre a lógica booleana para que possamos entender as operações lógicas que os computadores passariam a realizar, em quantidades gigantescas e com velocidades cada vez mais distantes da dimensão humana.

Tais operações, quando consideradas da perspectiva do usuário comum, se manifestam na capacidade que os computadores têm de atender aos comandos do usuário e/ou automatizar funções. Colorir certas áreas de uma imagem, substituir determinada palavra em todo um texto, mover uma figura na tela com o auxílio de um *mouse* ou amplificar apenas um instrumento em um arquivo sonoro-musical são concretizações de uma quantidade astronômica de operações segundo a lógica booleana.

A lógica de Boole

Boole publicou dois importantes trabalhos que contribuíram para a transição da Lógica Clássica para uma Lógica Matemática. Para compreender a obra de Shannon, devemos dar especial atenção ao segundo: em *An Investigation Into Laws of Thought, on Which Are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities*, de 1854, Boole pretendia vincular a Lógica à Álgebra e tornar o resultado uma ciência autônoma. Além disso, em *An Investigation Into Laws of Thought*, Boole apresentava uma "análise detalhada dos processos de raciocínio humano e as leis fundamentais que governam as operações da mente" (SMITH, 1993, p. 218).

A proposta de Boole apresentava uma consideração bastante importante para as posteriores aplicações da obra de Shannon. Boole estabeleceu regras que corresponderiam ao processamento de informação na mente humana; ao raciocínio (segundo entendia Boole). Para o lógico britânico, o raciocínio era composto de certas operações realizadas entre conceitos: ou se articulava logicamente conceitos simples para a formação de um mais complexo ou se desarticulava conceitos complexos em seus componentes mais simples. As operações realizadas pelo pensamento seriam equivalentes aos conceitos relacionados pelas operações lógicas de OU, NÃO e E.

O próprio Boole (*apud* SMITH, 1993, p. 219) exemplifica o funcionamento de seu sistema

> Então, se *x* sozinho representa "coisas brancas", e *y* representa "ovelha", então *xy* representa "ovelhas brancas"; e de forma semelhante, se *z* representa "coisas com chifres", e *x* e *y* mantém suas interpretações prévias, então *xyz* representa "ovelha branca com chifres" por exemplo aquela coleção de coisas as quais o nome "ovelha" e as descrições "branca" e "com chifre" são aplicáveis.

Ao operar sobre conceitos e atributos com tais funções lógicas, Boole tornou possível emular certos processos racionais por meio de equações algébricas.

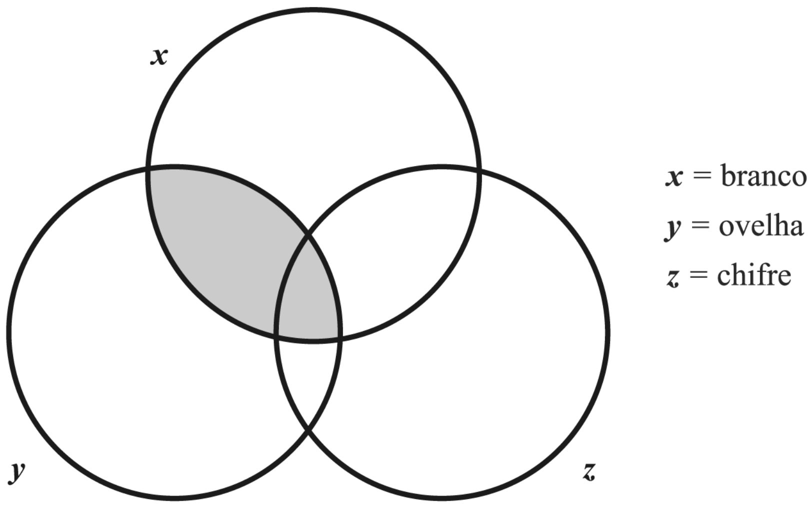

Fig. 01 – Diagrama de Venn-Euler para a expressão booleana xy: a região sombreada corresponde a "ovelhas brancas".

