

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

JOSÉ MAURO KOCHER

TELEGRAFIA NO SÉCULO XIX:
CIÊNCIA E TÉCNICA NO CONTEXTO DA INDUSTRIALIZAÇÃO

RIO DE JANEIRO

2014

José Mauro Kocher

**TELEGRAFIA NO SÉCULO XIX:
CIÊNCIA E TÉCNICA NO CONTEXTO DA INDUSTRIALIZAÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Oliveira

Rio de Janeiro

2014

K76 Koche, José Mauro
Telegrafia no século XIX : ciência e técnica no contexto da industrialização / José
Mauro Koche. – 2014.
218 f. : il., 30 cm.

Dissertação (Mestrado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) –
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências Matemáticas e da
Natureza, Programa de Pós Graduação em História das Ciências e das Técnicas e
Epistemologia, 2014.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Oliveira

1. Telégrafo – História – Teses. 2. Comunicação na ciência – Teses. I. Oliveira,
José Carlos (Orient.). II Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências
Matemáticas e da Natureza, Programa de Pós Graduação em História das Ciências e
das Técnicas e Epistemologia. III. Título.

CDD 923.9

JOSÉ MAURO KOCHER

TELEGRAFIA NO SÉCULO XIX:
CIÊNCIA E TÉCNICA NO CONTEXTO DA INDUSTRIALIZAÇÃO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia.

Aprovada em

José Carlos de Oliveira, Dr., Orientador (HCTE/DEE/Poli/UFRJ)

Antonio Claudio Gomez de Sousa, Dr. (DEL/Poli/UFRJ)

Carlos Benevenuto Guisard Koehler, Dr. (HCTE/UFRJ)

Luiz Carlos Soares, PhD (HCTE/UFRJ)

Pedro Eduardo Monteiro Marinho, Dr. (MAST/UNIRIO)

Roberto Cintra Marins, Dr. (PUC)

Silvia Moreira Goulart, Dra. (UFRRJ)

Dedico este trabalho aos meus pais: Simão Kocher (*in memoriam*) e Celina Kocher.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor José Carlos de Oliveira, pela sua dedicação, pelo incentivo constante, pelo trabalho efetivo de guia na realização deste trabalho e por ter-se tornado um verdadeiro amigo.

A todos os professores, colegas e funcionários do Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, por todo o apoio, a orientação e a amizade que foram tão importantes para que eu conseguisse chegar ao fim desse caminho.

À minha esposa Eneida, pela revisão e formatação do texto, e pela ajuda na busca de fontes documentais acessórias.

Ao meu irmão Bernardo, pela leitura dos aspectos históricos do trabalho.

A todos os *sites* da Internet, como Internet Archive, Projeto Gutenberg, bibliotecas, instituições de ensino e pesquisa, sociedades em todo o mundo, professores universitários, pesquisadores e profissionais técnicos de alto nível, que têm a generosidade de disponibilizar livremente versões digitais de obras raras técnicas e científicas, além de trabalhos acadêmicos recentes, sem os quais este estudo não poderia ter sido realizado.

The lay of the electricians

1

Under the sea! under the sea! Here's what De Sauty is saying to me,
Such testing as this is the perfectest bliss! Insulation is coming it strong,
So we'll test! test! test! with coils and rheometers! keys, galvanometers!
Test! test! test! Test each minute all night and day long.

Chorus

Copper and zinc! acid and stink! tink-a-tank-tink-a-tank-tint-a-tank-tink.
Copper and zinc! acid and stink! success to con-tin-u-i-ty.

2

Under the sea! under the sea! Signals and currents of every degree.
Down in the sea! down in the sea! Resistance is creeping along.
So it's test! test! test! By the units of Siemens with cunning of demons
We'll test! test! test! and watch our con-tin-u-i-ty.

Chorus - Copper and zinc, &c., &c.

3

Down in the sea! deep in the sea! lay we our coils of elec-tricity.
Under the sea! under the sea! Success to con-tin-u-i-ty.
So it's test! test! test! Come with wire and bells, with magnets and cell.
And it's test! test! test! all through our con-tin-u-i-ty.

Chorus - Copper and zinc, &c., &c.

4

From shore-end to sea! shore-end and sea! See what Valentia is saying to me.
Mark May's strong relay, in units B.A. of millions and trillions again.
It's so grand I can hardly trust Thomson or Varley to test! test! test!
Such a lovely con-tin-u-i-ty.

Chorus - Copper and zinc, &c., &c.

5

Ah! down in the sea! what's this I see? Home's law is playing the devil with me.
Down in the sea this moment I see a token that something is wrong.
For just as we're speaking the light that's my beacon has marched! marched! marched!
Marched off my con-tin-u-i-ty.

Chorus - Copper and zinc, &c., &c.

6

Up from the sea! up from the sea! Coy little coiler come hither to me.
Come Clifford and Canning! Pick up, tackle manning. Haul up that cable to me.
Mind dynamometers! hang galvanometers. Haul! haul! haul!
That fault from the depths of the sea.

Chorus - Copper and zinc, &c., &c.

7

Once upon deck! once upon deck! little for dead earth or faults do we reckon
Up on the deck - let's get hold of his neck! we'll splice him and test him again.
What a lark! lark! lark! In this immensity of watery density
Now our spark with intensity travels along.

Chorus

Rises and sinks! coilings and kinks! long life to our copper and acids and zincs.
As long as man's able we'll stick to our cable, and splice him and test him again.

William H. Russell

(publicado em 2 ago. 1865 no *The Atlantic Telegraph*, jornal impresso a bordo do
Great Eastern durante a expedição que instalou o segundo Cabo Atlântico)

<<http://atlantic-cable.com/Article/LayOfTheElectricians/index.htm>>

we may rest and be tank-full (W.H.R.)

RESUMO

KOCHER, José Mauro. **Telegrafia no século XIX**: ciência e técnica no contexto da industrialização. Dissertação (Mestrado em Ciências) - História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

O desenvolvimento da telegrafia no mundo, por linhas terrestres e cabos submarinos, foi um exemplo da ligação entre ciência e tecnologia, e do modo como ambas se relacionam com aspectos econômicos e políticos do contexto social. De um modo geral, as tecnologias são criadas e disseminadas para solucionar problemas colocados pelos interesses de setores dominantes numa sociedade. A telegrafia visual surgiu no século XVIII como uma evolução da sinalização marítima, para agilizar as comunicações militares e comerciais, num tempo de guerras entre potências europeias e de expansão mercantil. A telegrafia elétrica teve objetivos semelhantes e foi desenvolvida para substituir a visual, a fim de tornar mais eficientes os sistemas de comunicação à distância. Ela começou a se esboçar no final desse mesmo século e demonstrou com clareza a interdependência entre ciência, tecnologia e sociedade. Sua criação dependeu das descobertas da Física que, numa primeira fase, responderam a questões colocadas pelos pesquisadores acadêmicos em busca da construção de teorias explicativas do mundo físico. No caso da telegrafia elétrica, o sentido dessa relação se inverteu, e a pesquisa científica passou a ser cada vez mais orientada pela demanda de inovações tecnológicas que permitiam atender com maior eficiência às necessidades e conveniências políticas e econômicas de governos e empresas privadas.

PALAVRAS-CHAVE: Telegrafia. Cabos submarinos. Ciência e tecnologia. Ciência e sociedade. Tecnologia e sociedade. Eletricidade e magnetismo. História da ciência. História da tecnologia.

ABSTRACT

KOCHER, José Mauro. **Telegrafia no século XIX**: ciência e técnica no contexto da industrialização. Dissertação (Mestrado em Ciências) - História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

The worldwide development of telegraphy, through landlines and submarine cables, is an example of how science and technology are linked, as well as how both are related to the social environment in its economical and political dimensions. Technologies usually arise and are spread in order to solve problems concerning interests of the ruling sectors in a society. Optical telegraphy arose in the 18th century as an evolution from naval signaling systems, intending to improve military and commercial communications during the war-time among European countries, as well as the mercantile expansion. Electric telegraphy, with similar goals, started replacing optical networks in order to make long-distance communication systems more efficient. It was born around the end of the same century, and clearly showed the associations between science, technology and society. It has evolved from the development of Physics' discoveries which, in the first moment, intended to answer academic questions and explain theories of the physical world. This relationship flowed in the opposite direction for electric telegraphy during the Industrialization Era, as scientific research was targeted for political and economical needs, coming from both public and private affairs, in order to bring useful and efficient technological innovations.

KEYWORDS: Telegraphy. Submarine cables. Science and technology. Science and society. Technology and society. Electricity and magnetism. History of science. History of technology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Página
Figura 1 - Primeiras máquinas geradoras de eletricidade	36
Figura 2 - Garrafa de Leyden	37
Figura 3 - Instrumentos de detecção e medida da eletricidade	39
Figura 4 - Experimento de Oersted	43
Figura 5 - Experimento de Ampère	44
Figura 6 - Experimentos de Faraday	47
Figura 7 - Telégrafo Chappe	54
Figura 8 - Mapa da rede Chappe	55
Figura 9 - Telégrafos de bandeira e bola	56
Figura 10 - Telégrafos de persiana	57
Figura 11 - Telégrafo do Morro do Castelo	58
Figura 12 - Telégrafos de ponteiro	59
Figura 13 - Telégrafo de Sömerring	64
Figura 14 - Galvanômetros	65
Figura 15 - Telégrafo de Schilling	66
Figura 16 - Telégrafo de Gauss e Weber	67
Figura 17 - Telégrafo de Steinheil	68
Figura 18 - Baterias	71
Figura 19 - Circuito repetidor usado por Morse	74
Figura 20 - Postes	76
Figura 21 - Isoladores	77
Figura 22 - Máquina de revestimento de condutores com guta-percha de Siemens	78
Figura 23 - Diagrama elétrico do telégrafo de uma agulha de Wheatstone e Cooke	80
Figura 24 - Arranjo dos condutores da primeira linha telegráfica elétrica inglesa	81
Figura 25 - Telégrafos de Wheatstone e Cooke	81
Figura 26 - Primeiro telégrafo de Morse	82
Figura 27 - Telégrafo de Morse com relé	83
Figura 28 - Códigos de telégrafos eletromagnéticos de agulha	86
Figura 29 - Código Morse original	87
Figura 30 - Telégrafos elétricos de ponteiro	88
Figura 31 - Telégrafos de Hughes e Bain	89
Figura 32 - Sistema de Baudot	92
Figura 33 - Código de Baudot	93
Figura 34 - Dispositivos de Siemens	99
Figura 35 - Rede telegráfica terrestre na América do Norte e Central, 1901	105
Figura 36 - Rede telegráfica terrestre na América do Sul, África e Austrália, 1901	105

Figura 37 - Rede telegráfica terrestre na Europa e na Ásia, 1901	106
Figura 38 - Cabos subfluviais e costeiros	109
Figura 39 - Primeiros cabos transatlânticos	110
Figura 40 - Estrutura de cabos submarinos posteriores	111
Figura 41 - Produção de fio revestido com guta-percha	116
Figura 42 - Máquinas de revestimento da <i>Gutta Percha Company</i>	116
Figura 43 - Testes do cabo	118
Figura 44 - Emenda de cabos	118
Figura 45 - Máquina de aplicação da blindagem	119
Figura 46 - <i>Great Eastern</i>	120
Figura 47 - Enrolando o cabo no tanque do <i>Great Eastern</i>	121
Figura 48 - Instrumentos de sondagem	122
Figura 49 - Sistema de liberação do cabo usado no <i>Great Eastern</i>	123
Figura 50 - Recuperação de cabos	124
Figura 51 - Estrutura de um galvanômetro	125
Figura 52 - Galvanômetro diferencial	126
Figura 53 - Experimento original de Wheatstone	127
Figura 54 - Circuito da ponte de Wheatstone	127
Figura 55 - Método da comparação	128
Figura 56 - Busca de falhas no cabo por meio da resistência e de correntes de retorno	129
Figura 57 - Esquema de medição contínua	129
Figura 58 - Teoria do telégrafo elétrico	131
Figura 59 - Equipamento teleográfico do primeiro cabo Atlântico na Irlanda e na Terra Nova	133
Figura 60 - Experimento para o teste das amostras de cobre feito por Thomson	134
Figura 61 - Receptor do primeiro cabo transatlântico	135
Figura 62 - Princípio de funcionamento do <i>siphon recorder</i>	136
Figura 63 - Sinais gerados no <i>siphon recorder</i>	137
Figura 64 - Ligação entre a Grã-Bretanha e a Europa continental	139
Figura 65 - Rotas telegráficas para a Índia	142
Figura 66 - Seção vertical do leito do Oceano Atlântico entre Valentia e Trinity Bay	146
Figura 67 - Dispositivo para junção usado no primeiro cabo atlântico	149
Figura 68 - Rede mundial de telegrafia em 1901	159
Figura 69 - Caixa de resistências	164
Figura 70 - Padrão de resistência de Siemens	165
Figura 71 - Aparato de medição da resistência do <i>Committee on Standards</i>	169
Figura 72 - Circuito para comparação do valor de resistência do aparato do <i>Committee on Standards</i>	170
Figura 73 - Vistas do padrão de resistência da B.A.	170

Figura 74 - O Ohm padrão adotado pelo Congresso de Paris	172
Figura 75 - Evolução da extensão dos cabos entre 1865 e 1908	181
Figura 76 - Fábricas de equipamentos telegráficos	191
Figura A.1 - Padrão Birmingham Wire Gauge (B.W.G.) de especificação de fios	211
Figura B.1 - Código do telégrafo de Chappe, de 1792	212
Figura B.2 - Código de bandeiras de Popham, de 1800	212
Figura B.3 - Código do telégrafo de persianas de Murray, de 1794	213
Figura B.4 - Código dos telégrafos de Ciera, de 1803	213
Figura B.5 - Código para o telégrafo de ponteiros de Pasley, de 1827	214
Figura B.6 - Sistema internacional de sinalização, fim do século XIX	214
Figura C.1 - Equações gerais do campo magnético de Maxwell	215
Figura C.2 - Equações de Maxwell trabalhadas por Heaviside	216
Figura E.1 - Algumas unidades de medidas expressas nos sistemas eletromagnético e eletrostático	218
Figura E.2 - Valores das unidades elétricas práticas em diferentes sistemas de medidas adotados ao longo do tempo	218

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Especificações do cabo submarino entre as ilhas Bonny e Príncipe, no Golfo da Guiné (África, 1885)	113

SUMÁRIO

	Página
Introdução	12
1 Contexto histórico	18
1.1 <i>Primórdios do capitalismo</i>	18
1.2 <i>A industrialização</i>	21
2 Contexto científico	33
2.1 <i>Eletricidade e magnetismo nos séculos XVI a XVIII</i>	34
2.2 <i>Eletricidade e magnetismo no século XIX</i>	40
3 Redes telegráficas	52
3.1 <i>Telegrafia visual</i>	52
3.1.1 <i>As tecnologias e sua utilização</i>	53
3.1.2 <i>O fim dos telégrafos visuais</i>	60
3.2 <i>Telegrafia elétrica terrestre</i>	61
3.2.1 <i>Telégrafos experimentais</i>	62
3.2.2 <i>Telégrafos comerciais</i>	69
3.2.3 <i>Histórico da implantação da telegrafia elétrica</i>	93
3.3 <i>Telegrafia submarina</i>	106
3.3.1 <i>Tecnologias dos cabos submarinos</i>	106
3.3.2 <i>Histórico da implantação dos cabos submarinos</i>	137
3.3.3 <i>Difusão dos cabos submarinos</i>	155
4 Interrelações	160
4.1 <i>Interrelações técnicas e científicas</i>	160
4.1.1 <i>Na indústria</i>	160
4.1.2 <i>Na ciência</i>	161
4.2 <i>Interrelações políticas, econômicas e sociais</i>	180
4.2.1 <i>Aspectos econômicos</i>	181
4.2.2 <i>Aspectos políticos</i>	185
4.2.3 <i>Aspectos sociais</i>	189
Conclusões	196
Referências	199
Apêndices	211
<i>Apêndice A - Unidades de medida</i>	211
<i>Apêndice B - Códigos telegráficos visuais</i>	212
<i>Apêndice C - Equações de Maxwell</i>	215
<i>Apêndice D - Lei de Biot-Savart</i>	217
<i>Apêndice E - Representação de algumas unidades elétricas</i>	218

INTRODUÇÃO

O interesse pelo tema deste trabalho surgiu da leitura de *The Maxwellians*. Nessa obra, Bruce Hunt (1991a) relata como alguns cientistas ingleses do século XIX - os chamados Maxwellianos - reorganizaram e elaboraram matematicamente as ideias expostas por James Clerk Maxwell (1954) em seu *Treatise on electricity and magnetism*, de 1873. Esse processo consolidou a teoria de Maxwell do campo eletromagnético, fundamental para os avanços científicos e tecnológicos que vieram a seguir e ajudaram a garantir para a Inglaterra o papel destacado na liderança científica, tecnológica, política e econômica que essa nação viera conquistando ao longo do século XIX. A ideia defendida por Hunt, e que gerou o tema central do presente estudo, é que a teoria de Maxwell foi um produto do seu tempo e lugar, incorporando uma série de conceitos presentes na ciência e na tecnologia em geral, da Inglaterra vitoriana. Segundo Hunt, o trabalho dos Maxwellianos estava enraizado em problemas tecnológicos concretos relacionados com a propagação dos campos elétrico e magnético, que era objeto de intensa preocupação na época. Assim, para Hunt, a teoria de campo teve sua confirmação graças à tecnologia da telegrafia submarina, sendo um exemplo de como ideias científicas revolucionárias que num primeiro momento não mereceram muita atenção, ao serem posteriormente informadas pelas necessidades da sociedade, tornaram-se teorias dominantes.

Para aprofundar o assunto, foi escolhida como tema de estudo a tecnologia da telegrafia elétrica, tanto a terrestre quanto, e principalmente, a baseada em cabos submarinos. A escolha foi determinada pela hipótese de que a telegrafia elétrica pode ser considerada uma interface: por um lado, serve para estudar as relações da tecnologia com a ciência. Por outro lado, permite estudar quais foram as suas consequências na sociedade, no que se refere a três aspectos bem amplos: geopolíticos, existenciais e das relações de produção.

No que se refere à relação entre ciência e tecnologia, a hipótese é que a gênese, a implantação e a disseminação da telegrafia elétrica - terrestre num primeiro momento, e de cabos submarinos posteriormente -, foram fortemente influenciadas, e também influenciaram, a ciência da Eletricidade, pelo desenvolvimento de aparatos necessários ao seu funcionamento. Nos aspectos referentes à relação entre tecnologia e sociedade, a hipótese é que as motivações para a criação da telegrafia elétrica e as vias específicas seguidas pelo seu desenvolvimento podem ser identificadas nas necessidades dos governos, do comércio, da indústria e do setor financeiro dentro do contexto do capitalismo na fase de industrialização.

RELEVÂNCIA DO TEMA

O tema escolhido tem fortes semelhanças com questões atuais da área da informação. Desde os tempos mais remotos, as comunicações à distância tiveram um caráter político, militar e econômico, sendo que, não raro, a mistura dos três. Em linhas gerais, as comunicações têm acompanhado as rotas de comércio e os interesses de governos, levando-se em conta os aspectos técnicos, econômicos, políticos e culturais de cada período histórico, pois cada um deles apresenta especificidades próprias. A telegrafia visual e a telegrafia elétrica apresentaram similaridades no seu desenho de distribuição. O mesmo se deu com a telegrafia sem fio usando ondas de rádio, a telefonia, a radiodifusão, a comunicação usando satélites e a Internet, a qual obedeceu a um leiaute já conformado, desde o tempo das redes telegráficas submarinas, pelos países protagonistas do jogo comercial internacional.

Entre o final da década de 1870 e o começo da década de 1880, o planeta já estava coberto por uma rede de cabos submarinos, interligando todos os continentes habitados. O impacto do funcionamento dessa rede de comunicações nas atividades humanas da época, como ocorre hoje com a Internet, foi tremendo. A indústria de comunicações telegráficas criou padrões de administração e práticas de operação e manutenção tão robustos que podem até ser reconhecidos nas atuais redes de cabos de fibras ópticas.

O último quartel do século XX viu o surgimento de grandes inovações tecnológicas, com destaque para os avanços da informática. Tais mudanças, tiveram como origem, pelo menos em grande parte, a crise do sistema capitalista que começou a se manifestar a partir de 1973 e que impôs a necessidade de mudar os métodos de produção e distribuição, a fim de preservar a margem de lucro das empresas. Os avanços da microeletrônica, da robótica e da tecnologia de redes de computadores transformaram a maneira de produzir bens e oferecer serviços. Descentralização e rapidez tornaram-se características do sistema, com forte concentração de capitais.

A Internet, que proporcionou a comunicação instantânea via computador em nível mundial, tornou-se onipresente na vida das pessoas, das instituições, das empresas e dos governos no século XXI. Ela é baseada em uma rede de cabos submarinos de fibras ópticas, que se estende por milhares de quilômetros e engloba o planeta, transportando a esmagadora maioria das informações de dados, vídeo e fonia que circulam pelo planeta. As transformações tecnológicas que possibilitaram essa revolução global não teriam sido possíveis sem os grandes avanços ocorridos em diversos ramos do conhecimento científico. Avanços esses cujos fundamentos podem ser rastreados até marcos teóricos e práticos fundamentais no

século XIX.

Por tudo isso, o entendimento de como ocorreu a articulação entre ciência, tecnologia e sociedade, em torno do desenvolvimento da telegrafia no século XIX, pode fornecer subsídios para a compreensão mais ampla do processo pelo qual estamos passando no século XXI.

OBJETIVOS DO ESTUDO

Os objetivos do presente estudo são: descrever como a ciência e a tecnologia se articularam e se influenciaram mutuamente, e como se relacionaram com a sociedade envolvente, no processo de desenvolvimento da telegrafia elétrica; analisar quais foram os fatores econômicos, políticos, sociais e científicos que proporcionaram o surgimento de tais redes; como se deu concretamente o seu desenvolvimento e quais foram as suas consequências.

O estudo também abordará as relações sociais daqueles que trabalharam diretamente na produção dos materiais, instrumentos e dispositivos necessários à realização das tarefas técnicas de então. Com isso, as relações entre ciência e tecnologia podem ser vistas também pela ótica do trabalho humano no processo de produção, complementando assim a história do desenvolvimento da tecnologia no contexto da segunda Revolução Industrial. Ou, como é registrado por alguns autores, para ressaltar a interpenetração entre ciência e técnica, da revolução técnico-científica ocorrida a partir aproximadamente da segunda metade do século XIX.

O recorte histórico é centrado na Inglaterra do século XIX, com ênfase no período que abrange as décadas de 1830 a 1880. Nas décadas de 1830 e 1840, ocorreu o aparecimento e a difusão da telegrafia terrestre e, entre as décadas de 1850 e 1870, houve a difusão dos cabos submarinos interligando as nações. Através do estudo do sistema mundial de telegrafia, pode-se entender como a Inglaterra, mais do que outros países da Europa continental, ilustra de forma clara as condições em que se desenvolveu o capitalismo no século XIX, com suas divisões de classes sociais mais nítidas e o processo de produção de mercadorias empregando as novas tecnologias de então (HOBSBAWM, 1975).

As indústrias de comunicações telegráficas, tanto as terrestres quanto as dedicadas à produção de cabos submarinos, são aqui contextualizadas como parte do processo de industrialização em que a Inglaterra foi pioneira. Leva-se em conta que os principais campos de desenvolvimento da industrialização no século XIX foram a eletricidade, a química e a

siderurgia. Do ponto de vista histórico, o estudo procura levar em consideração quais eram as relações políticas e comerciais da Inglaterra no período abrangido: suas redes de comércio e de poder, suas relações com outras potências, com destaque para a França, a Alemanha e os Estados Unidos, bem como as relações coloniais na Ásia e na África.

Do ponto de vista do desenvolvimento da ciência e da técnica, assim como dos seus entrelaçamentos, o trabalho aborda a gênese e o desenvolvimento da Eletricidade, que aconteceu de forma vertiginosa no século XIX. Resgata os pressupostos filosóficos, os principais pesquisadores, as descobertas mais fundamentais para a telegrafia. Mostra também que os principais pesquisadores do Eletromagnetismo na Inglaterra trabalharam em algum momento, juntamente com notáveis engenheiros, no campo da tecnologia de cabos submarinos, e que os problemas que tiveram de resolver fizeram com que a teoria do Eletromagnetismo fosse validada e, em alguns aspectos, remodelada. Podemos citar como exemplo a ideia de campos elétrico e magnético, a princípio desprezada, mas que teve um importante terreno de experimentação, na Inglaterra, com a tecnologia dos cabos submarinos. Outro exemplo é William Thomson, um eminente cientista que foi fundamental no desenvolvimento da instrumentação usada nos cabos submarinos, bem como na primeira abordagem teórica da telegrafia, indicando concretamente um estreito casamento entre ciência e técnica.

Serão, assim, abordadas algumas questões como:

- a) Quais foram as relações entre a ciência e a técnica, na área da eletricidade, durante o século XIX?
- b) Quais foram os impactos de ambas na economia, na sociedade, na política e na relação entre nações?
- c) O que se caracterizou como peculiar no período abrangido, na ciência e na tecnologia da telegrafia, e o que se caracteriza como recorrente?
- d) As redes de telegrafia no século XIX podem ser consideradas como os primórdios do processo de globalização?
- e) O que o século XIX pode ajudar a esclarecer sobre as tecnologias das telecomunicações e suas implicações políticas no presente?

REFERENCIAL TEÓRICO

A abordagem adotada no trabalho leva em consideração o materialismo histórico, procurando abarcar a totalidade dos fenômenos sociais, científicos e tecnológicos em suas

próprias dinâmicas, procurando entender como se articulam, no curso da própria história do período. A tecnologia e a ciência, em sua gênese e desenvolvimento, são vistas como um aspectos da história nas dimensões política, econômica, intelectual, social e existencial, que as conformam e são por elas alteradas.

Entre os autores que serviram de balizas teóricas citam-se: Daniel Headrick (1987, 1988, 1991), na sua abordagem da tecnologia e do domínio colonial no período estudado; Álvaro Vieira Pinto (2005), nas suas reflexões sobre o impacto da ciência e da tecnologia em sociedades em desenvolvimento; Karl Marx (2013a, 2013b), na sua análise no que diz respeito às vinculações entre a ciência, a tecnologia e as relações de produção; Bruce Hunt (1991a, 1991b, 1994, 1998, 2005), que se debruça mais detidamente sobre a história do eletromagnetismo, enfatizando os encontros e influências entre a ciência e a tecnologia no campo do magnetismo; e Erick Hobsbawm (1975, 1989, 1996), historiador que articula os aspectos culturais com os econômicos e sociais nas suas análises.

Toda uma geração de historiadores tem abordado o tema da telegrafia por cabos submarinos, salientando aspectos técnicos, políticos, econômicos e ambientais. Tanto na Europa quanto no Brasil, há um interesse pelo tema. Os trabalhos de John Tully (2013), Daniel Headrick (1987, 1988, 1991) e Bruce Hunt (1991a, 1991b, 1994, 1998, 2005), entre outros, procuram avaliar de uma maneira crítica os móveis e as consequências dos interesses colonialistas e imperialistas das grandes potências da época abarcada por esse trabalho, articulando então binômios ciência-tecnologia e tecnologia-sociedade. O papel estratégico de Portugal como intermediário dos cabos entre a América do Sul, a África e a Europa deve ser destacado. No Brasil, temos a tese de Mauro Costa da Silva (2008) sobre a chegada e a ênfase na difusão da telegrafia elétrica no Brasil até 1914.

A conceituação adotada de técnica e tecnologia segue o pensamento de Álvaro Vieira Pinto [1909-1987] (2005). Esse autor recomenda que se deve ter em mente o caráter polissêmico do termo "técnica":¹ seus significados podem ser múltiplos, incluindo uma tentativa de ocultar as relações coercitivas entre grupos sociais. Como cientistas sociais alertam atualmente, sem tender para extremos de tecnofobia e tecnofilia (DEMO, 2014). A tecnologia tem como um dos seu atributos, um compromisso entre as necessidades sociais e as leis da natureza, fazendo parte integrante do modo de existência dos seres humanos em todas as épocas.

Tomados esses cuidados com a abordagem teórica e os caminhos de análise, o estudo

1 Trataremos de técnica no sentido de conjunto organizado de procedimentos cujo objetivo é atingir um resultado específico em algum campo de atividade. Tecnologia é conceituada como o conjunto de técnicas de um campo de atividade específico.

da tecnologia nos permite identificar não somente como se deu a sua gênese, mas também, no caso do período estudado, identificar as variáveis que permitiram transformá-la em mercadoria e inseri-la no processo de produção. No caso das técnicas usadas na telegrafia, é possível observar as consequências na sociedade: no comércio, na guerra, na diplomacia, na política interna (relações de poder entre grupos de uma sociedade) e na geopolítica (relações de poder entre nações), e mesmo consequências culturais e existenciais.

ESTRUTURA DO TRABALHO

O estudo está organizado em quatro capítulos. O primeiro descreve o contexto histórico em que se desenvolveu o sistema de telegrafia elétrica: a consolidação do processo de industrialização iniciada durante a Revolução Industrial, fornecendo os traços da dinâmica do sistema capitalista em curso sobretudo na Inglaterra. O segundo trata de um histórico do conhecimento científico da eletricidade e magnetismo: seus primórdios e sua posterior organização até sua consolidação e fusão para se tornar eletromagnetismo. O terceiro descreve as tecnologias das redes telegráficas, começando pelas telegrafias terrestres, visual² e elétrica, e, a seguir, detalhando a telegrafia submarina. Esse capítulo é considerado o cerne da discussão, pois contém os resultados da pesquisa realizada acerca do desenvolvimento da tecnologia da telegrafia. O quarto capítulo falará da difusão mundial das redes telegráficas e suas consequências geopolíticas, científicas, tecnológicas etc., visando fornecer, explorativamente, um arcabouço que possa colaborar para o entendimento das redes de informação existentes nos dias de hoje.

2 O termo "visual" é aqui adotado por ser o mais correto em língua portuguesa para esta aplicação, sendo o utilizado por autores de Portugal (LIMA, 2013). No Brasil, talvez por influência da literatura em língua inglesa, é frequente o uso do termo "óptico" nesta acepção. Entretanto, os termos "óptica" e "óptico" referem-se à disciplina da Física que estuda os fenômenos da luz e da visão e às aplicações dela derivadas; já o termo "visual" se refere ao que é obtido (percepção, informação) ou executado (navegação, comunicação) através da visão (HOUAISS; VILLAR, 2001). Assim, o termo "óptico" deve ser reservado a dispositivos que operam através de emissão e recepção de radiações na faixa do espectro luminoso, sendo o termo "visual" aplicado aos dispositivos que formam imagens que devem ser vistas por pessoas.

1 CONTEXTO HISTÓRICO

Este capítulo irá discutir sucintamente as condições históricas que possibilitaram o surgimento e a expansão da telegrafia. As considerações que se seguem têm como base sobretudo os estudos de Hobsbawm (1978, 1989, 1996), Kemp (1987), Cury (2006) e Soares (2001, 2007).

Em primeiro lugar, para atender aos objetivos deste estudo, é necessário entender as motivações políticas, econômicas e sociais que levaram alguns países a investir, em certo momento, na criação e expansão dos sistemas telegráficos. Mas não basta ter motivação para concretizar um projeto. É preciso concentrar o conjunto dos recursos necessários, como as matérias-primas e as técnicas para a produção dos componentes, os equipamentos para a implementação dos projetos, as fontes de energia necessárias ao funcionamento dos sistemas e as estruturas de operação e gerenciamento.

No caso da telegrafia, esses recursos incluíram as práticas modernas de extração de metais e de metalurgia para a produção de máquinas, cabos, dispositivos e veículos para transporte e montagem das redes; a extração e a produção de recursos vegetais, como os materiais usados como isolantes dos cabos; o conhecimento das madeiras usadas para os postes de sustentação de fios, assim como dos solos; a topologia dos terrenos; a existência e as condições de abertura dos itinerários para as linhas telegráficas; os meios de produção e posterior transmissão da energia elétrica necessária à operação dos sistemas, algo até então inexistente; os conhecimentos científicos que permitiram projetar os dispositivos e desenvolver as técnicas para a sua produção e operação; e os meios de administração e manutenção dos sistemas de telegrafia.

Como será visto a seguir, essas condições se reuniram no período de ascensão do capitalismo e, mais tarde, no bojo da industrialização da Europa Ocidental.

1.1 PRIMÓRDIOS DO CAPITALISMO

Na segunda metade da Idade Média, entre os séculos XI e XIV, a Europa viveu um período de expansão econômica dinamizada pelo comércio intra e intercontinental. Os principais centros dessa atividade eram as cidades mediterrâneas e do Leste Europeu que dominavam o acesso às antigas rotas comerciais terrestres para o Oriente, ativas desde o

tempo dos gregos e romanos. Enquanto isso, as cidades do litoral atlântico da Europa desenvolviam a navegação de cabotagem que estendeu rotas comerciais desde o Mar do Norte até o Mediterrâneo. Quando o monopólio italiano se somou ao controle turco das rotas comerciais para o Leste, os reinos ocidentais, que já tinham acumulado experiência em navegação, riqueza e tecnologia, foram buscar rotas alternativas para dinamizar sua economia mercantil. Começou a fase das Grandes Navegações, lideradas por Portugal e Espanha, e realizadas, em grau menor, pela França, Holanda e Inglaterra. Assim, o eixo econômico da Europa se deslocou para a costa ocidental do continente, no Atlântico Norte.

No fim do século XV, Portugal quebrou o monopólio italiano das importações, ao estabelecer um caminho marítimo para o Extremo Oriente. A Espanha, na mesma época, se apossou dos territórios recém-descobertos a oeste do Oceano Atlântico (o continente americano), o que em breve lhe deu a liderança no mar. Assim essas nações se tornaram as primeiras potências coloniais. A liderança marítima e comercial mundial por boa parte do século XVII coube à Holanda, fortalecida com a criação da Companhia Holandesa das Índias Orientais; essa liderança durou até a década de 1670 e, com o seu fim, teve início um período de disputas comerciais, marítimas e territoriais entre a Inglaterra e a França. No século XVIII, a Inglaterra conseguiu quebrar o monopólio espanhol das rotas marítimas, passando a dominar o comércio mundial. Este não foi um processo pacífico, mas envolveu um prolongado período de guerra pela supremacia marítima, pela autonomia política e pela base territorial de cada país, envolvendo a Inglaterra e os países europeus continentais, que se estendeu de forma crônica e por vezes aguda até o início do século XIX.

Portanto, entre os séculos XVI e XIX, é interessante destacar que houve uma série de guerras entre as potências europeias, cujo objetivo era o estabelecimento de uma hegemonia no mercado mundial em termos políticos e econômicos. Esse processo foi responsável por algumas guerras de caráter comercial que tiveram abrangência mundial e, pela sua violência, fizeram um grande número de vítimas: a Guerra dos Trinta Anos (1618-1648), a Guerra da Sucessão Espanhola (1701-1714), a Guerra dos Sete Anos (1756-1763) e as Guerras Napoleônicas (1803-1815) (SOARES; SILVA, 2010).

As navegações criaram um novo tipo de relacionamento comercial entre a Europa e os outros continentes: a criação de um sistema econômico colonial, baseado em trabalho escravo ou outras formas de trabalho compulsório, cuja produção era voltada para o mercado europeu. Com isso, entre os séculos XVI e XVIII, o tráfico de escravos cresceu e se tornou um empreendimento muito rentável, de que a Inglaterra se beneficiaria enormemente no século XVIII (HOBSBAWM, 1978).