É importante salientar que a Álgebra de Boole possui duas peculiaridades. A primeira diz respeito ao fato desta ser uma álgebra em que os elementos somente podem assumir dois valores (1 e 0), correspondentes as categorias de Verdadeiro e Falso. Para a álgebra booleana, uma coisa só pode ser verdadeira ou falsa, sem gradações ou estados intermediários. No exemplo dados por Boole, o *x* só pode ser ovelha ou ser não-ovelha; não se admitindo que seja simultaneamente os dois (princípio da não-contradição). Da mesma forma, o x deve, necessariamente, corresponder a um destes valores, não sendo aceitável um terceiro valor (o terceiro excluído de Aristóteles). Se $x = 1$, $\neg x = 0$.

Para Boole, a relação entre dois conceitos pode acontecer pelo conectivo lógico OU (representado pelo símbolo +) ou pelo conectivo E (representado pelo símbolo ·). Além disso, o conectivo NÃO opera a extração de um conceito de dentro de outro (representado pelo -).

Uma expressão booleana $x + y$ deve ser lida como x **OU** y; sendo que o seu significado engloba o conceito x ou o conceito y ou ambos. Não se trata de um OU exclusivo, mas inclusivo; trata-se de uma operação que "expande e aumenta a soma por incluir tanto um como outro (elemento) ou ambos" (SMITH, 1993, p. 220). Assim, se x representa homens e y representa brasileiros, $x + y$ corresponde ao conjunto formado por homens brasileiros *mais* homens que não são brasileiros e mulheres brasileiras.

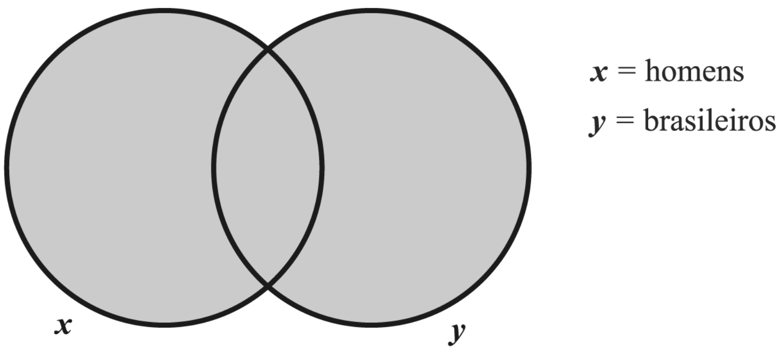

Fig. 02 – Diagrama de Venn-Euler para a expressão booleana x + y: todo e qualquer elemento que faça parte de x ou de y ou de ambos corresponde a x + y.

Da mesma forma, uma expressão booleana $x \cdot y$ deve ser lida como x **E** y; o seu significado engloba o conceito do conjunto formado pela junção dos dois – o xy. Nesta operação, os elementos antes isolados agora formam um terceiro conceito em que ambos estão necessariamente presentes. Assim, sendo x a representação de homens e y a representação de brasileiros, $x \cdot y$ representa o conjunto formado por elementos que reúnam as duas características: apenas os homens brasileiros; ficando de fora homens não-brasileiros e mulheres brasileiras.

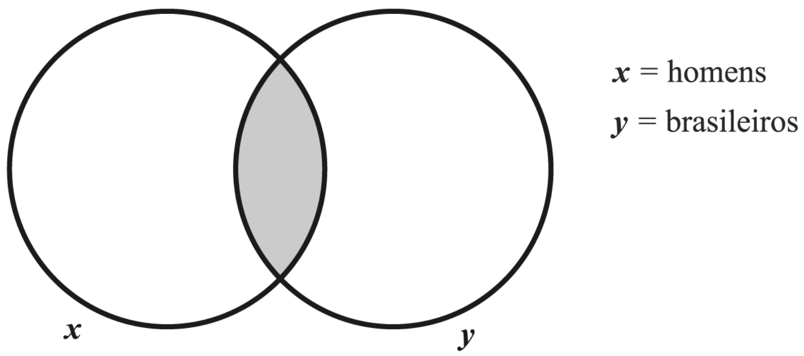

Fig. 03 – Diagrama de Venn-Euler para a expressão booleana x · y: apenas elementos que façam parte dos dois conjuntos correspondem a x · y.

A terceira operação da álgebra booleana é a que permite excluir conceitos ou atributos de um conceito maior que os contenha. O conectivo lógico **NÃO** indica os elementos que devem ser subtraídos do conceito maior. Assim, a expressão *x* – *y* deve ser lido como *x* **NÃO** *y*; o resultado de todo o *x* excluindo-se o que é *y*. Assim, como *x* representa homens e *y* representa brasileiros, *x* - *y* representa o conjunto formado por todos os homens que **NÃO** são brasileiros.

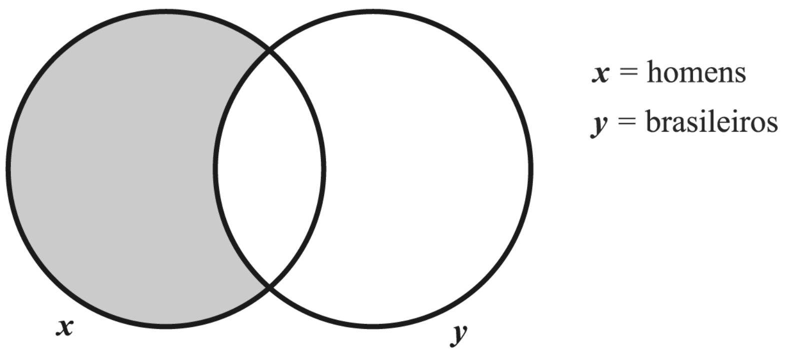

Fig. 04 – Diagrama de Venn-Euler para a expressão booleana x – y: corresponde a todos os elementos de x, com exceção dos que também fazem parte de y.

Shannon e a Álgebra de Circuitos

Quando Shannon conheceu o analisador diferencial de Vannevar Bush com seu intrincado sistema de programação por relés e comutadores, relacionou-o com as aulas de Lógica Simbólica que havia cursado em Michigan. Percebeu que a "álgebra booleana era exatamente a coisa para cuidar dos circuitos de relés e circuitos de comutação" (SHANNON *apud* LIVERSIDGE, 1992, p. xxv).

A dissertação de mestrado de Shannon e o artigo que dela derivou continham um sistema algébrico que permitia projetar sistemas que operassem segundo a lógica de Boole, porém com complexidade inimaginável para os padrões da tecnologia da época. Em outras palavras, o instrumental teórico que Shannon elaborou permitiu projetar circuitos elétricos extremamente complexos, que operavam segundo a lógica Booleana. A arquitetura dos circuitos e as funções que se poderiam esperar de um computador passaram ser projetados matematicamente (crescendo exponencialmente em complexidade).

> Nos circuitos de proteção e controle de complexos sistemas elétricos é freqüentemente necessário fazer intrincadas interconexões de relés e comutadores. Exemplos destes circuitos aparecem em centrais de comutação telefônica automática, equipamentos industrias de controle motor, e em quase qualquer circuito projetado para realizar complexas operações automaticamente. Neste artigo, uma análise matemática de certas propriedades de tais redes será feita. (SHANNON, 1992, p. 471).

Mas como Shannon foi capaz de analisar matematicamente circuitos elétricos? Como transformar em termos algébricos as ligações entre relés e comutadores?