A relação entre metrópole e colônia era baseada, inicialmente, na exploração do domínio colonial do modo mais lucrativo possível. O enriquecimento das metrópoles, nessa fase, ocorreu por duas vias. Aquelas que, como Espanha e Portugal, ocuparam territórios ricos em minerais preciosos, enriqueceram, abrupta e fragilmente, pela acumulação de ouro e prata que foram utilizados, essencialmente, para a compra de manufaturados ingleses, deixando em segundo plano a agricultura e a manufatura. Em consequência, a produção interna dos países ibéricos ficou quase paralisada, levando sua economia progressivamente ao colapso conforme as guerras foram consumindo as reservas financeiras do país.

Entretanto, outras nações, como a Inglaterra e a França, cujas primeiras colônias não ofereciam recursos minerais abundantes, deram prioridade ao estabelecimento de uma balança comercial positiva, adotando uma política de redução de importações, proibição da exportação de matérias-primas, e estímulo à exportação de produtos manufaturados e ao consumo interno de produtos nacionais. Essa política estimulou a produção agrícola e manufatureira, criando uma forte demanda por inovações tecnológicas. Graças a isso, no século XVIII, a economia europeia era liderada por esses países que tinham investido na produção interna e no comércio interior e exterior.

Na Inglaterra, a expansão do comércio de produtos manufaturados deu aos proprietários rurais motivação para produzir insumos industriais. Assim, os camponeses foram expulsos das terras antes cultivadas para produzir alimentos de consumo local, e as terras foram transformadas principalmente em pastagens para a produção de lã de carneiro. A consequência foi a criação de uma grande massa de população que migrou dos campos para as cidades em busca de trabalho, fornecendo a força de trabalho necessária para o processo de industrialização do país.

A força econômica da burguesia comercial, enriquecida com a manufatura e o comércio, desencadeou uma luta por poder político contra a monarquia absolutista. O resultado foi uma série de rebeliões e revoluções que marcaram o século XVII na Inglaterra, destacando-se a guerra civil, que resultou no governo de Oliver Cromwell [1599-1658], e a Revolução Gloriosa, que implantou o parlamentarismo no país. Cromwell adotou políticas econômicas favoráveis à burguesia e promulgou leis que estimularam o crescimento e fortalecimento da marinha inglesa. O parlamentarismo trouxe a garantia legal da propriedade privada, do fim do monopólio e da liberdade individual de implantar atividades produtivas e comerciais. Essas medidas estimularam a economia nacional, criando as bases para que a Inglaterra fosse a primeira nação a ter sua Revolução Industrial, iniciada no final do século XVIII.

A França, a partir do século XVI, consolidou uma monarquia absoluta e se envolveu em diversas guerras na Europa, buscando expandir seu poder pela conquista de territórios dos países vizinhos e por alianças com outros Estados. Internamente, o governo estimulou o comércio e a manufatura de grande porte (importação, exportação, construção de navios etc.), fortalecendo a burguesia, sendo que a aristocracia teve força até a metade do século XVIII. Enquanto a Inglaterra investia na indústria e na disputa pelo controle do comércio marítimo, a França priorizava as campanhas terrestres e costeiras na Europa, ou seja, simplifadamente, a França se ateu ao domínio da terra e a Inglaterra, ao do mar. As guerras arruinaram a economia da França e criaram as condições para a revolução burguesa do fim do século XVIII que, entretanto, não pôs fim ao projeto expansionista francês predominantemente terrestre.

No período aqui descrito, que vai do final da Idade Média até o século XVIII, podem ser identificadas as necessidades que levaram à invenção dos primeiros sistemas de comunicação à distância. Nos países em que a navegação era um recurso estratégico para o comércio e a guerra, criou-se a demanda por formas eficientes e rápidas de comunicação dos navios entre si e entre a terra e as embarcações. Nas nações em que predominavam as atividades terrestres, havia a mesma demanda, mas voltada para a comunicação entre fortalezas e cidades. Não é por acaso que os primeiros sistemas de comunicação visual à distância surgiram na Inglaterra, na França e em países que, de alguma forma, estiveram envolvidos em guerras com essas duas nações, como Alemanha, Holanda, Portugal e Espanha.

1.2 A INDUSTRIALIZAÇÃO

A abordagem dos principais aspectos da industrialização é importante para o entendimento da gênese da tecnologia e da difusão das redes telegráficas elétricas no século XIX. As redes telegráficas terrestres, a princípio, tiveram uma íntima ligação com as estradas de ferro - um fenômeno inicialmente britânico que se propagou pelo mundo -, e as redes de cabos submarinos apresentaram uma lógica de difusão que acompanhou os interesses internacionais dessa potência econômica.

O processo de industrialização começou a se manifestar na segunda metade do século XVIII, na Inglaterra, e se acentuou ao longo do século XIX, no processo que foi chamado pelos historiadores de Revolução Industrial. Pode-se dizer, de certa forma, que o século XIX, com o pioneirismo da Revolução Industrial iniciada nessa nação, foi um século "britânico", no qual a Grã-Bretanha foi capaz de influenciar de maneira decisiva a política e a economia

globais. Sua capacidade de produzir através da aplicação das inovações tecnológicas era tal que, no século XIX, a Inglaterra foi denominada "oficina mecânica do mundo".

Impulsionada pela ciência e pela tecnologia, a industrialização fez com que a Europa, a princípio, e depois muitos outros países no mundo, se transformassem de sociedades agrárias em sociedades predominantemente urbanas. A industrialização se tornou um modelo tal, que todos os países que pensaram em se desenvolver economicamente, fizeram esforços para adotá-la, de forma que hoje quase todos os países têm sociedades marcadas por esse tipo de desenvolvimento.

1.2.1 As revoluções industriais

Entre os séculos XVIII e XIX, aconteceram mudanças radicais na estrutura econômica que foram posteriormente descritas pelos historiadores como uma sequência de duas revoluções industriais.³ A primeira, que abrangeu o período de 1780 a 1850-60, caracterizou-se, em termos tecnológicos, pela transição dos métodos de produção manual para o uso de máquinas, por novos processos de produção de ferro, pelo uso do vapor como fonte de energia e pela produção de máquinas-ferramentas. Em termos econômicos, estava centrada em uma indústria de bens de consumo, principalmente a indústria têxtil, baseada em grande parte nos tecidos de algodão. A segunda revolução abrangeu o período de 1850-60 até a Segunda Guerra Mundial e caracterizou-se pelas indústrias de bens de capital, principalmente as indústrias química, siderúrgica e elétrica. Nessa segunda fase, houve uma união definitiva entre a técnica e a ciência, através da sistematização dos saberes científicos que foram incorporados à produção.

Entre as diversas abordagens históricas do período, foi considerada mais fértil para o tema deste estudo a de Eric Hobsbawm (1978), para quem não é possível entender as revoluções industriais analisando fatores isolados como, por exemplo, os fatores climáticos ou a Revolução Científica do século XVII, pois eles guardam com elas uma relação de causa e efeito frouxa, improvável ou unilateral. Portanto, a análise não deve levar em conta somente a lógica interna de desenvolvimento da Revolução Industrial. Para aquele autor, é necessário considerar os fatores econômicos, geográficos, sociais e culturais que favoreceram o

3 Deve-se levar em consideração que a cronologia das revoluções industriais pode variar entre os historiadores devido aos critérios adotados por cada um, não havendo uma concordância entre eles sobre fatores como influência econômica e social, materiais e técnicas do período, quais países e setores são analisados. Eric Hobsbawm (1978) considera a Segunda Revolução Industrial abrangendo de 1840 a 1895, Daniel Headrick (2009), de 1869-1939, e Joel Mokyr (2013), de 1870 a 1914.

surgimento e o desenvolvimento de condições para a industrialização. Devem ser levados em consideração, não somente o aumento da produção, mas também as mudanças estruturais que ocorreram nas técnicas e nas formas de organização, ao se dar a passagem do setor primário para o secundário como setor dominante no conjunto da economia.

Essa contextualização faz com que a Grã-Bretanha deva ser estudada, em termos econômicos, nas relações que tinha com o restante da economia europeia: o comércio, os pagamentos internacionais, a transferência de capitais. Assim ficará claro que, apesar das crises econômicas por que a Europa passou entre os séculos XIV e XVII, a economia europeia sofria uma expansão e estava madura para que ocorresse uma Revolução Industrial em algum lugar dela (HOBSBAWM, 1978).

Por volta da década de 1780, surgiram na Inglaterra modificações econômicas profundas, que caracterizaram uma alteração radical em relação às épocas anteriores e às outras sociedades. Essas mudanças dizem respeito à capacidade de produção de bens e serviços extremamente ampliada e autossustentável, numa escala nunca antes imaginada. Através da aplicação de novas técnicas, tornou-se possível produzir, de maneira contínua, praticamente qualquer coisa, evitando os problemas causados pela sazonalidade de produtos, que era comum até então (HOBSBAWM, 1996).

Entre os fatores que propiciaram o surgimento da Revolução Industrial na Inglaterra, está o fato de que ela possuía uma economia voltada para o mercado e já passara por um prolongado período de expansão comercial. Em segundo lugar, a Revolução Industrial foi precedida por praticamente 200 anos de desenvolvimento econômico razoavelmente continuado. O quadro econômico e político do país, a partir do meio do século XVIII, propiciou uma acumulação tal que, na época do começo da Revolução Industrial, a Inglaterra possuía suficiente capital para poder investir nos equipamentos (capital constante) necessários à transformação econômica (HOBSBAWM, 1978).

Além de tudo isso, a Grã-Bretanha tinha acesso a um mercado mundial largamente dominado por ela: era dona de um império que assegurava aos seus empresários lugares para investimentos, matérias-primas e mercados para os seus produtos industriais. Com essas vantagens, não era necessária a proteção do Estado, ao contrário, por exemplo, da França e da Alemanha.

Além dos fatores econômicos, Luiz Carlos Soares (2007), acompanhando um debate de historiadores ingleses, destaca a importância de fatores culturais e ideológicos que precederam as Revoluções Industriais. Mostra que houve uma Ilustração Inglesa que teve influência no período que vai de 1715 até 1789, portanto um pouco anterior à Ilustração

Francesa. O ideário dessas Ilustrações expressa a ascensão das burguesias (*middle classes* na Inglaterra) de seus respectivos países.

Como exemplos de nomes importantes da Ilustração Inglesa podem ser citados Jean-Théophile Desaguliers [1683-1744], um francês huguenote exilado, e Francis Hauksbee [1660-1713], ambos experimentadores da *Royal Society of London for Improving Natural Knowledge*, conhecida apenas como *Royal Society*, criada em 1660, e que foram importantes divulgadores da Filosofia Newtoniana.

A Ilustração Inglesa era composta por membros de igrejas protestantes dissidentes, que apoiaram Cromwell e que posteriormente foram alijados da vida pública e do sistema educacional inglês, de Oxford e Cambridge. Por isso, criaram as Academias de Dissidentes Racionalistas que apresentavam as seguintes características: foram fortemente influenciadas pelo Mecanicismo Newtoniano, apresentavam uma religiosidade de cunho racionalista e tinham um ideal de ciência experimental, aplicada e racional, o que teria propiciado um ambiente intelectual poderoso para o surgimento da Revolução Industrial na Inglaterra por volta da década de 1780. As mais destacadas academias foram as de Warrington e Manchester, sendo que nesta, um dos tutores era o químico John Dalton [1766-1844].

Além da formação de Academias compostas por dissidentes, na época, proliferaram sociedades filosóficas, literárias e científicas. Uma das mais destacadas foi a *Lunar Society*, de Birmingham, criada por volta de 1765 e que durou até 1803. Era composta por membros ilustres como o médico, botânico e inventor Erasmus Darwin [1731-1802], avô do naturalista inglês Charles Darwin [1809-1882]; o inventor e aperfeiçoador da máquina a vapor, o irlandês James Watt [1736-1819]; o químico Joseph Priestley [1733-1804] e o industrial Mathew Boulton [1728-1829], sócio de Watt. Um fato importante foi que a *Lunar Society* tinha ligações com políticos e intelectuais americanos da então colônia inglesa, sendo Benjamin Franklin [1706-1790] o mais conhecido deles. No caso de Priestley, deve ser destacado o fato de que, antes de se voltar para a Química, seus interesses estavam na Eletricidade, tendo inclusive escrito *The history and the present state of electricity with original experiments*, em 1767.

Outra instituição que deve ser mencionada é a *Royal Institution*, criada em 1799, que ficaria famosa pela difusão da ciência através de suas palestras de cunho popular e pelo seu laboratório para experimentos. Entre seus membros destacaram-se Humphry Davy [1778-1829] e Michael Faraday [1791-1867].

Muitos desses nomes citados acima foram destacados estudiosos dos fenômenos elétricos, o que será visto no capítulo 2.

1.2.1.1 Primeira Revolução Industrial

A primeira revolução industrial se deu num contexto histórico especial em que ocorreu a aplicação do capital na produção de mercadorias e a própria formação do capital no decorrer dessa produção (MARX, 2013; MANTOUX, [1957]). Essa transferência de capital se fez primeiramente nas oficinas dos artesãos, onde eram usadas ferramentas cuja necessidade de investimentos, ou não existia, ou era muito pequena. Mais tarde começou a ocorrer a aplicação de capital para a aquisição de maquinário para as minas e para as indústria metalúrgica. As inovações técnicas nesse período teriam sido feitas por hábeis inventores, mas muitas delas, conforme alguns historiadores (BERNAL, 1973; HOBBSAWM, 1978; LANDES, 1979), não tiveram uma relação direta e íntima com os saberes científicos da época. Um exemplo citado frequentemente, foi a invenção e o aperfeiçoamento da máquina a vapor para escoar a água das minas. Porém, Soares (2007) informa que inventores e mesmo divulgadores das técnicas, diretamente envolvidos na confecção de máquinas e outros processos industriais da Primeira Revolução Industrial, possuíam uma sofisticada formação científica, derivada de uma tradição da Ilustração Inglesa do século XVIII, o que foi visto acima.

Com a produção de ferro fundido, foi possível a substituição da madeira para a construção de máquinas. Essa demanda fez com que começassem a ser usadas máquinas-ferramentas, como os tornos, para realizar os trabalhos de precisão necessários à fabricação de máquinas em geral.

Um importante agente dessas mudanças foi o empresário. As firmas comerciais, formadas por investidores e empreendedores, competiam entre si, dentro de um quadro institucional favorável às forças de mercado, e estavam interessadas em empregar novas técnicas e novos métodos na produção, aumentando assim a quantidade de produtos produzidos e reduzindo custos de modo a obter o maior lucro possível. A taxa de lucro de produtos relativamente simples e baratos era alta, e o uso desses lucros foi um dos motores da Revolução Industrial, pois o crescimento do mercado encorajou maiores investimentos em capital constante (KEMP, 1987).

A indústria têxtil foi possível devido à exploração colonial para produção de matéria-prima. A sua mecanização, a exemplo da de outras indústrias, ocorreu de forma gradual, num período posterior, e teve como objetivo diminuir os custos, poupando o emprego de trabalhadores e racionalizando a produção de modo a obter uma expansão das vendas e um lucro maior por unidade. Até aproximadamente 1815, a mecanização era disseminada na

produção de forma parcial. Apesar da pressão por inovação, houve um número modesto de aperfeiçoamentos dessas máquinas, de modo que, em torno da década de 1830, essa indústria permanecia estabilizada em termos tecnológicos (KEMP, 1987).

Os avanços tecnológicos, trazendo o uso de novas máquinas e novas fontes de energia, proporcionaram uma ruptura em relação ao passado e tiveram algumas consequências, como a criação de um sistema de produção mecanizado, proporcionando um salto na produtividade, e consequentemente baixando o custo dos produtos, de tal forma que, por um lado, a indústria atendia a uma determinada demanda e, por outro, era capaz de criar um mercado próprio. A produção de mercadorias se intensificou, passando a ser feita com novas técnicas e em novo ambiente de produção, a fábrica. Esta concentrava muitos trabalhadores, que viriam a se constituir, na análise de vários estudiosos, numa classe em particular na sociedade: o operariado.

1.2.1.2 Segunda Revolução Industrial

Essa fase, como um todo, foi centrada nas indústrias de bens de capital, na disseminação de ferrovias, nas indústrias baseadas na tecnologia elétrica e na química. Desenvolveram-se novas tecnologias: as indústrias de comunicações (telegrafia, telefonia e rádio), o motor de combustão interna, a criação de novos materiais químicos diversos. Ou seja, não só o desenvolvimento de tecnologias, mas a forma como a produção era implementada, dependeu em larga medida da aplicação da ciência.

Com o advento do conhecimento e do entendimento cada vez mais aprofundado do eletromagnetismo, logo foram aplicados os conhecimentos técnicos derivados dele. A telegrafia, os pequenos motores, a solda elétrica por arco voltaico e o tratamento de superfícies metálicas por eletrodeposição foram as primeiras e principais aplicações.

Como será visto no capítulo 3, devido a fatores de ordem econômica, a telegrafia elétrica terrestre, que começou a crescer na década de 1840, foi a primeira indústria a se desenvolver usando essa tecnologia. Portanto, foi a primeira indústria tipicamente científica, e a sua sucessora, a telegrafia submarina, aprofundou de maneira inequívoca esse vínculo entre a ciência e a tecnologia. Ainda no segmento de comunicações, a sucessão tecnológica foi a indústria da telefonia, que teve o seu advento com a invenção do telefone em 1876. Mas as necessidades de energia elétrica dessas indústrias eram modestas, sendo supridas por baterias. A indústria elétrica só começou a despontar na década de 1880, quando a urbanização aumentou a demanda por iluminação e tração elétrica, e a indústria, para o acionamento de

máquinas (BERNAL, 1969).

A produção de mercadorias requeria grandes quantidades de substâncias químicas para serem processadas, como álcalis, ácidos e corantes, sendo que muitas delas consumiam grandes quantidades de combustível no processo de fabricação (LANDES, 1979). Cabe nesse caso, destacar que a indústria química se desenvolveu nesse período criando novos materiais, como o cimento e o ácido sulfúrico.