> O método de ataque destes problemas pode ser descrito brevemente como segue: qualquer circuito é representado por uma série de equações, onde os termos das equações correspondem aos vários relés e comutadores neste circuito. Um cálculo é desenvolvido para manipular estas equações por processos matemáticos simples, a maioria similares a algoritmos algébricos comuns. Este cálculo se mostra exatamente análogo ao cálculo de proposições usado no estudo simbólico da lógica. (...) Por este método é sempre possível encontrar o circuito mais simples contendo apenas conexões em série e em paralelo, e em alguns casos o circuito mais simples contendo qualquer tipo de conexão. (SHANNON, 1992, p. 471).

O raciocínio desenvolvido por Shannon aborda exclusivamente circuitos de relés e comutadores (SHANNON, 1992, p. 472), de forma que em qualquer momento, o circuito entre dois terminais deve estar necessariamente aberto (não há a passagem de sinal) ou fechado (o sinal passa livremente).

Esta variável do circuito passa a ser chamada de *obstrução* e é designada pelo símbolo X, podendo este ser igual a 0 (quando o circuito está fechado) ou 1 (quando o circuito está aberto).

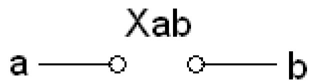

Fig. 05 – Uma obstrução.

Duas obstruções de um circuito, *a – b* e *c – d,* são consideradas iguais se sempre que *a – b* estiver aberto, *c – d* também o estiver; e sempre que *a – b* estiver fechado, *c – d* também estiver.

As obstruções conectadas em série passam a ser representadas pelo símbolo + e a operar como o conectivo lógico **E**.

Fig. 06 – Duas obstruções em série.

De forma semelhante, obstruções conectadas em paralelo passam a ser representadas pelo símbolo · e a operar como o conectivo lógico **OU**.

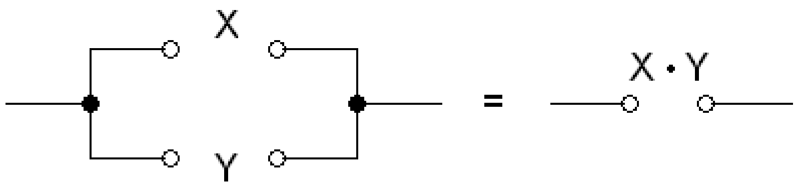

Fig. 07 – Duas obstruções em paralelo.

Shannon aponta que "a escolha dos símbolos torna a manipulação de obstruções muito similar a álgebra numérica ordinária" (SHANNON, 1992, p. 472). E comentando sua obra anos depois, o próprio autor aponta que era este o ponto crucial de sua dissertação.

> OMNI: O "*insight*" básico de que sim/não poderiam ser incorporados em comutadores ligado/desligado foi trivial?
> Shannon: Não é tanto o fato de uma coisa estar "aberta" ou "fechada", o "sim" e "não" que você mencionou. O verdadeiro fato é que duas coisas em série são descritas pela palavra "E" em lógica, então você dirá isto "E" isto, enquanto duas coisas em paralelo são descritas pela palavra "OU". A palavra "NÃO" conecta com o contato traseiro de um relé ao invés do contato dianteiro. Há contatos que fecham quando você opera o relé, e há outros contatos que abrem, então a palavra "NÃO" está relacionada a esse aspecto dos relés. Todas essas coisas juntas formam uma conexão mais complexa entre álgebra Booleana, se você quiser, ou lógica simbólica, e circuitos de relés. (LIVERSIDGE, 1992, p. xxvi).

Em outras palavras, Shannon demonstrou como representar simbolicamente as linhas condutoras de um circuito elétrico. O próximo passo foi estabelecer postulados que indicavam o resultado de tais operações lógicas e o seu significado nos circuitos (SHANNON, 1992, p. 472):

1.a. $0 \cdot 0 = 0$ (um circuito fechado em paralelo com um circuito fechado é um circuito fechado);

1.b. $1 + 1 = 1$ (um circuito aberto em série com um circuito aberto é um circuito aberto);

2.a. $1 + 0 = 0 + 1 = 1$ (um circuito aberto em série com um circuito fechado é um circuito aberto, qualquer que seja a ordem);

2.b. $0 \cdot 1 = 1 \cdot 0 = 0$ (um circuito fechado em paralelo com um circuito aberto é um circuito fechado, qualquer que seja a ordem);

3.a. $0 + 0 = 0$ (um circuito fechado em série com um circuito fechado é um circuito fechado);

3.b. $1 \cdot 1 = 1$ (um circuito aberto em paralelo com um circuito aberto é um circuito aberto);

4. Em qualquer tempo, $X = 0$ ou $X = 1$.

A partir destes postulados, Shannon estabelece teoremas algébricos que governam as combinações de obstruções. Tais postulados são agrupados em pares para explicitar a "dualidade entre as operações de adição e multiplicação e as quantidades zero e um" (SHANNON, 1992, p. 473). Ocorre que se no postulado *a* o 0 for substituído por 1 e a multiplicação for substituída por adição, o correspondente *b* surgirá. O mesmo ocorre no sentido contrário.

1.a. $X + Y = Y + X$

1.b. $XY = YX$

2.a. $X + (Y + Z) = (X + Y) + Z$

2.b. $X (YZ) = (XY)Z$

3.a. $X (Y + Z) = XY + XZ$

3.b. $X + YZ = (X + Y)(X + Z)$

4.a. $1 \cdot X = X$

4.b. $0 + X = X$

5.a. $1 + X = 1$

5.b. $0 \cdot X = 0$

As provas de tais teoremas são demonstradas por Shannon.

> Por exemplo, para provar o Teorema 4a, observe que X é 0 ou 1. Se é 0, o Teorema segue para o Postulado 2b, se é 1, ele segue para o postulado 3b. Teorema 4b agora segue pelo princípio da dualidade, substituindo o 1 por 0 e o · pelo +.
> Graças às leis associativas (2a e 2b) parênteses podem ser omitidos em uma soma ou um produto de diversos termos sem ambigüidade. Os símbolos Σ e Π são usados como na álgebra comum.

> A lei distributiva (3a) torna possível "multiplicar" e fatorar somas. O duplo deste teorema (3b), contudo, não é verdade em álgebra numérica. (SHANNON, 1992, p. 473).

Em seguida, Shannon define a terceira operação lógica, a negação (**NÃO**). Para o matemático, o "negativo de uma obstrução X será escrito como X' e é definido como sendo a variável que é igual a 1 quando X é igual a 0 e igual a 0 quando X é igual a 1" (SHANNONn, 1992, p. 473). Se X é a obstrução que fecha o contato em um relé, X' é a obstrução que abre o contato com o mesmo relé. Definida a negação, seguem seus teoremas:

6.a. $X + X' = 1$
6.b. $XX' = 0$
7.a. $0' = 1$
7.b. $1' = 0$
8. $(X')' = X$

A trabalho de Shannon prossegue demonstrando como tais cálculos são equivalentes com as partes elementares do cálculo de proposições. Ao citar a lógica de Boole como "um método simbólico de investigação de relações lógicas" (SHANNON, 1992, p. 474), Shannon aponta que tal método pode ser interpretado de duas formas: se os termos são considerados como classes, as variáveis podem admitir mais de dois estados possíveis; no entanto, se considerados como proposições, os estados possíveis são apenas dois, tal qual os estados das obstruções. Em uma nota de rodapé, Shannon chega a apontar a possibilidade de se entender *Xab* não como uma obstrução, mas como a proposição de que o circuito *a – b* está aberto. Se X = 0, a proposição é verdadeira, se X = 1, a proposição é falsa.