Apesar de a Grã Bretanha abrir o campo da indústria química, foi a Alemanha que assumiu a sua liderança. Essa liderança foi obtida graças ao trabalho sistemático realizado por pesquisadores com formação técnica e científica, com o objetivo de resolver problemas práticos. Por exemplo, na década de 1840, Justus von Liebig [1803-1873] propôs o uso de fertilizantes na agricultura. Foi também a Alemanha que criou a química orgânica, base da indústria química da segunda metade do século XIX (MOKYR, 2013).

Uma das maiores mudanças que ocorreram a partir de meados do século XIX, decorrentes da Revolução Industrial, aconteceu nos transportes. Para o transporte dos bens produzidos, os meios de transporte tinham que ter constituição resistente e confiável. O aço, mais leve e mais resistente do que o ferro, permitiu a construção de pontes de grande extensão, navios de grandes proporções, ferrovias etc.

É de particular importância abordar as ferrovias para o presente trabalho, porque a telegrafia elétrica terrestre esteve intimamente ligada a elas nos seus primórdios. Ela aproveitou os percursos das ferrovias para poder se expandir e, inicialmente, foi usada no controle do tráfego ferroviário. Era comum, sobretudo, que os diretores das empresas ferroviárias tivessem interesses econômicos nas primeiras empresas telegráficas. Headrick (1988) destaca que as ferrovias, em especial, eram consideradas o símbolo da era industrial.

Em termos tecnológicos, as ferrovias surgiram a partir das necessidades encontradas originalmente nas minas de carvão, que necessitavam de grandes máquinas a vapor para transportar o carvão das profundidades das minas e para levá-lo em grandes quantidades para onde fosse preciso usá-lo, o que era feito inicialmente a um custo muito alto.

As primeiras linhas de estradas de ferro tinham trajetos curtos e surgiram entre as décadas de 1820-1830, tanto na Europa quanto nos Estados Unidos. Entre as décadas de 1840 e 1850, em termos mundiais, houve uma expansão acentuada, de 7.200 km (4.500 milhas) para 37.600 km (23.500 milhas), causada em grande parte pela especulação de investidores. Essa especulação ficou conhecida como "mania das ferrovias" (HOBSBAWM, 1996).

As ferrovias demandavam grandes quantidades de investimentos, trabalho e materiais como ferro, aço e carvão, além de novas técnicas de administração. Tanto a produção de ferro

quanto a de carvão triplicaram no período de implantação das ferrovias na Grã-Bretanha entre 1830 e 1850. O aço começou a substituir o ferro na década de 1850, graças ao seu barateamento, conseguido, a princípio, através do processo desenvolvido por Henry Bessemer [1813-1898] em 1855, na Inglaterra.

A implantação das ferrovias nos outros países europeus foi feita usando as técnicas britânicas. Porém, neles, o Estado teve uma participação importante, porque não havia disponibilidade suficiente de capitais ou porque os investidores não queriam se arriscar. Isso implicou na cooperação de banqueiros sob os auspícios do Estado (KEMP, 1987).

1.2.2 Disseminação da industrialização

Por volta das primeiras décadas do século XIX, a Grã-Bretanha era o único país industrializado do mundo e com uma economia madura. A sua ascensão como potência mundial deveu-se não somente à indústria, mas também à sua liderança comercial e à supremacia da sua frota mercante (CURY, 2006), aspectos evidentemente correlacionados.

O sucesso da industrialização na Inglaterra podia ser atribuído não só ao domínio da técnica e à presença de capitais, mas também à expansão do mercado, potencializado pelo transporte interno e marítimo. Esse sucesso chamou a atenção de outros países que quiseram trilhar o mesmo caminho econômico e que se beneficiaram dos resultados do processo inglês, mas não repetiram todas as fases dele. Ao contrário, fizeram um planejamento prévio cujos passos foram: copiar a técnica e importar o capital inglês.

A disseminação da industrialização se deu primeiro em países europeus próximos à Inglaterra, como a Bélgica e a França, e depois houve a propagação para outros países como a Alemanha, a Itália, a Rússia, os Estados Unidos, o Japão etc. É importante destacar que o processo de industrialização não se deu de forma homogênea, nem na Inglaterra nem em outros países: regiões industrializadas conviviam com outras que não o eram.

O resultado desse processo, foi que a disseminação da industrialização em países da Europa e nos Estados Unidos propiciou à Grã-Bretanha um maior desenvolvimento econômico porque, por um lado, eles precisavam comprar mais para se industrializar, e por outro, ocorreu a ida de investimentos britânicos para o estrangeiro (ou seja, a ampliação do mercado). À medida que os países iam se industrializando, podiam ser vistos como rivais da Inglaterra, e eram também elos de uma divisão internacional do trabalho, sem os quais a industrialização na Grã-Bretanha teria abrandado. Os países cujas economias eram baseadas em produtos primários, exportavam para a Grã-Bretanha; os países do continente europeu e os

Estados Unidos começavam a se industrializar, demandando mais produtos industrializados. Com isso, as exportações britânicas seguiam dois caminhos, indo para esses dois grupos de países (KEMP, 1987).

Na França, o processo de industrialização foi um pouco diferente e durou mais tempo. Só começou depois das Guerras Napoleônicas, em 1815, e se desenvolveu até 1860, *pari passu* com a Inglaterra, mas com peculiaridades próprias. Após 1815, a burguesia consolidou o seu poder. Houve uma melhora no poder aquisitivo em geral, fazendo com que o mercado interno se fortalecesse. Houve também um incentivo, ainda que modesto, ao uso de máquinas desenvolvidas na Inglaterra, pois o setor agrário forte foi um dos motivos do ritmo menos acelerado da industrialização, diferentemente do que aconteceu na Inglaterra. O bloqueio continental não impediu que as mercadorias britânicas chegassem à Europa e, portanto, não estimulou significativamente a indústria francesa. Na década de 1850, o Estado começou a arcar com os riscos dos investimentos da construção das ferrovias, no sentido de consolidar o mercado nacional. As ferrovias tiveram o papel de estimular os investimentos particulares na indústria pesada, pois necessitavam de carvão e aço; mas, uma vez instalada, a indústria pesada teve um papel modesto no conjunto da economia. A França se destacava pelas indústrias de produtos de luxo. Não tinha, como a Inglaterra, vastos mercados para exportação. Apesar de um desenvolvimento menos acelerado, a França apresentou um crescimento significativo, embora em menor escala, entre 1815 e 1914. Foi o primeiro país a se industrializar do continente e o mais rico até que a Alemanha, na década de 1840, começou se destacar economicamente (KEMP, 1987).

As características da industrialização da Alemanha, por sua vez, foram uma alta concentração de poder em setores industriais tecnologicamente avançados, como as indústrias químicas, siderúrgicas, elétricas e ferroviárias, e uma forte ligação entre as indústrias e os bancos. Na década de 1840 começaram a ser implantadas as ferrovias. A tecnologia foi importada da Grã-Bretanha e rapidamente assimilada e desenvolvida, dando ímpeto à indústria do aço. A Alemanha começou a se industrializar de maneira consistente após a sua unificação, em 1871, sob a liderança política da Prússia, sendo que o Estado foi o responsável por gerenciar o processo de industrialização. Diante da depressão econômica que abateu o sistema capitalista entre 1873 e 1896, as empresas alemãs decidiram formar cartéis da indústria pesada, controlando os preços, fazendo economias de escala e evitando a superprodução. As indústrias químicas e elétricas também se destacaram na industrialização da Alemanha, e parte do seu sucesso se deveu aos centros de ensino técnico e científico, que mereceram grande atenção do Estado. A indústria química alemã alcançou a liderança

mundial ainda no século XIX, enquanto que a elétrica só começou a crescer de maneira acentuada a partir da década de 1890 (CURY, 2006).

A exemplo do processo de industrialização da Inglaterra, os Estados Unidos deram os primeiros passos rumo à industrialização na década de 1830, com o nascimento de uma indústria de bens de consumo. Posteriormente o processo se expandiu para as indústrias de bens de produção, que tinham as cidades como grandes mercados, criando uma demanda para máquinas, equipamentos e matérias-primas nas áreas de iluminação a gás, transporte e construção civil. Nos Estados Unidos, a siderurgia foi estimulada pelos abundantes depósitos de carvão e ferro, e pela cultura e exportação de produtos agrícolas, escassos nos centros industriais europeus. O algodão, por exemplo, era prontamente absorvido em grandes quantidades pelas manufaturas inglesas (SIMONSEN, 1973). As ferrovias também tiveram um papel fundamental na economia americana, pois uma infraestrutura de ferrovias e comunicações telegráficas permitiu o alargamento das fronteiras econômicas a partir de 1850. No começo da Guerra Civil (1861-1865), Nova Iorque já era um centro financeiro mundial importante, sendo, inclusive, capaz de atender às necessidades de financiamento do setor ferroviário, pois os custos fixos e a elevada necessidade de capitalização levaram a um processo de concentração, com poucas empresas dominando o setor. Por volta de 1870, quando foi completada a transição da produção para o sistema de fábricas, a produção foi aumentada, não necessariamente através da inovação organizacional e tecnológica, porém com o emprego de mais máquinas. Mas, a partir das últimas décadas do século XIX, a complexidade da indústria siderúrgica e do petróleo levou a uma necessidade de inovação tecnológica e gerencial. Na época da Primeira Guerra Mundial, os Estados Unidos já tinham se tornado uma grande potência (CURY, 2006).

O Japão iniciou a industrialização somente na década de 1870, com a Restauração Meiji, quando seus líderes políticos decidiram alcançar o Ocidente. A exemplo da Alemanha, o Estado japonês, diante de um país agrário e carente de recursos, liderou o processo de industrialização, tendo por base o reaparelhamento militar. Na década de 1880, o Estado começou a transferir as empresas estatais para a iniciativa privada, para a mão de grandes grupos financeiros que depois iriam se transformar nos grandes conglomerados denominados *zaibatsu*. O fortalecimento do Japão se deu através de medidas que desestimularam os investimentos estrangeiros no país e desviaram as atenções para a China, então o destino preferencial dos investimentos estrangeiros (CURY, 2006).

No Brasil colônia, era proibida a instalação de indústrias, o que foi abolido logo após a vinda da família real portuguesa para o Brasil. Em 28 de abril de 1809, foi emitido um alvará

que propunha dar um alento às indústrias brasileiras. Esse alvará dava isenção de impostos de importação para as matérias-primas necessárias às fábricas nacionais; isenção de imposto de exportação para os produtos manufaturados no país; direitos exclusivos aos inventores ou introdutores de novas máquinas; e auxílio às manufaturas de lã, algodão, seda, ferro e aço (LUZ, 1960, p. 21). Porém, com o estabelecimento de tarifas baixas sobre os produtos ingleses, houve, na prática, um desestímulo à industrialização, tornando inócuas as intenções precedentes.

Para a proteção da indústria nacional, em 1828, foi criada uma pauta tarifária que tributava as mercadorias importadas com tarifas variando de 2 a 60%: mercadorias já produzidas no Brasil, ou de luxo, tiveram tarifas acima de 30%; produtos e artefatos necessários à produção, como folhas de flandres, de cobre e ferro, úteis à indústria de uma maneira geral, de 2 a 25%. Mas essas escassas medidas foram insuficientes: o Brasil continuou basicamente um exportador de produtos primários, com uma economia baseada em relações escravistas, com o crédito restrito e a riqueza concentrada nas mãos dos grandes produtores rurais (CALDERA, 1995).

O desenvolvimento industrial do país foi muito lento: na década de 1850, o Brasil contava com pouco mais de 50 estabelecimentos industriais. Somente a partir de 1860, os efeitos da tarifação e os lucros da exportação do café produziram um superávit tal que começaram a ser implantadas as principais indústrias. Em 1866, a indústria têxtil tinha nove fábricas e, em 1881, 44 fábricas. Simonsen (1973, p. 14-16) considera que, entre as décadas de 1880 e 1890, ocorreu o primeiro surto industrial brasileiro, sendo que 60% dos capitais estavam na indústria têxtil, 15% na alimentação, 10% em produtos químicos, 4% em madeira, 3,5% em vestuário e toucador, e 3% na metalurgia.

Cabe ressaltar a figura de Irineu Evangelista de Souza [1813-1889], o Barão de Mauá, que foi promotor de projetos industriais como o estaleiro de Ponta da Areia, em 1846, que produzia navios, caldeiras, guindastes, prensas, canos etc., além da implantação da primeira estrada de ferro em 1854, sendo que, também no Brasil, a telegrafia esteve intimamente associada às ferrovias. Mauá também foi importante pelo seu envolvimento na implantação do primeiro cabo telegráfico submarino ligando o Brasil à Grã-Bretanha, como será visto no capítulo 3. Deve-se ressaltar o fato de que Mauá tinha fortes ligações com os capitalistas britânicos e que, em alguns dos grandes projetos industriais que promoveu, esses capitalistas foram seus sócios (CALDERA, 1995).

Os casos descritos mostram que, onde o processo de industrialização foi implantado, houve características semelhantes: uma relação dinâmica entre o setor agrícola e o setor

industrial nascente; o Estado como facilitador, parceiro, estimulador e às vezes gerenciador do processo de implantação da industrialização, através de proteção tarifária, do direcionamento de investimentos ou da reforma das instituições de ensino; uma modificação do sistema financeiro dos países, no sentido de fazerem investimentos nacionais ou internacionais. Carvão, siderurgia e ferrovias foram as variáveis sempre presentes. Com elas sempre se articularam investimentos, transportes e telegrafia, esta como a tecnologia propiciadora de comunicações de longa distância.

Para entender a lógica da necessidade das comunicações de longa distância para a Grã-Bretanha, basta ver qual era a condição da sua economia. Ela estava totalmente inserida e integrada no mercado mundial, ao qual moldava. Sua prosperidade dependia da produção de um volume elevado de mercadorias e necessitava também de constantes oportunidades para a aplicação de investimentos, ou seja, da ampliação do mercado obtida pela captura de novos países, onde se insere o Brasil. Portanto, começavam a se configurar dois aspectos de sua economia: uma base industrial e o financiamento internacional. Após 1850, os grandes bancos começaram a agir também como investidores, mobilizando capitais disponíveis nos respectivos países para o financiamento da indústria, permitindo, assim, o controle e a consequente concentração dessas mesmas indústrias.

Aproximadamente a partir do último quartel do século XIX, o capitalismo perdeu muito do seu caráter concorrencial e individualista: surgiram os grandes cartéis e ocorreu a associação definitiva do capitalismo industrial com o setor bancário, desenvolvendo-se o que se denominou capital financeiro, que foi dominante nas relações econômicas capitalistas no século XX.

A Inglaterra foi o primeiro país a construir uma economia interna de uma forma pioneira que se configurou como a denominada capitalista, dependente de uma intrincada rede de crédito. Pelo papel de vanguarda que por isso assumiu no comércio mundial, tornou-se o centro financeiro do mundo, com a libra (padrão ouro) sendo a moeda em torno da qual girava o sistema monetário mundial. A estabilidade do dinheiro em circulação e a livre convertibilidade das moedas durou até 1914, em função da posição mundial da Grã-Bretanha (KEMP, 1987).

2 CONTEXTO CIENTÍFICO

O objetivo deste capítulo é apresentar um breve panorama do contexto em que foram realizadas as descobertas e invenções que tornaram possível a implantação da telegrafia elétrica, como baterias, fios condutores e materiais isolantes, além dos instrumentos necessários para dar suporte técnico aos equipamentos das linhas telegráficas. Os conhecimentos essenciais para a criação desses dispositivos vieram principalmente de disciplinas da Física - eletricidade e magnetismo -, e exigiram, para o seu desenvolvimento, um contexto intelectual específico, proporcionado pela Revolução Científica ocorrida na Europa entre os séculos XV e XVII (BERNAL, 1965) e que trouxe um novo paradigma de saber: a ciência moderna. Será apreciada a evolução das diferentes teorias explicativas sobre a eletricidade e o modo como elas influenciaram o desenvolvimento das tecnologias empregadas na telegrafia.

Muitos séculos antes do início da Era Comum,⁴ já eram conhecidas as propriedades elétricas dos raios e dos peixes-elétricos, estes usados por egípcios e gregos no tratamento da dor (FINGER; PICCOLINO, 2011). Na Grécia, atribui-se a Tales de Mileto [c. 624 AEC - c. 546 AEC] algumas das primeiras observações sobre as propriedades atrativas da magnetita e do âmbar, porém sem distinguir a atração elétrica da magnética (TATON, 1960). A propriedade de um ímã apontar para o norte já era conhecida desde o quarto século AEC na China, de onde a bússola, usada para orientação terrestre talvez no século II AEC, e marítima desde pelo menos o século XI EC, foi levada para a Europa no século XII.

Estabelecida essa base inicial, o período entre os séculos XII e XVII foi essencial para o desenvolvimento dos conhecimentos e das aplicações modernas nas áreas da eletricidade e do magnetismo, até então bem separadas. No século XII, os pensadores da Europa ocidental redescobriram as grandes obras da filosofia natural grega. Além de desenvolver uma metodologia de trabalho que originou o moderno método científico, os filósofos naturais medievais se inspiraram nos antigos para adotar, como temas de estudo, os fenômenos do mundo físico (GRANT, 1996).

No século XIII, o francês Pierre Pelerin (Petrus Peregrinus) de Maricourt estudou as propriedades magnéticas do ímã e escreveu, em 1269, a *Epistola de magnete (Carta sobre o*

4 Era Comum (EC, em inglês CE, *Common Era*) e Antes da Era Comum (AEC, em inglês BCE, *Before Common Era*) - notação das grandes eras históricas que deve ser preferida em documentos que não tratam especificamente de temas cristãos. Seu ponto zero é o mesmo da Era Cristã, mas o sistema evita a conotação religiosa, sendo usado como datação laica para fins de intercâmbio internacional.

magneto), considerada a primeira obra científica sobre o magnetismo. Peregrinus descobriu que a Estrela Polar não fica no Polo Norte celeste verdadeiro e, portanto, segundo ele, não poderia afetar os ímãs (MAGILL, 2012, p. 721). Esses primeiros estudos favoreceram a criação, ainda no século XIII, da versão europeia da bússola, que foi fundamental para o florescimento das Grandes Navegações a partir do século seguinte.

Sem a perspectiva de aplicações práticas imediatas, ao contrário do magnetismo, a eletricidade permaneceu por muito tempo apenas como objeto de curiosidade, como um exercício intelectual no estudo das propriedades dos corpos. Foi somente na passagem do século XVI para o XVII que esta situação começou a mudar.

2.1 ELETRICIDADE E MAGNETISMO NOS SÉCULOS XVI A XVIII

2.1.1 Primeiras experiências e teorias

O físico inglês William Gilbert [1544-1603] publicou, em 1600, a obra *De magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure (Sobre os ímãs, os corpos magnéticos e o grande ímã terrestre)*. Nela apresentou os resultados de experimentos com a eletrização por fricção, para os quais criou um eletroscópio primitivo, o versório (do latim *versorium*, dispositivo girante): uma agulha de metal (não magnetizada) apoiada livremente num eixo, que se movia ao ser atraída por um corpo eletrificado (TATON, 1960; ASSIS, 2010).

Gilbert verificou que, além do já conhecido âmbar, outros materiais podiam ser eletrizados por fricção, e chamou de "elétricos" (do grego *elektron*, âmbar) os corpos que se comportam como o âmbar. Gilbert também estudou a propriedade das agulhas magnéticas de sempre apontarem para o norte geográfico, aplicando uma bússola a uma miniatura magnética da Terra que denominou *terrela*. Assim concluiu que a Terra é um ímã que atrai a agulha magnética, confirmando os achados de Peregrinus.

Ao buscar explicação para os dois fenômenos, Gilbert recorreu a conceitos dos filósofos naturais gregos. Assim, atribuiu a atração elétrica a "eflúvios" (fluxos de partículas diminutas) emitidos pelo âmbar atritado. Quanto ao magnetismo, supôs que seria uma propriedade intrínseca dos materiais mais "terrestres". O conceito de eflúvio elétrico material de Gilbert exerceu grande influência no pensamento dos pesquisadores dos séculos XVII e XVIII, sendo o precursor dos conceitos de fluido elétrico e carga elétrica (BAIGRIE, 2007).

Os fluidos eram um dos dois tipos de matéria da filosofia natural: a imponderável (sem

peso), diferente da ponderável, que constituiria os corpos. Os dois tipos seriam formados por partículas, mas sujeitos a forças diferentes: nos corpos agia a coesão; nos fluidos, a repulsão. Os fluidos eram a eletricidade, o magnetismo, o calórico e a luz. Eles agiriam sobre os corpos e vice-versa. Assim, por exemplo, a eletricidade faria com que dois elementos se combinassem quimicamente; já um corpo em combustão combinaria a eletricidade e o calórico, produzindo luz (VALLE, 1848). Pela abordagem da sua obra, Gilbert pode ser considerado o iniciador dos estudos da eletricidade.

Robert Boyle [1627-1691], filósofo natural irlandês, membro da *Royal Society*, interpretou os resultados de seus experimentos sobre eletricidade e magnetismo a partir das teorias corpuscular e mecânica de Newton, estabelecendo uma espécie de unificação entre a eletricidade e o calor (PURRINGTON, 1987). Nas obras *Experiments and notes about the mechanical production of magnetical qualities* (BOYLE, 1675, p. 529-552 da obra em formato digital) e *Experiments and notes about the mechanical origine or production of electricity* (ibidem, p. 553-592), defendeu a ideia dos eflúvios materiais, tanto elétricos quanto magnéticos, apresentando o aquecimento como o meio mecânico indispensável para produzir esses eflúvios, pela promoção do movimento das partículas nos corpos.

2.1.2 As máquinas de geração eletrostática

Após os trabalhos de Gilbert, a eletrização dos corpos tornou-se a principal linha de estudos no campo da eletricidade. A partir de então, iniciou-se uma fase de pesquisa ativa, voltada para a reprodução dos fenômenos elétricos, e não mais apenas para a sua explicação. Para estudar o assunto de maneira eficiente, os físicos experimentais, começando por Guericke, criaram os primeiros geradores eletrostáticos.

O filósofo natural Otto von Guericke [1602-1686], prefeito de Magdeburgo, na atual Alemanha, acreditava que os fenômenos físicos podiam ser explicados por suas "virtudes": haveria uma "virtude" para a gravidade, outra para o fogo e assim por diante. Ele teria feito seus experimentos com eletricidade para demonstrar algumas dessas virtudes (SEGRÈ, 1984). Em 1660, Guericke criou um artefato formado por uma bola de enxofre atravessada por um eixo. Este, apoiado numa base, servia para girar a bola, que era pressionada contra a outra mão. Guericke demonstrou a presença de eletricidade fazendo a bola assim tratada atrair e depois repelir uma pena que ficava planando acima dela.

A evolução das pesquisas da eletrização dos corpos veio com o aprimoramento do

artefato de Guericke por um aluno de Boyle, o filósofo natural Francis Hauksbee, amador (experimentador) da *Royal Society*, na Inglaterra. Sua versão consistia em um globo contendo mercúrio e em que havia sido produzido vácuo. À medida que a peça era girada, gerava faíscas e tinha a capacidade de eletrizar objetos próximos. Com a máquina de Hauksbee, a ciência ganhou um gerador de eletricidade mais profícuo, confiável e eficiente do que os que usavam peças de âmbar, cera ou pedras.

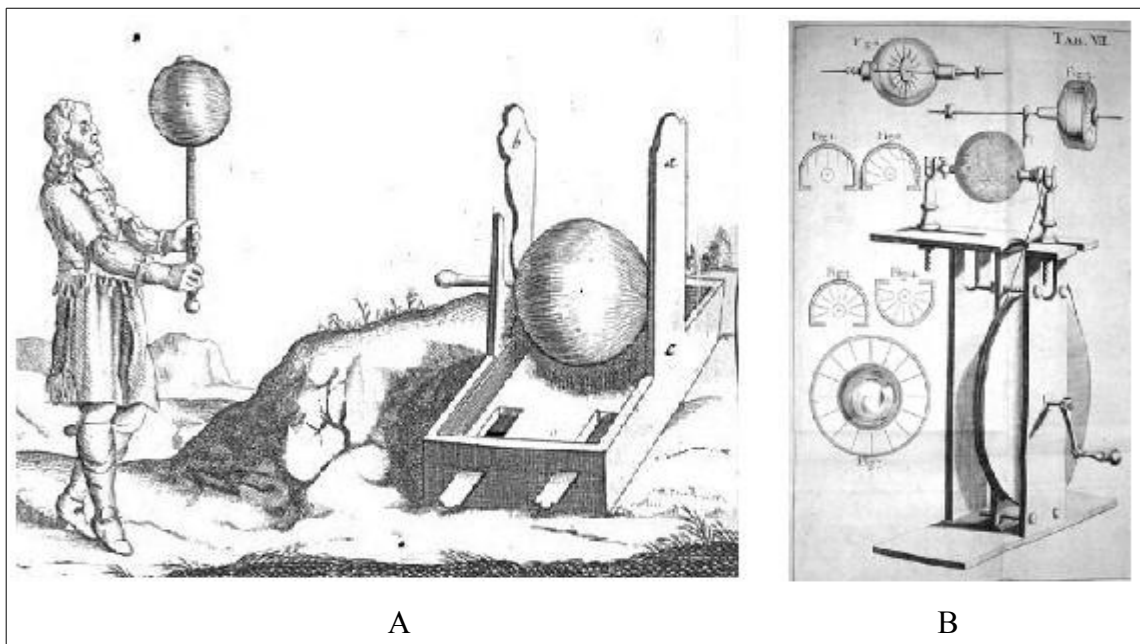


Figura 1 - Primeiras máquinas geradoras de eletricidade.
 A - Máquina de Von Guericke (GUERICKE, 1672, p. 129); B - Máquina de Hauksbee (HAUKSBEE, 1709, Appendix, Plate VII).

Em 1753, o físico inglês John Canton [1718-1772] anunciou a descoberta da indução eletrostática, num artigo lido na *Royal Society* em que relatava que um corpo eletrizado conseguia eletrizar outro que estivesse nas proximidades, com carga oposta, ou, como se dizia na época “por influência”. Johan Carl Wilcke [1732-1796], físico sueco, fez experiências de eletrização usando uma superfície de vidro e metal e Alessandro Volta, em 1775, na Itália, criou o eletróforo, com placas de metais. O eletróforo foi a semente das máquinas eletrostáticas de indução que substituíram as máquinas de atrito e, naquela época, eram denominadas "máquinas de influência". O físico inglês Abraham Bennet [1749-1799] criou, em 1787, a primeira máquina de indução, o duplicador elétrico, que era uma versão automatizada do eletróforo de Volta. Aparentemente, a máquina de Bennet foi inspirada num protótipo que o médico, botânico e inventor inglês Erasmus Darwin chegou a montar em 1778: era composto por dois discos rotativos de latão, suspensos, interligados por um fio, e

com uma placa de vidro com dupla face no centro (THOMPSON, 1888).

2.1.3 Natureza, transmissão e armazenamento da eletricidade

As pesquisas sobre a eletrização avançaram no início do século XVIII com o físico inglês Stephen Gray [1666-1736], o filósofo natural Jean Theophilus Desaguliers, o químico francês Charles Dufay [1698-1739] e o pesquisador amador americano Benjamin Franklin, que foram além das simples experiências de geração de cargas estáticas, estudando as características da eletricidade e o comportamento dos materiais em relação a ela (PURRINGTON, 1987; SEGRÈ, 1984).

Gray (1720) descobriu que podia eletrizar objetos ligando-os a um bastão eletrificado por um longo cordão de seda ou latão, e explicou o fenômeno através da condução de um fluido (virtude elétrica). Distinguiu entre os corpos que seriam depois classificados como condutores e isolantes, e, comparando corpos maciços e ocos, descobriu que as cargas elétricas ficam na superfície (TATON, 1960).

Desaguliers (1739) testou a ideia de Gray em muitos materiais e descobriu que eles podiam ser divididos em dois grupos: os que são excitados pela eletricidade (e a transmitem) e os que não o são (e não transmitem). Estavam lançados assim os conceitos de indução elétrica e de materiais condutores e isolantes.

Dufay (1734) identificou dois tipos de eletricidade, que chamou de vítrea e resinosa. A vítrea, gerada em pele, vidro, cristal, chumbo, seda, alumínio, papel e algodão, é a atualmente conhecida como positiva. A resinosa, que ocorreria em materiais como prata, bronze, enxofre, cobre, níquel, ouro, cera e resinas, é a identificada hoje como negativa.

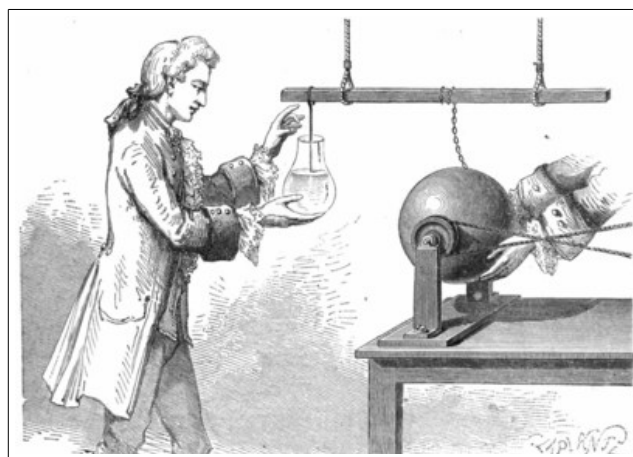


Figura 2 - Garrafa de Leyden (DESCHANEL, 1876, p. 570).

Um grande avanço para o estudo da eletricidade foi a criação da garrafa de Leyden, primeiro dispositivo capaz de acumular eletricidade. Em 1745, o físico alemão Ewald Georg von Kleist [1700-1748] percebeu que aplicando um gerador eletrostático ao líquido contido em uma garrafa, esta permanecia eletrizada. O fenômeno também foi explorado em 1746 pelo médico e físico Peter van Musschenbroek [1692-1761], de Leyden, na Holanda, e depois o líquido foi substituído por uma folha metálica recobrendo o interior da garrafa (SEGRÈ, 1984). A garrafa de Leyden foi importante para a evolução do estudo da eletrostática e o posterior desenvolvimento da tecnologia dos condensadores, conhecidos atualmente como capacitores.

Benjamin Franklin afirmou, em 1749, que o relâmpago tinha a mesma natureza da fásca gerada por uma máquina elétrica, o que provou capturando a carga de um raio na famosa experiência da pipa de 1752. Para Franklin, a eletricidade seria um fluido elétrico imponderável, semelhante ao éter que ele acreditava ser o condutor da luz. A concentração do fluido determinaria o estado elétrico do corpo: se fosse igual à do exterior, o corpo seria neutro; se fosse maior, o corpo teria carga positiva; se fosse menor, o corpo teria carga negativa. Apesar das falhas conceituais da sua teoria, Franklin usou seus achados empíricos para desenvolver o para-raios, que foi a primeira aplicação prática relevante dessa fase dos estudos da eletricidade (MASON, 1962).

2.1.4 Instrumentos de detecção e medida

Os primeiros instrumentos utilizados nos estudos da eletricidade, depois dos simples objetos usados para gerar eletricidade por fricção, foram os eletroscópios, aperfeiçoamentos do versório de Gilbert e das máquinas eletrostáticas, realizados ao longo do século XVIII. É interessante observar a evolução dos dispositivos usados para o estudo dos fenômenos elétricos: eles caminharam dos dispositivos detectores, apropriados para medidas qualitativas, para os dispositivos medidores, capazes de fazer medidas quantitativas. Os dispositivos pioneiros foram os eletroscópios de penas ou bolinhas de Hauksbee, Gray e Dufay.

Em 1752, o abade e físico francês Jean-Antoine Nollet [1700-1770], assistente de Dufay, criou o eletrômetro, adicionando uma escala ao eletroscópio de Gray. Mais tarde, o físico italiano Giovanni Battista Beccaria [1716-1781] repetiu o experimento de Franklin com a pipa, conectando ao fio um mecanismo de relojoaria que permitiu registrar graficamente, num papel, a descarga ocorrida na atmosfera. Em 1754, Canton aperfeiçoou o dispositivo de modo a reduzir as perdas nos fios, o que lhe permitiu estudar a indução eletrostática.

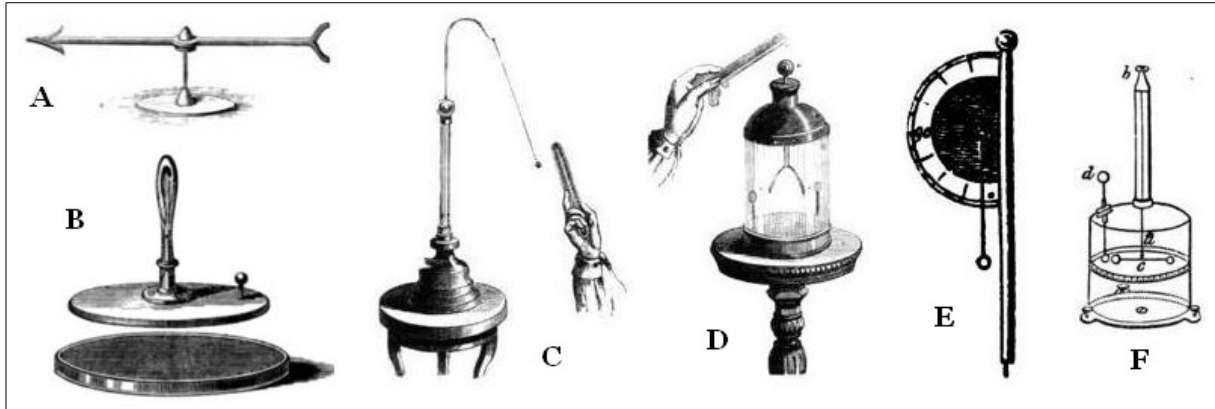


Figura 3 - Instrumentos de detecção e medida da eletricidade.

A - versório. B - eletróforo de Volta. C - eletroscópio de bola. D - eletroscópio de folha de ouro. E - eletrômetro de quadrante. F - eletrômetro de Coulomb (ELETRÓFORO, 2014; ELECTROMETER, 2014; ELECTROSCOPE, 2014).

Também devem ser citados o eletroscópio do físico italiano Tiberius Cavallo [1749-1809], de 1770, que consistia em fios de prata pendurados numa haste, com bolinhas de madeira nas extremidades; o eletrômetro de quadrante, criado em 1772 pelo pesquisador inglês William Henley [?-1779]; a balança de torção, criada em 1784 pelo físico francês Charles-Augustin de Coulomb [1736-1807], que a usou para determinar as leis dos fenômenos elétricos; e o eletroscópio de folhas de ouro. Este último, criado por Bennet em 1787, foi uma evolução do eletroscópio de Cavallo. Era o detector mais sensível da época e deu um impulso decisivo às pesquisas sobre a eletricidade, representando uma evolução em relação ao eletróforo de Volta, que era usado pelos pesquisadores tanto para fins de eletrização, quanto como detector através da medida do tamanho das centelhas geradas em corpos bastante eletrizados. A disponibilidade desses instrumentos numa forma madura, em especial a balança de Coulomb, abriu a fase dos estudos quantitativos da eletricidade (MEDEIROS, 2002). Cabe destacar que os geradores e detectores eletrostáticos foram empregados na construção dos primeiros telégrafos eletrostáticos.