Ao mencionar conjunto de postulados de E. V. Huntington para a lógica simbólica, a saber,

1.A classe *K* contém pelo menos dois elementos distintos;
2. Se *a* e *b* estão na classe *K*, então *a* + *b* estão na classe *K*;
3. $a + b = b + a$;
4. $(a + b) + c = a + (b + c)$;
5. $a + a = a$;
6. $ab + ab' = a$ onde ab é definido como $(a' + b')'$.

e a ele adicionar o postulado 4 fornecido no início do trabalho (em qualquer momento, X = 0 ou X = 1) e também restringindo a álgebra ao cálculo de proposições, Shannon conclui haver "perfeita analogia entre o cálculo de circuitos comutadores e a lógica simbólica" (SHANNON, 1992, p. 474).

A partir dos pontos expostos, Shannon segue demonstrando como proceder para desenvolver circuitos a partir de equações.

> Qualquer expressão formada com as operações de adição, multiplicação ou negação[3] representa explicitamente um circuito contendo apenas conexões em série e em paralelo. Tal circuito será chamado circuito série-paralelo. Cada letra em uma expressão deste tipo representa um contato de relé feito ou interrompido, ou uma lâmina de contato ou comutação. Para encontrar o circuito que requeira o menor número de contatos, é então necessário manipular a expressão até a forma em que o menor número de letras apareça. Os teoremas dados acima são sempre suficientes para fazer isso. Um pouco de prática na manipulação destes símbolos é tudo o que é necessário. Felizmente, a maioria dos teoremas é exatamente os mesmos da álgebra numérica – as leis associativas, comutativas, distributivas da álgebra operam aqui. (SHANNON, 1992, p. 477)

O que, para alguém com formação predominantemente humanista, pode parecer distante e obscuro, nada mais é que uma álgebra desenvolvida especificamente para o projeto de circuitos elétricos.

O trabalho de Shannon vai além do exposto aqui. Partindo-se deste ponto, Shannon demonstra como produzir circuitos equivalentes, como utilizar tipos especiais de relés e comutadores, como aplicar as idéias expostas em circuitos que não sejam seriais-paralelos etc. Mas todos estes pontos derivam destas idéias básicas expostas.

O significado contemporâneo de *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*

Qual a importância deste trabalho para se compreender o estado atual da comunicação? Neste ponto, podemos nos voltar para o papel desempenhado por este trabalho de Shannon na história da tecnologia da comunicação.

Comecemos lembrando que Shannon teve seu interesse despertado para tais questões ao estudar o funcionamento do Analisador Diferencial de Vannevar Bush. Tal máquina era, então, o estado de arte da nascente informática. Em seguida, Shannon estagiou por um verão inteiro nos Laboratórios Bell, centro de desenvolvimento científico da AT & T.

Pois o trabalho de Shannon teve impacto direto em ambas as áreas: informática e telecomunicações. A "álgebra de circuitos" desenvolvida por Shannon transformou o modo como se projetava circuitos elétricos de todo tipo.

> A importância de seu trabalho foi rapidamente reconhecida como fornecedora de uma abordagem científica para o campo em rápido crescimento da comutação [de circuitos eletrônicos]. Circuitos de comutação foram de grande importância na indústria telefônica, e no subseqüentemente desenvolvimento dos computadores. (GALLAGER, 2001, p. 2681)

Segundo Marvin Minsky (*apud* LIVERSIDGE, 1992, p. xix), Shannon teve uma idéia monumental que permitiu a base conceitual da construção dos computadores: "Você poderia usar matemática para calcular se um *design* estava correto ao invés de usar tentativa e erro".

Shannon melhorou muito a forma como os projetos de circuitos eram feitos. Além disso, estabeleceu métodos para otimizar tais projetos desenvolvendo sempre a forma mais simples para os objetivos propostos.

A matematização do projeto de circuitos se mostra especialmente importante quando suas funções se tornam mais complexas. Circuitos cada vez mais sofisticados são projetados a cada dia, exigindo um número cada vez maior de conexões mas, ainda assim, podendo utilizar o menor número possível de conexões para tais funções. Tais possibilidades foram definidas pelo modelo de abordagem que Shannon estabeleceu em *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*.