2.1.5 Como as cargas elétricas se relacionam

A lei do inverso do quadrado das distâncias entre as cargas elétricas foi de extrema importância para o começo da quantificação dos fenômenos elétricos e, por conseguinte, o avanço da ciência e tecnologia da eletricidade. A lei foi enunciada tanto para o magnetismo como para as cargas elétricas e por alguns pesquisadores de forma independente, como costuma acontecer na história da ciência. A sua descoberta pareceu justificar uma visão

mecanicista porque seguia o mesmo comportamento da gravitação, enunciado por Newton (MASON, 1962). O físico inglês John Michell [1724-1793], em 1750, em Cambridge, descobriu que a lei do inverso do quadrado da distância seria válida para medir a força magnética resultante entre dois ímãs com a mesma polaridade (MASON, 1962). O químico e físico inglês Henry Cavendish [1731-1810], em 1771, também deduziu essa lei, usando argumentos matemáticos de Newton, pela ausência de carga elétrica dentro de um condutor carregado (PURRINGTON, 1987; SEGRÈ, 1984). Cavendish, uma pessoa excêntrica, não publicou seus resultados, que só foram descobertos na década de 1870, por Maxwell.

O mais importante pesquisador desse assunto foi Coulomb. Com a balança de torção que inventou em 1784, para analisar fenômenos elétricos, conseguiu demonstrar, em 1785, que o comportamento entre as cargas elétricas próximas se dá através da lei do inverso do quadrado da distância entre elas, e de maneira linear e radial através do espaço vazio (PURRINGTON, 1987). O trabalho de Coulomb se inseria dentro de uma tradição de cuidadosas medições adotada pela ciência experimental francesa, extensiva à termodinâmica e à química daquela época, e que posteriormente teve influência nas medidas elétricas.

Com a teoria da eletrostática completa no século XVIII, e com o conhecimento da lei do inverso do quadrado da distância, foi possível uma descrição matemática completa dos fenômenos eletrostáticos inspirados na mecânica newtoniana de ação à distância. Em 1813, o matemático francês Siméon Denis Poisson [1781-1842] estendeu a teoria de potencial no vácuo do confrade Pierre Simon de Laplace [1749-1827], de 1782, para as cargas elétricas.

Com a elaboração desses trabalhos teóricos, pode-se constatar um amadurecimento dos estudos sobre a eletricidade, que começava a ser alcançado através da capacidade de formulação matemática das variáveis envolvidas.

2.2 ELETRICIDADE E MAGNETISMO NO SÉCULO XIX

Alguns marcos são importantes para o exame da eletricidade no século XIX. São eles: a descoberta, em 1786, pelo médico italiano Luigi Aloisio Galvani [1737-1798], da contração dos músculos de rãs quando estimulados por eletricidade estática; a construção da bateria pelo físico italiano Alessandro Volta [1745-1827], em 1800, como uma forma de produzir artificialmente corrente elétrica; a conexão entre a eletricidade e o magnetismo feita pelo físico dinamarquês Hans Christian Oersted [1777-1851], em 1820, e a descoberta da indução magnética pelo físico inglês Michael Faraday em 1831. Serão abordadas nessa seção as descobertas e concepções sobre a eletricidade e como elas evoluíram ao longo do tempo. Será

feita também uma descrição de aparatos que têm relação com a tecnologia empregada na telegrafia. As ideias de campo elétrico e magnético, e de linhas de força, desembocando na ideia de fluxo, em que a quantidade de linhas de força representava a intensidade de campo, propostas por Faraday, merecerão destaque porque elas não só foram revolucionárias em termos teóricos, mas também tiveram uma confirmação inusitada através da tecnologia dos cabos submarinos.

2.2.1 O desenvolvimento das pesquisas no começo do século XIX

A mecânica, primeira parte da Física a se desenvolver como disciplina independente, serviu de modelo para o pensamento científico. Durante algum tempo, houve um desejo e uma ilusão de se reduzir toda a Física à mecânica. O sucesso da Física newtoniana era tal, que as concepções mecanicistas, em relação à manifestação de todos os fenômenos físicos, estiveram em voga nos séculos XVIII e XIX. Entretanto, a eletricidade e o magnetismo, outros dois pilares da Física clássica, mostraram ser irredutíveis à mecânica (SEGRÈ, 1984). A tentativa de explicar o eletromagnetismo através da movimentação de vórtices do filósofo francês René Descartes [1596-1650], ou do éter que teria propriedades especiais, ficaram nos anais da história.

A invenção da pilha de Volta teve um enorme impacto na ciência e na tecnologia do começo do século XIX. Pela primeira vez na história, sendo capaz de gerar uma corrente elétrica intensa (corrente contínua) mantida por um longo período, a pilha de Volta permitiu o desenvolvimento de dois novos ramos de pesquisa, a eletroquímica e o eletromagnetismo, e da tecnologia baseada na eletricidade, que não seriam possíveis usando máquinas eletrostáticas. Em termos científicos, a inovação possibilitou a eletrólise e o isolamento de vários elementos (sódio e potássio, em 1807, e cálcio, estrôncio, bário e magnésio, em 1808) pelo químico inglês Humphry Davy, além das pesquisas que iriam culminar com o entendimento das relações entre a eletricidade e o magnetismo. Em termos tecnológicos, permitiu a criação da lâmpada de arco em 1808, também por Davy; a fusão de metais, em 1809; a construção, na década de 1820, de eletromagnetos, componentes-chave para a implementação da telegrafia, como será visto no capítulo 3; e, na década de 1830, os primeiros motores elétricos (LAIDLER, 1998).

A descoberta da relação entre a eletricidade e o magnetismo, por Oersted, desencadeou um profundo interesse por sua elucidação em vários pesquisadores, com destaque para o físico e matemático francês André-Marie Ampère [1775-1836] e por Faraday.

Portanto, antes de 1850, já era compreendido o fenômeno da indução magnética. No final da década de 1840, descobertas relacionadas à teoria do calor e ao entendimento da conservação de energia influenciaram o desenvolvimento da teoria do eletromagnetismo. Aqui se destacaram os nomes do físico alemão Gustav Kirchoff [1824-1887], do físico inglês James Prescott Joule [1818-1889], e dos físicos William Thomson [1824-1907] e James Clerk Maxwell [1831-1879], ambos irlandeses. É significativo o fato de que tanto Thomson quanto Maxwell se destacaram também em termos teóricos na termodinâmica, sendo que William Thomson e o físico alemão Georg Simon Ohm [1789-1854], que desenvolveu importantes trabalhos sobre a circulação de corrente elétrica, foram profundamente influenciados pelos trabalhos do físico e matemático francês Jean Baptiste Joseph Fourier [1768-1830] quanto à propagação do calor, apresentados na sua obra de 1822, *Théorie analytique de la chaleur*, indicando que a eletricidade foi objeto de pesquisas em vários países europeus.

A contribuição essencial de Ohm foi, em 1827, ter determinado a relação entre a intensidade da corrente elétrica e a resistência elétrica do material condutor. Esse fato permaneceu por mais de uma década desconhecido da área acadêmica, por descaso com Ohm, pelo fato de ele não ser desse meio.

O relacionamento da teoria com a prática, nessa fase, fez com que houvesse o desenvolvimento da instrumentação e a descoberta, por Ohm e Kirchoff, das leis que regem a circulação da corrente nos circuitos elétricos⁵ ao final da década de 1840. Isso tudo fundamentou uma revolução em termos científicos e tecnológicos, culminando com o desenvolvimento da telegrafia eletromagnética, primeira aplicação científica dos conhecimentos despertados pelos pioneiros Oersted e Faraday (BERNAL, 1973). Os trabalhos de Ohm e Kirchoff possibilitaram o entendimento dos circuitos elétricos; as redes de telegrafia podiam ser analisadas como circuitos, e suas partes constituintes, analisadas e especificadas como tal.

2.2.2 O eletromagnetismo: Oersted e Ampère

Até o final do século XVIII, o estudo do magnetismo estava restrito aos ímãs. Benjamin Franklin e outros notaram que a agulha de uma bússola podia ser desmagnetizada

⁵ A **lei de Ohm** é expressa matematicamente por $I = E/R$, onde I é a corrente elétrica; E é a tensão do circuito e R é a resistência elétrica. As **leis de Kirchoff** dizem respeito ao comportamento das correntes e voltagens em um circuito elétrico, o qual é composto por caminhos fechados de circulação de corrente denominados malhas, formadas por ramos. A interligação dos ramos de malhas adjacentes é feita em pontos denominados nós. As leis de Kirchoff estabelecem que a soma algébrica das correntes em um nó é zero, e que a soma algébrica das tensões em uma malha é zero.

ou magnetizada através da aplicação de uma descarga elétrica produzida por uma garrafa de Leyden, sugerindo uma conexão entre a eletricidade e o magnetismo, mas o conhecimento pouco avançou. Essa conexão foi feita de forma inicial pelos trabalhos de Oersted e Faraday, depois completados por um conjunto de renomados cientistas: os físicos franceses André-Marie Ampère, François Arago [1786-1853], Jean-Baptiste Biot [1744-1862] e Félix Savart [1791], o físico americano Joseph Henry [1797-1878] e outros já citados.

Hans Christian Oersted, professor de filosofia natural em Copenhague, foi influenciado pela filosofia de Immanuel Kant [1724-1804] e pela *Naturphilosophie* alemã, para a qual a luz, a eletricidade, o calor e o magnetismo seriam manifestações da mesma força. Essas ideias foram as guias das pesquisas sobre a relação entre a eletricidade e o magnetismo que Oersted realizou desde 1807 (PURRINGTON, 1987).

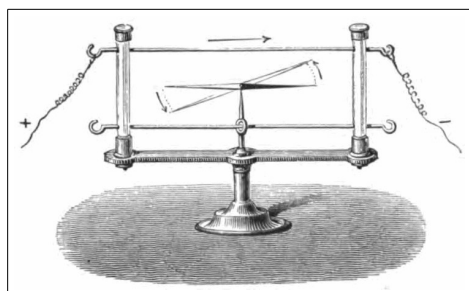


Figura 4 - Experimento de Oersted (DESCHANEL, 1876, p. 656)

No curso de uma experiência realizada em 1819, para a demonstração dos efeitos térmicos de um fio percorrido por uma corrente, Oersted notou que a agulha de uma bússola próxima sofria uma deflexão perpendicular ao fio. Esse experimento pode ser considerado crucial na história da ciência, pois provocou uma cadeia de eventos que teve consequências revolucionárias para a Física, dando à luz o eletromagnetismo. Em 1820, Oersted escreveu um artigo sobre o experimento. Para explicar o fenômeno descoberto, lançou mão de um conceito que denominou "conflito elétrico", que afetava tanto o condutor quanto o espaço em torno dele. A manifestação desse fenômeno, que ocorre de maneira perpendicular, questionava a concepção que vinha desde Newton, que estabelecia a interação de forças no sentido radial, como era o caso da gravitação. O artigo de Oersted desencadeou na Europa uma febre, entre os pesquisadores dos fenômenos elétricos, para reproduzir o experimento. O feito de Oersted foi proporcionar a primeira unificação da Física entre a eletricidade e o magnetismo.

A descoberta de que a força magnética se manifesta de forma circular surpreendeu os experimentadores por toda a Europa. A autoridade do pensamento de Coulomb quanto ao

comportamento das cargas elétricas era tal, que a princípio a descoberta foi vista com descrédito. Entretanto, de posse de células voltaicas e armados com as descobertas de Oersted, os pesquisadores na Europa e nos Estados Unidos exploraram não só as propriedades da eletricidade, mas também as suas relações com outras forças da natureza. Arago, que havia assistido a uma demonstração do físico suíço Auguste de la Rive [1801-1873] em Genebra, repetiu o experimento diante da Academia de Paris, em setembro de 1820, e descobriu o efeito magnético produzido por um disco de cobre. Pouco tempo depois, ainda em 1820, Biot e Savart determinaram, de forma experimental, a lei que rege a força exercida por uma corrente sobre um polo magnético, estabelecendo que a razão variava com o inverso do quadrado da distância, perpendicularmente.

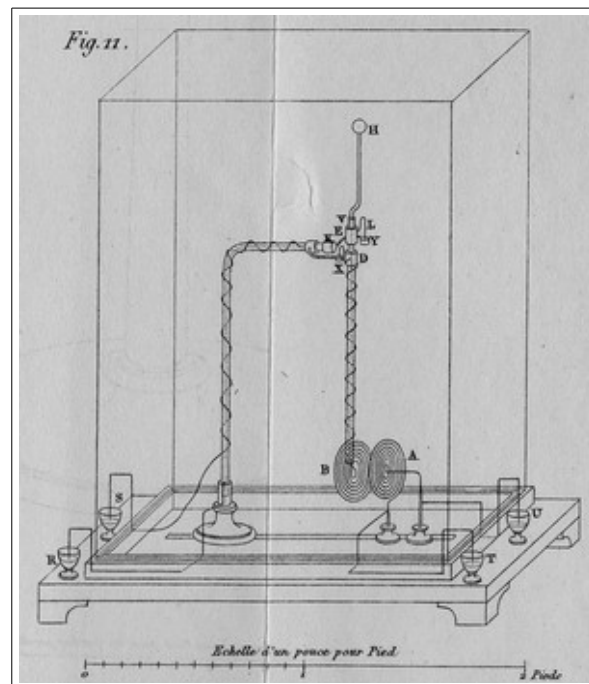


Figura 5 - Experimento de Ampère (AMPÈRE, 1820, Pl. 5, Fig. 11).

Ampère, professor de mecânica na *École Polytechnique* de Paris, também ficou impressionado com a descoberta de Oersted. Chegou a duvidar dela, pois tal fenômeno não parecia estar de acordo com a teoria da ação à distância de Newton, já consolidada, pois a força existente dava a ideia de que era ortogonal à presença dos corpos.

Em 1820, Ampère montou um experimento para estudar a interação entre dois fios paralelos próximos percorridos por corrente, que resgatava a concepção de que as forças atuavam à distância de forma compreensível e acomodando as ideias de Newton. Constatou que a interação era do mesmo tipo encontrado por Oersted, e que dependia do sentido da

corrente em cada um dos fios. Escreveu então um trabalho apresentando a formulação matemática do experimento. Nele desenvolveu matematicamente toda a teoria da eletrodinâmica; também tentou explicar o magnetismo através do movimento de correntes moleculares, e a força que um fio exercia sobre o outro, através de vibrações no éter.

2.2.3 A indução magnética: Faraday e Henry

Faraday foi um dos maiores experimentadores da Física do século XIX. Apesar de não possuir formação matemática, era capaz de teorizar de maneira hábil e profunda sobre a eletricidade. Trabalhando inicialmente como químico, seu interesse por eletricidade e magnetismo foi estimulado por pesquisas em eletroquímica. Quando Humphry Davy soube da descoberta de Oersted, em 1820, começou a trabalhar nelas com Faraday (PURRINGTON, 1987). Em 1821, Faraday, que estava estudando a interação entre as correntes elétricas e os magnetos, comprovou o fato de que uma corrente produzia o efeito mecânico de rotação, descoberto por Oersted. Esse experimento laboratorial, denominado “copos de Faraday”, viria a ser a base dos futuros motores elétricos. Com isso, Faraday verificou experimentalmente a unificação da eletricidade com a mecânica. O reconhecimento da sua importância pode ser constatado no fato de que Faraday foi o único que deu nome a duas unidades de medida, em física e eletroquímica.

Faraday apreciava a abordagem de Ampère sobre a origem do magnetismo, mas era cético quanto às correntes moleculares desse autor, por considerá-las sem base empírica. Entretanto, muito do seu trabalho de unificação da eletricidade com o magnetismo recebeu o suporte da eletrodinâmica de Ampère (PURRINGTON, 1987). É interessante destacar que Faraday rejeitava a teoria atômica e a ação à distância - no caso desta, porque envolveria a propagação em linha reta. Ele tinha a convicção de que a ação da eletricidade se dava através de linhas curvas e de forma contígua, através da polarização das moléculas do meio. Também acreditava na existência das linhas de força no espaço vazio, circundando os materiais, e sustentava que a matéria era onipresente e ocupava todo o espaço, como um éter a preencher todas as lacunas, responsável pela propagação das forças da natureza. Esse éter seria composto por tubos ou linhas de força que uniam as cargas elétricas opostas e também os polos dos ímãs. O campo, para ele, possuía uma realidade que poderia ser constatada pela colocação de limalha de ferro sobre uma superfície na qual houvesse um ímã próximo.

Usando a analogia de que um ímã tem a capacidade de imantar um material metálico próximo e que a eletricidade estática poderia induzir uma carga em um corpo próximo,

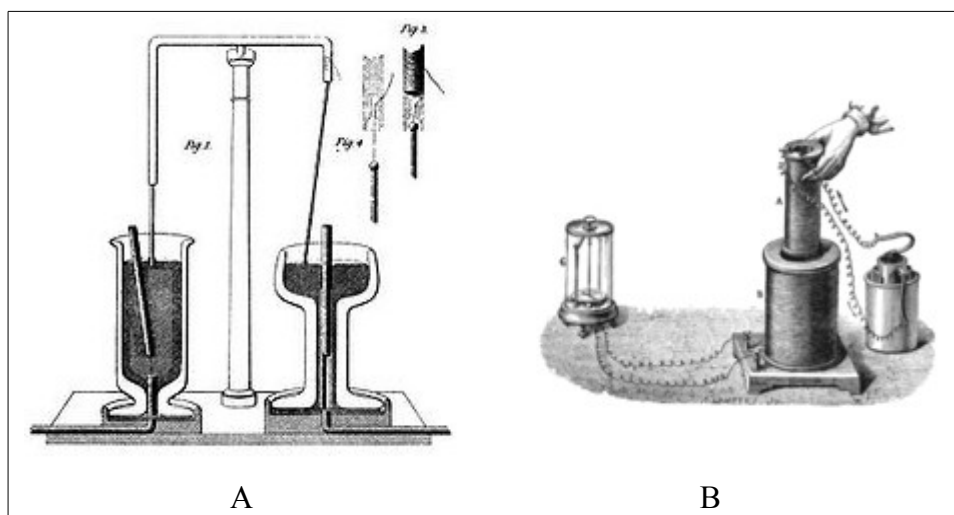
Faraday imaginou que as correntes elétricas poderiam ser induzidas de um corpo a outro. Apesar de ter desenvolvido poucos trabalhos sobre eletromagnetismo até a década de 1830, começou a trabalhar nessa linha de pesquisa desde 1822. Mas somente em 1831 conseguiu realizar experiências que constataram que as variações da tensão, aplicada a um fio enrolado ligado a uma bateria através de um interruptor, poderiam produzir correntes num outro enrolamento próximo. Os resultados dessa descoberta foram lidos perante a *Royal Society* em novembro de 1831 e publicados no seu *Experimental researches in electricity* (FARADAY, 1832). A descoberta da indução magnética por Faraday resultou da sua crença de que uma corrente elétrica poderia causar um campo magnético e, por simetria, um campo magnético poderia fazer circular uma corrente elétrica em um condutor. O edifício matemático que uniu as duas somente mais tarde foi proporcionado por Maxwell, no começo da década de 1860.