Além de apontar um modo de projetar circuitos utilizando uma formalização matemática para tais projetos, o primeiro trabalho de Claude Shannon também permitiu que os computadores dessem um passo importante para sua situação atual em relação à tecnologia de comunicação. Ao aplicar a álgebra Booleana aos circuitos eletrônicos, Shannon permitiu que o computador transcendesse as operações aritméticas para se tornar uma máquina lógica. Em outras palavras, a álgebra Booleana permitia que o computador deixasse de ser uma mera calculadora.

> Essencialmente, 'Se o alarme do relógio toca e é segunda-feira, então você tem que ir para o trabalho' é equivalente a 'Se o comutador A está fechado e o comutador B está fechado, então a corrente flui para o motor.' (LIVERSIDGE, 1992, p. xix)

Com a complexificação dos circuitos e as novas possibilidades que as funções lógicas ofereciam, novos usos surgiram para o computador.

> A idéia (da álgebra booleana em um computador) não ficou perdida em Dr. Shannon, que primeiro percebeu, como ele mesmo comentou certa vez, 'que um computador é muito mais que uma máquina de calcular'. Os dígitos binários poderiam ser usados para representar palavras, sons, imagens – talvez até idéias. (KAHN, 2001, p.19)

A transformação do computador em algo além de uma calculadora significou, para o contexto da comunicação, a criação de um paradigma totalmente novo. Primeiro, permitiu que o computador se juntasse aos meios de telecomunicações criando uma matriz tecnológica baseada em comunicação digital.

Além disso, ao permitir que o computador se tornasse uma máquina lógica, fez com que o trabalho do computador passasse a ser, para o usuário doméstico, o de uma máquina manipuladora de símbolos – como indica Lúcia Santaella, uma "máquina semiótica" (SANTAELLA, 2003, p. 20).

Os usos do computador como eletroeletrônico doméstico, seja em sua forma clássica do Desktop PC ou em suas atualizações como *gadgets* portáteis (IPods, celulares e SmartPhones, etc) está predominantemente ligado às formas de se comunicar. Se hoje usamos o computador para produzir, tratar, armazenar, enviar e receber formas simbólicas, tais usos foram permitidos pelo trabalho de Shannon.

Além disso, um importante desdobramento do uso atual do computador é sua capacidade de se auto-perpetuar como tecnologia ao alcance do cidadão comum. Se antes o computador era uma mera calculadora, seu uso limitado e especifico não despertaria o interesse de muitas pessoas. Tornar-se algo além de calculadora foi essencial para que o cidadão comum quisesse um computador. Foi sua capacidade de entreter, comunicar e educar que fez dele um objeto de consumo tão presente no nosso cotidiano.

Conclusão

A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits foi o trabalho científico que fundamentou o *design* de circuitos computacionais a partir da década de 40. A álgebra desenvolvida pelo matemático Claude Shannon permitiu que engenheiros desenvolvessem circuitos cada vez mais sofisticados, dando a estes a capacidade de executar complexas funções lógicas (e não somente aritméticas). Mais que um fato exclusivo das ciências exatas, este fator foi de fundamental importância (embora não tenha sido o único) para que o computador se inserisse em nossa sociedade com o perfil que tem hoje e, diga-se de passagem, conforme já havia sido sugerido pelo próprio Shannon em 1962.

> De fato, computadores poderiam ser usados para todo tipo de manipulação simbólica, envolvendo entidades abstratas de quase qualquer tipo. Palavras, notas musicais, expressões matemáticas, diagramas ou mesmo fotos poderiam ser codificadas em números e armazenadas em um computador. Além disso, quase qualquer regra de operação ou manipulação poderia ser traduzida em uma forma compreendida por um computador de uso geral. Então as portas estariam abertas para uma orgia selvagem de programação experimental, abrangendo desde coisas como jogos de xadrez a composição musical, de tradução de línguas a diagnóstico médico. (SHANNON, 1992, p.839)

Referências bibliográficas

BRETON, P. *História da Informática.* Trad. Élcio Fernandes. São Paulo: Ed. UNESP, 1991.

BRIGGS, A. & P. BURKE,. *Uma história social da mídia: de Gutenberg à Internet*. Trad. Maria C. P. Dias, Revisão Téc. de Paulo Vaz. Rio de Janeiro: Ed. Jorge Zahar, 2004.

CASTELLS, M. *A sociedade em rede.* Trad. Roneide V. Majer & Klauss B. Gerhardt. São Paulo: Ed. Paz e Terra, 1999.

DIZARD Jr. W. *A nova mídia: a comunicação de massa na era da informação.* 2° ed. Trad. Antonio Queiroga & Edmond Jorge. Rio de Janeiro: Ed. Jorge Zahar, 2000.

GALLAGER, R. G. "Claude E. Shannon: A Retrospective on His Life, Work, and Impact". *IEEE Transactions On Information Theory.* vol.47, no.7, 2681 – 2695, 2001.

GERE, C. *Digital Culture*. Londres: Reaktion Book, 2002.

HORGAN, J. "Profile of Claude E. Shannon: Unicyclist, juggler and father of information theory". *Scientific American*, vol.262, no. 1, 16 -17, 1990.

JOHNSON, S. *Cultura da interface: como o computador transforma nossa maneira de criar e comunicar*. Trad. de Maria Luísa X. de A. Borges; revisão técnica de Paulo Vaz. Rio de Janeiro: Ed. Jorge Zahar, 2001.

KAHN, R. E. "A Tribute to Claude E. Shannon (1916 – 2001)". *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, no. 7, 18 – 22, 2001.

LEMOS, A. *Cibercultura, tecnologia e vida social na cultura contemporânea*. Porto Alegre: Ed. Sulina, 2002.

LIVERSIDGE, A. "Profile of Claude Shannon" *in* SHANNON, C. E. *Collected Papers*, Piscataway: IEEE Press, 1992.

MATTELART, A. *História da Sociedade da Informação*. Trad. Nicolas N. Campanário. São Paulo: Ed. Loyola, 2002.

MATTELART, A. & M. MATTELART. *História das Teorias da Comunicação*. Trad. L. P. Rouanet. São Paulo: Ed. Loyola, 1999.

SANTAELLA, L. *Culturas e Artes do Pós-humano: da cultura das mídias à cibercultura*. São Paulo: Ed. Paulus, 2003.

SHANNON, C. E., *Collected Papers.* Piscataway: IEEE Press, 1992.

SMITH, E. S. "On the shoulders of giants: From Boole to Shannon to Taube: The Origins and Development of Computerized Information from the Mid-19th Century to the Present". *Information Technology and Libraries.* Vol.12, No.2, 217 – 226, 1993.

Notas

[1] Trata-se do modelo amplamente difundido que decompõe todo e qualquer processo de comunicação nos seguintes elementos estruturais: Fonte, Transmissor, Canal, Mensagem, Receptor e Destinatário (com a possibilidade de incidência de Ruído). Tal modelo pode ser encontrado em autores bastante utilizados em cursos de Comunicação Social no Brasil, como David K. Berlo, Décio Pignatari ou Francis Vanoye.

[2] O IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) é uma das mais importantes organizações profissionais relacionada à engenharia elétrica e eletrônica (incluindo-se aí a informática e as telecomunicações). Com atuação internacional e décadas de história, o IEEE é referência obrigatória nestas áreas. Além da publicação de dezenas de periódicos nas mais variadas especialidades abrangidas por seu escopo, também tem sólida atuação na definição de padrões técnicos e na discussão sobre regulamentação.

[3] É importante lembrar que, ao usar as palavras adição, multiplicação e subtração, Shannon está, de fato, pensando no significado que seus símbolos têm para sua álgebra (E, OU e NÃO).