As contribuições de Faraday foram tais, que deve ser atribuído a ele o mérito do desenvolvimento de boa parte da eletrotécnica. Sua participação na indústria de cabos submarinos se deu de forma pontual, porém destacada: na década de 1840, opinou sobre as propriedades da guta-percha, e, na década de 1850, foi chamado para emitir a sua opinião científica sobre problemas que ocorreram e confirmaram suas teoria sobre o campo. Por volta de 1850, as linhas de força eram consideradas reais, um fenômeno a ser levado em consideração, e, posteriormente se tornaram a base da teoria eletromagnética.

Outra importante conclusão a que Faraday chegou, no período em que descobriu a indução, foi que todos os tipos de eletricidade, de várias origens (térmica, galvânica e estática), eram uma só. E a mais importante de todas, para fins desta discussão e para o futuro da ideia de campo, foi que a eletricidade não seria uma substância, como até então vinha sendo considerada. Para Faraday, tratava-se de um estado de deformação ou polarização das moléculas do meio (PURRINGTON, 1987). Isso influenciou não somente o estudo da propagação dos campos eletromagnéticos nos condutores, mas também o estudo dos materiais isolantes, também conhecidos como dielétricos.

Em 1837, Faraday descobriu que um condensador, que nada mais é do que um aperfeiçoamento da garrafa de Leyden, constituído por duas placas, era capaz de armazenar cargas elétricas a partir de uma fonte, e que a quantidade de carga armazenada dependia do tipo do isolante utilizado entre as placas. Notou ainda que, quando imerso no vácuo, se a distância entre as placas aumentasse, o condensador armazenaria menos cargas. Nos dois casos, Faraday considerou uma relação entre a capacidade indutora específica do material isolante e as propriedades dielétricas dos materiais. Para explicar o fenômeno, Faraday fez uso

dos conceitos de campo e de linhas de força, que se aglomeravam mais densamente no material isolante do que no vácuo (SEGRÈ, 1984; FARADAY, 1832).



*Figura 6 - Experimentos de Faraday.
A - rotação eletromagnética, 1821. B - indução, 1831 (MICHAEL, 2014).*

Faraday começou a elaborar a sua teoria de campo nas décadas de 1830 e 1840. Esse conceito evoluiu sempre de forma inseparável da concepção de linhas de força. Para Faraday, um campo significava que corpos, separados através do meio, poderiam exercer uma força entre si, dentro da faixa de influência deles. No caso dos campos elétricos, que são gerados por cargas, e dos campos magnéticos, que são gerados através do fluxo de corrente elétrica, uma força será exercida sobre as cargas, no caso do campo elétrico, e sobre a corrente, no caso do campo magnético. O conceito de um campo envolvendo os materiais é uma das ideias mais revolucionárias da ciência. Se hoje é lugar comum na conceituação teórica do eletromagnetismo, na época, no entanto, sua formulação a princípio não foi bem-vinda. Muita elaboração teórica em termos matemáticos teve que ser realizada por expoentes da ciência do século XIX, que fizeram uso de analogias e suposições *ad hoc* para explicar esse novo conceito. A sua plena compreensão só foi possível algumas décadas depois, com o surgimento da tecnologia dos cabos submarinos, que teve que lidar com problemas relacionados com a propagação de campo, como fora previsto por Faraday.

Durante algum tempo, o campo foi um conceito controverso para os físicos e para os engenheiros. A maioria dos físicos desprezava as ideias sobre linhas de força e campos. Consideravam apenas um artifício mental, mesmo porque Faraday não tinha condições de exprimi-las matematicamente. Para os engenheiros, esse conceito era anti-intuitivo. Estavam acostumados a considerar a eletricidade como um fluido, e o novo conceito não os ajudaria a

criar, montar ou consertar dispositivos elétricos. Mas essa situação começou a mudar aos poucos, sobretudo com Thomson e Maxwell. Pela época da morte de Faraday, em 1867, ambos tinham feito avançar enormemente suas ideias conceituais.

Para completar o quadro das descobertas sobre a indução magnética, não poderíamos esquecer o professor e pesquisador norte-americano Joseph Henry, que fez seus principais achados na área simultaneamente a Faraday. Em 1831, de forma aparentemente independente, Henry desenvolveu um eletromagneto com forte poder de atração, que foi aplicado ao que pode ser considerado um telégrafo eletromagnético, e também terminou a instalação de um potente eletromagneto para a Universidade de Yale. No ano seguinte, Henry publicou o artigo *On the production of currents and sparks of electricity and magnetism*, no qual descreveu os resultados dos experimentos em que provou ser possível gerar eletricidade usando o magnetismo, além de relatar sua descoberta da autoindução eletromagnética (SMITHSONIAN, 2014). Em 1835, Henry usou um eletromagneto construído por ele mesmo para demonstrar a operação de um telégrafo primitivo (MOYER, 1997), que será comentado no capítulo 3.

Do que foi visto até aqui, pode-se depreender que a livre circulação de ideias era muito intensa, o que ajudou a difusão e consolidação das ciências e das técnicas, e, em particular, o estudo e a experimentação dos fenômenos elétricos na Europa, comprovando o caráter coletivo e social necessário para o avanço do conhecimento. Nesse ambiente, duas publicações merecem destaque pela longevidade e pela influência que tiveram entre os séculos XVII e XIX: o *Journal des Savants*, na França, e *Philosophical Transactions of the Royal Society*, na Inglaterra, ambas criadas em 1665. Com essas considerações, há que se especular em que medida os pesquisadores, de uma maneira geral, tinham acesso aos trabalhos uns dos outros, de modo a ter uma visão mais aprofundada das descobertas e invenções simultâneas, comuns na ciência e da técnica.

2.2.4 Ciência e engenharia: Thomson

William Thomson (mais conhecido como Lorde Kelvin), olhando-se retrospectivamente, representou a transição da Física clássica para a Física moderna, atuando como físico e como engenheiro. Como físico, Thomson destacou-se na termodinâmica e na eletricidade. Por volta da década de 1840, estava considerando seriamente as analogias entre a eletricidade, o magnetismo, a dinâmica dos fluidos e a elasticidade. Aos 21 anos, começou a

se corresponder com Faraday, e esse contato afetou os dois de modo significativo. Thomson a princípio rejeitou as ideias de Faraday, porém começou a considerá-las com seriedade quando conseguiu abordar a eletrostática matematicamente, em termos de fluxo de calor. Tentando dar forma matemática às ideias de Faraday, Thomson sugeriu-lhe que usasse a analogia entre as linhas de força e a propagação do calor, ajudando-o a conceitualizar a ideia de campo (PURRINGTON, 1987). Para substituir a concepção de Faraday da propagação através da polarização de moléculas contíguas do meio, abandonando assim o conceito de fluido elétrico, Thomson adotou a analogia de um corpo elástico.

Na engenharia, Thomson participou, desde o começo, da indústria de cabos submarinos, onde contribuiu para a resolução de problemas científicos em diversos aspectos do projeto. Criou também instrumentação elétrica e mecânica usada na indústria de cabos, entre os quais se destaca um dispositivo bastante sensível, o galvanômetro óptico, usado para o registro das diminutas correntes elétricas que circulavam por milhares de quilômetros através dos cabos. Também esteve envolvido na construção de outros equipamentos elétricos de registro de sinal, de sondagem do leito oceânico e outros, que serão vistos no capítulo 3.

Duas de suas contribuições científicas mais importantes para a telegrafia ocorreram durante o projeto do primeiro cabo Atlântico. Uma delas dizia respeito ao atraso considerável que um sinal sofria para ser propagado pelo cabo. Thomson fez um estudo usando a analogia entre a propagação do sinal no cabo e a propagação de calor em uma barra metálica. Suas conclusões permitiram elucidar como as variáveis elétricas do cabo (a resistência e a capacitância) influíam na propagação dos sinais elétricos. A outra contribuição foi o estudo que fez sobre a variação da resistência elétrica do cobre empregado nos cabos, obtido de fornecedores diferentes. Pode-se dizer que a instrumentação fabricada por Thomson e a sua abordagem científica dos problemas apresentados pelo cabo Atlântico tiveram um peso significativo na viabilidade do projeto. Seu envolvimento e sua influência na indústria de cabos submarinos era tal, que ele foi apelidado de *Lord Cable* (HUNT, 2004).

2.2.5 A grande síntese: Maxwell e os maxwellianos

James Clerk Maxwell foi professor universitário e físico experimental. Começou a estudar o trabalho de Faraday por influência de Thomson e aprofundou o exame dos campos eletromagnéticos. A primeira obra importante sobre o eletromagnetismo foi o seu trabalho *On physical lines of force*, publicado entre 1861 e 1862. Nele desenvolveu uma teoria mecânica, especulativa, baseada em um sistema de vórtices moleculares, fazendo uma analogia entre o

eletromagnetismo e a hidrodinâmica. Empreendeu a tarefa de calcular a velocidade de propagação das ondas transversas num meio elástico, na presença de tais vórtices; o valor que achou era compatível com a velocidade da luz, apontando para a existência de ondas eletromagnéticas. Em 1864, no artigo *A dynamical theory of the electromagnetic field*, abandonou o modelo mecânico de vórtices, preservando as equações. Nesse artigo, Maxwell afirmou de maneira explícita que eletricidade e magnetismo são partes de um único campo eletromagnético e que estava convencido da existência de um éter que permeia o espaço e é capaz de propagar não somente as forças elétricas e magnéticas, mas também a luz. Com isso, rejeitou a teoria da ação à distância. Sua obra principal, o *Treatise on electricity and magnetism*, apareceu em 1873. Nele, Maxwell elaborou um conjunto de vinte equações⁶ em que procurava fazer a síntese de todo o conhecimento sobre o eletromagnetismo até então, baseando-se nas contribuições de Faraday, Thomson, do matemático britânico George Green [1793-1841] e outros. Identificou a luz como fenômeno eletromagnético, determinando de forma teórica a velocidade desta. Conseguiu assim a unificação da luz com o eletromagnetismo e lançou as bases do que viria ser tornar a abordagem clássica do eletromagnetismo.

A teoria de Maxwell não foi aceita unanimemente, nem mesmo por Thomson, que concordava apenas com algumas das suas ideias, e muito menos pelos *electricians*⁷ - estes, em sua maioria, trabalhando em telegrafia. Ela não era a única explicação existente para a eletrodinâmica, mas disputava espaço com a teoria de ação à distância, defendida pelos físicos franceses e por alguns cientistas alemães, como o físico Wilhelm Weber [1804-1891], para quem a influência entre os corpos era intermediada por um éter. Além de sofrer essas oposições, a teoria de Maxwell não teve uma difusão rápida porque era de difícil compreensão. Por isso, após a morte de Maxwell, um grupo de pesquisadores que se reuniram para estudar a sua obra, os denominados *maxwellianos*, decidiu aprofundar as suas teorias (HUNT, 1991a). Nesse grupo, o núcleo principal era composto pelo engenheiro e matemático inglês Oliver Heaviside [1850-1925]; o físico irlandês George FitzGerald [1851-1901]; os físicos ingleses Oliver Lodge [1851-1940] e John Poynting [1852-1914]; o engenheiro e professor de física inglês Silvanus Thompson [1851-1916]; e o físico alemão Heinrich Hertz [1857-1894].

Heaviside foi um dos que mais se destacaram entre os maxwellianos. Sobrinho do físico e inventor inglês Charles Wheatstone [1802-1875], trabalhou no começo da sua carreira

6 As equações originais de Maxwell e sua formulação moderna estão no Apêndice C.

7 O *electrician*, na época, era o profissional diretamente envolvido nas atividades técnicas da área de eletricidade, o que começou a existir na telegrafia.

como engenheiro no cabo submarino que ligava a Inglaterra à Dinamarca. Heaviside aplicou às equações de Maxwell uma reformulação matemática e, assim, conseguiu diminuir o conjunto para apenas quatro equações que hoje são amplamente conhecidas como "equações de Maxwell" (sem nenhuma referência àquele que ajudou a reformulá-las). Grande matemático, dedicou-se mais tarde à abordagem teórica de problemas relacionados à telegrafia, descobrindo, por exemplo, a importância da indutância para a velocidade de propagação nos cabos submarinos, assunto que tomou como base a teoria de Thomson para a telegrafia. Isso foi decisivo para o entendimento mais apurado das linhas de transmissão, ajudando não só o desenvolvimento da engenharia telegráfica e telefônica, mas também da engenharia elétrica. Outro fato interessante que mostra a importância da divulgação dos trabalhos científicos, foi que Heaviside descobriu, ao mesmo tempo que Poynting, como se dá a direção de propagação da energia de um campo eletromagnético (vetor de Poynting); porém, por não ter lido os veículos de divulgação científica da época, não teve a oportunidade de tomar conhecimento do trabalho de Poynting, num caso parecido com o que ocorreu entre Faraday e Henry sobre a indução.

Com o estudo do *Treatise*, os maxwellianos começaram a perceber que, apesar de ser uma obra brilhante e promissora em termos de ideias, em relação, por exemplo, à velocidade da luz, ela era confusa e continha erros. Além disso, não falava nada sobre como gerar e detectar ondas eletromagnéticas, nem como ocorre a distribuição da energia em um campo eletromagnético (HUNT, 1991a). Contudo foi notável pelo fato de Maxwell perceber uma assimetria nas equações compiladas e acrescentar um termo a uma delas para torná-las simétricas, exatamente o termo que dá origem às ondas eletromagnéticas. Uma descoberta puramente analítica, opondo-se às descobertas empíricas, como se teve ocasião de constatar com Faraday.

Para a propagação das ondas eletromagnéticas, Maxwell só abordou a luz, que se sabia ter uma faixa de comprimentos de ondas muito curtos. A exploração de como as ondas eletromagnéticas poderiam ser geradas e detectadas foi um trabalho de exploração teórica e prática levado a cabo por Hertz, Lodge, FitzGerald e Heaviside. Em 1888, orientado por Herman von Helmholtz [1821-1894], Hertz montou um experimento crucial que conseguiu gerar e detectar ondas eletromagnéticas, confirmando a teoria de Maxwell e inaugurando a era da comunicação à distância, via rádio, que prontamente seria usada na denominada telegrafia sem fio (*wireless telegraphy*).

3 REDES TELEGRÁFICAS

Este capítulo apresenta um panorama das redes telegráficas terrestres, visuais e elétricas, e da telegrafia submarina, assim conceituadas: a telegrafia terrestre é a que usa redes subterrâneas ou aéreas de algum tipo de dispositivo de transmissão de sinais, estendidas ao longo de terrenos sólidos; a submarina é a que utiliza cabos de transmissão de sinais elétricos, estendidos ao longo do leito de mares, rios, lagos e oceanos.

A descrição da telegrafia terrestre é importante porque mostra as características gerais da tecnologia de telegrafia e como ela derivou das pesquisas científicas, demonstrando como se deu o aproveitamento de técnicas e saberes originalmente destinados a outros fins. Também mostra como essas técnicas foram precursoras das da telegrafia submarina. Finalmente, a descrição de como se formaram inicialmente os sistemas telegráficos na Europa, no que diz respeito à sua difusão e organização administrativa, permite entender seu papel na economia e na geopolítica do século XIX.

As pesquisas e invenções que levaram aos primeiros sistemas telegráficos foram realizadas na primeira Revolução Industrial, quando as indústrias começaram a usar, de forma sistemática, os benefícios das descobertas científicas. A Revolução Industrial criou a necessidade de meios de transporte mais rápidos, de modo a diminuir o tempo de circulação das mercadorias, e também de métodos mais rápidos e eficientes de comunicação. Essas duas demandas estão intimamente relacionadas com a implantação e expansão dos primeiros sistemas telegráficos: no segundo caso, diretamente, uma vez que o telégrafo proporcionava a rapidez de comunicação desejada; no primeiro, indiretamente, pela conexão do telégrafo com as ferrovias, criadas para atender à necessidade de rapidez nos transportes, e que usaram o telégrafo para o controle do tráfego, ao mesmo tempo em que permitiram que a telegrafia terrestre se expandisse acompanhando os caminhos dos trilhos.

3.1 TELEGRAFIA VISUAL

Telégrafos visuais foram dispositivos projetados e construídos para a transmissão à distância de mensagens destinadas a ser percebidas através da visão humana. Seus precursores foram os sinalizadores de bandeiras dos navios, nos quais cada sinal transmitia uma mensagem sintética predeterminada. O telégrafo se distinguiu dos sinalizadores porque seus

sinais foram codificados, ou seja, traduzidos em números e letras individuais, permitindo formar palavras e frases (ou seja, "escrever"). Os telégrafos visuais, criados em diversos países europeus no final do século XVIII, eram relativamente simples quanto à tecnologia empregada, embora não necessariamente simples de operar. Suas estruturas eram mecânicas e eles podiam ser observados a olho nu ou com a ajuda de lunetas. Eles dominaram as comunicações até a década de 1840, quando começaram a ser substituídos pelos telégrafos elétricos.

Tanto na Europa como nas Américas, existiram redes de comunicação visual, operadas por meios mecânicos, funcionando em bases nacionais com centenas de estações (BEAUCHAMP, 2001). O seu desenvolvimento na Europa ocidental foi dinamizado pela marinha de guerra inglesa e pelo exército francês, mas também foram usados para comunicação comercial e para avisos sobre o movimento de navios nos portos. A telegrafia visual deixou um legado de gerência administrativa, práticas de operação e rotas aproveitadas pela telegrafia elétrica, que se desenvolveu graças aos avanços científicos e tecnológicos no campo da eletricidade, essenciais para a criação posterior do telégrafo submarino. Esta seção não pretende fazer um levantamento exaustivo dos dispositivos criados, mas falará apenas dos mais relevantes para o presente estudo.

3.1.1 As tecnologias e sua utilização

Os telégrafos visuais foram construídos segundo três modelos gerais: de bandeiras e bolas, de persiana e de ponteiro. Embora baseados em tecnologias diferentes, os métodos e conceitos de organização desenvolvidos durante meio século de uso da telegrafia visual proporcionaram uma base sólida para que os sistemas elétricos fossem implementados rapidamente (BEAUCHAMP, 2001).

Como a proteção das mensagens era questão de segurança nacional, cada país criou seu próprio código de sinais. Se o primeiro foi o do francês Claude Chappe [1763-1805], criado em 1792, o do bispo inglês Lorde George Murray [1761-1803], criado em 1794, foi o primeiro a usar um código binário, o que o diferenciou dos códigos de sinalização naval com bandeiras já existentes, do de Chappe e de outros posteriores, baseados em múltiplas posições e combinações de um conjunto de elementos. Em Portugal, o matemático Francisco António Ciera [1763-1814], organizador e primeiro diretor do Corpo Telegráfico do país, visando simplificar os telégrafos, criou um código de oito sinais (LIMA, 2013) que exigia apenas três elementos visuais, e que foi usado em todos os telégrafos criados por ele.

3.1.1.1 O telégrafo Chappe

Este dispositivo tem dupla importância. Em primeiro lugar, foi o primeiro telégrafo a ser criado e a ser assim chamado (CNRTL, 2014). Em segundo lugar, foi usado para implantar a primeira rede telegráfica de alcance nacional (BASTIAN, 2013; SOLYMAR, 1999).

Claude Chappe desenvolveu um sistema de comunicações à distância entre 1790 e 1792. O projeto final, desenvolvido com a assistência do relojoeiro suíço Abraham-Louis Breguet [1747-1823] (HUUDERMAN, 2003), foi selecionado na concorrência aberta pelo governo francês, que pretendia criar um sistema de comunicações terrestres rápidas e seguras na guerra civil que se seguiu à revolução (APPLEYARD, 1930).

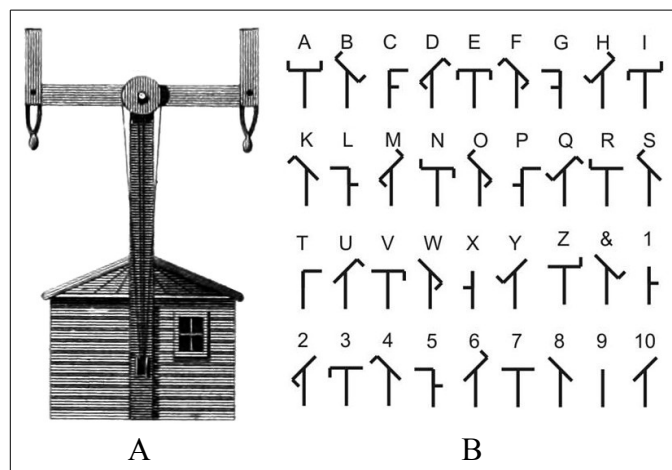


Figura 7 - Telégrafo Chappe.

A - estrutura do telégrafo; B - alfabeto básico (adaptado de REES, 1820, fig. 4).

O telégrafo Chappe foi planejado para ser visível a longa distância. Instalado em lugares altos (morros, fortalezas, castelos), era formado por uma haste horizontal móvel, presa pelo centro no alto de um poste, e tendo um ponteiro móvel em cada extremidade. Um sinal era formado pela combinação das posições da haste e dos ponteiros (BEAUCHAMP, 1999). O telégrafo operou inicialmente com um vocabulário de 196 combinações de sinais, ampliado mais tarde para 8.464, a fim de transmitir palavras e frases.

A expansão da rede se deu atendendo às diferentes necessidades do governo francês ao longo do tempo (BASTIAN, 2013, *Histoire et formation du réseau*). Em 1793, foi instalada uma linha entre Paris e Lille. Pouco tempo depois, a rede ia de Paris a cidades na Alsácia e na Bretanha, ligando Paris aos extremos leste, oeste e norte da França. No período imperial, quando Napoleão invadiu os países vizinhos, a rede se estendeu à Alemanha, à Bélgica, à

sinalização marítima, para dar notícias dos navios que chegavam aos armadores e comerciantes.

3.1.1.2 *Telégrafos de bandeiras e bolas*

No final do século XVIII, a Marinha inglesa adaptou o sistema de sinalização marítima para uso entre a terra e os navios, instalando mastros nos prédios da administração dos portos. Na mesma época, existia em Portugal uma rede de telégrafos - a Linha da Barra do Tejo -, que avisava da passagem de navios. Segundo os relatos, o sistema utilizava dez bandeiras (representando os valores de 0 a 9), um galhardete e uma bola, que eram içados num mastro, sozinhos ou em combinações de dois ou três elementos (LIMA, 2013, p. 10-12).

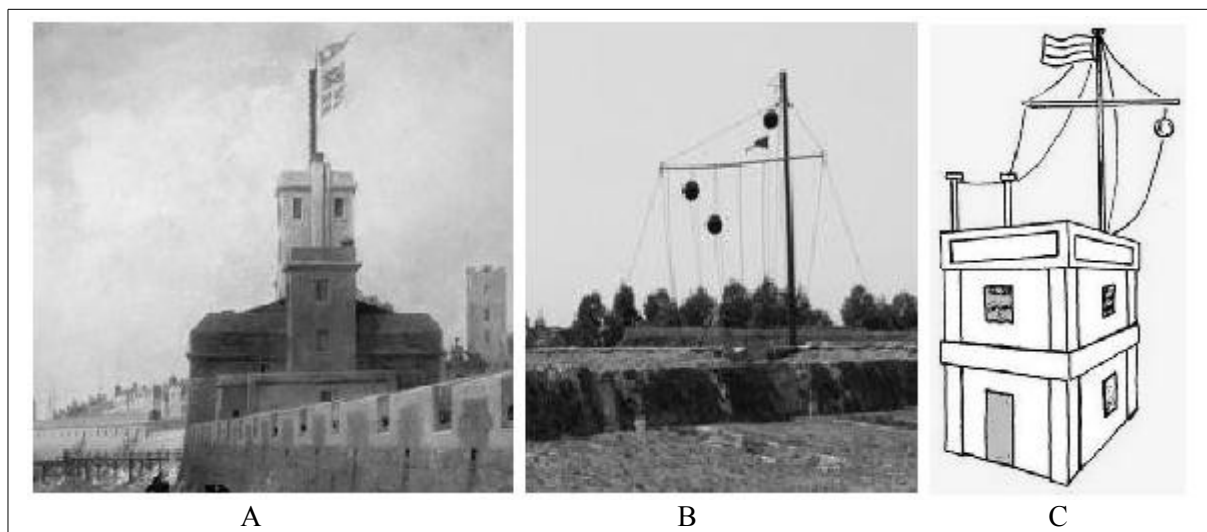


Figura 9 - Telégrafos de bandeira e bola.

A - Semáforo de Portsmouth, na Inglaterra (COOKE, 1836). B - Telégrafo inglês das Linhas de Torres (LUNA; SOUSA; LEAL, 2008, p. 135). C - Telégrafo espanhol de Lerena (FERNANDEZ, 2012).

No início do século XIX, o exército inglês, desembarcado em Portugal para enfrentar os franceses em terras continentais, desenvolveu um telégrafo constituído por cinco cabos com duas bolas presas a cada um, mais duas bandeiras (LIMA, 2013, p. 37-41); os elementos formavam os sinais do código numérico criado pelo almirante inglês Home Riggs Popham [1762-1820]. Esse telégrafo foi instalado na linha de defesa do rio Tejo e ao longo da Espanha, e também foi usado pelos Estados Unidos na guerra da independência. Em 1811, os portugueses expandiram a rede telegráfica inglesa, instalando telégrafos de três bolas criados por Ciera (LUNA; SOUSA; LEAL, 2008). A Espanha teve, entre 1832 a 1838, uma rede de telégrafos criada pelo capitão Juan José Lerena y Barry [1796-1863] compostos de uma bola e

uma bandeira, que formavam quatro sinais (FERNANDEZ, 2013; OLIVÉ, 2013). Essa rede ligava Madri a cidades próximas onde havia residências reais, servindo exclusivamente às necessidades de comunicação da Corte.

3.1.1.3 *Telégrafos de persiana*

O telegrafo de persiana é formado por uma grande armação à qual são presas placas móveis que mudam de posição, formando desenhos correspondentes aos sinais do código adotado. Esse tipo de telégrafo foi usado como dispositivo permanente e visível a longa distância, sendo instalado em pontos elevados (castelos, fortes, morros). Exigia luneta para a leitura dos sinais, pois os postos ficavam bem distantes entre si.

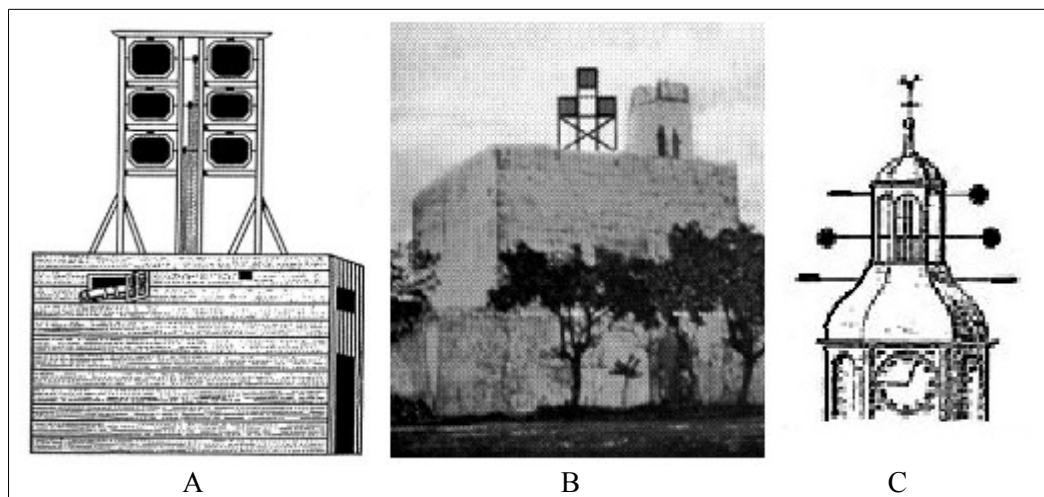


Figura 10 - Telégrafos de persiana.

A - Telégrafo de Murray (BEAUCHAMP, 2001, p. 5). B - Telégrafo de Ciera (CHT, 2013, Linha telegráfica Lisboa-Coimbra). C - Telégrafo holandês de discos (ROYAL, 2013).

O primeiro telégrafo visual inglês, instalado por George Murray em 1794 (OLIVÉ ROIG, 1990), era desse tipo. Tinha três pares de placas, usando um código binário (aberto/ fechado) de seis elementos que gerava 64 combinações representando números, letras etc. A Marinha britânica estendeu uma rede de telégrafos de persiana para a comunicação entre a capital e os principais portos do país (BEAUCHAMP, 1999). Essa rede ajudou a manter o bloqueio atlântico contra a França de Napoleão, sendo desmontada em 1814, após a vitória de Waterloo.

Em Portugal, Francisco Ciera, a partir de 1803, implantou linhas entre Lisboa e pontos chave para a defesa do país, usando um telégrafo de três placas desenvolvido por ele mesmo

(LIMA, 2013, p. 12-15, 18-20). Outros países também implantaram telégrafos de persiana, como a Suécia, com o de Abraham Niclas Edelcrantz [1754-1821], em 1794; a Holanda (em 1830); e a Espanha com o de Joseph Maria Mathé [1800-1875], em 1846, entre Madri e Irún.

Logo após chegar ao Brasil, em 1808, o príncipe regente D. João [1767-1826] mandou instalar um sistema de telégrafos ligando os fortes próximos à Baía de Guanabara (RJ): na ilha de Villegaignon, nos morros do Castelo e da Babilônia, em Itaipu, Cabo Frio e Ponta Negra (MÜLLER, 2013, p. 265-266; LLOYD, 1913). Além desse cinturão de segurança da capital, foram instalados telégrafos em alguns outros portos brasileiros.

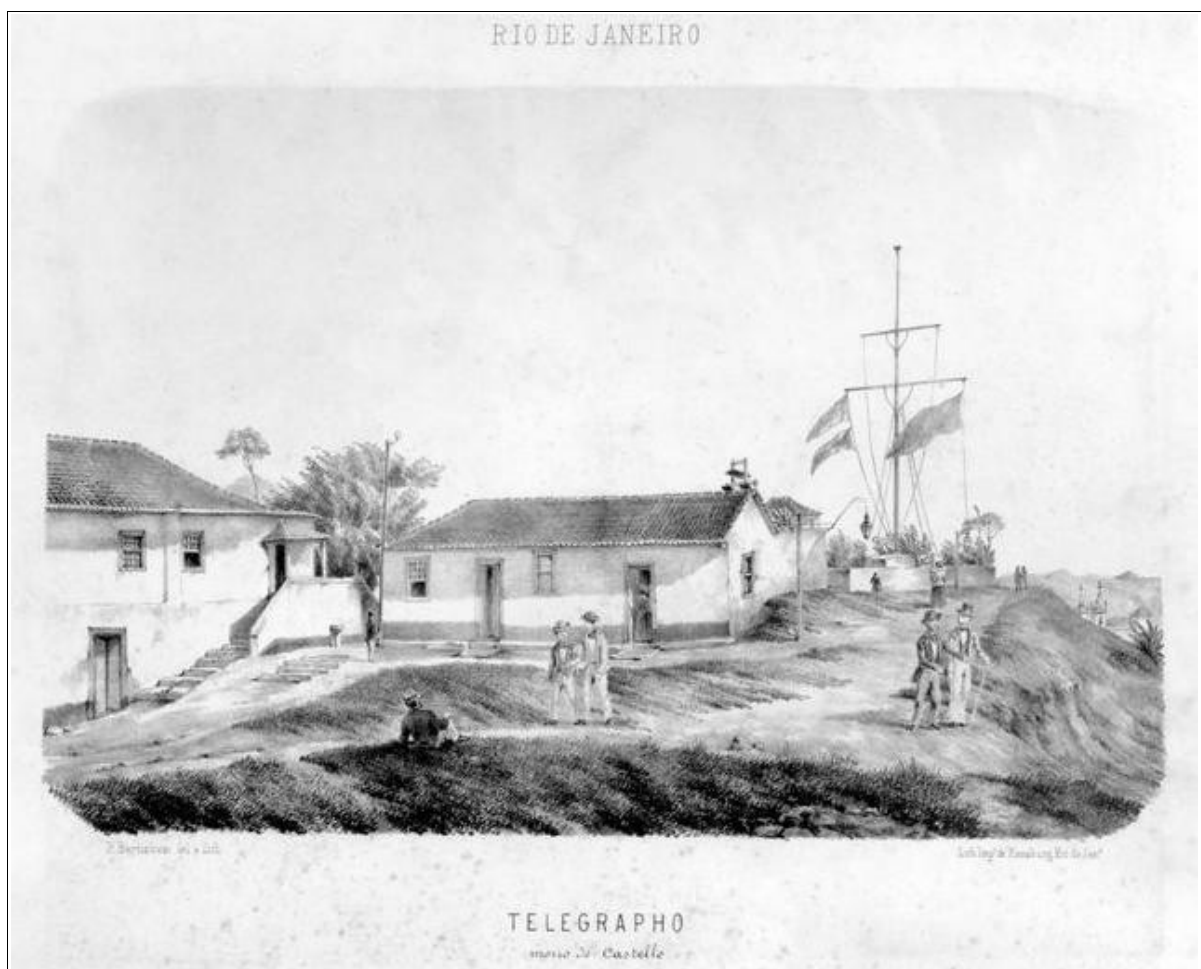


Figura 11 - Telégrafo do Morro do Castelo (BERTICHEN, 2013).

Na litografia do pintor holandês Pieter Godfred Bertichen (2013), podemos ver um telégrafo de persiana acima do telhado da edificação então existente junto ao forte do Morro do Castelo. Embora não tenha sido encontrada até hoje nenhuma descrição desse aparelho, o quadro mostra que era um telégrafo de persiana de Ciera.

3.1.1.4 Telégrafos de ponteiro

Nesse modelo, os sinais eram formados pela posição de hastes móveis presas a um mastro. Foram criados telégrafos com um a seis ponteiros, cuja combinação formava um sinal. Todos usavam código numérico. Esses telégrafos eram mais usados para distâncias curtas, não exigindo luneta para serem vistos. Quando feitos em tamanho pequeno, foram adotados como telégrafos móveis para a guerra, sendo montados em carretas ou tendas de campanha.

A Inglaterra usou dois tipos de telégrafos de ponteiro. Em 1815, a Marinha adotou o modelo de Popham, com dois ponteiros que podiam assumir sete posições⁸ espaçadas de 45°, formando 49 sinais (BEAUCHAMP, 2001, p. 11). O outro, o telégrafo criado pelo tenente Watson e aperfeiçoado pelo general Charles William Pasley [1780-1861], foi erigido em 1827, entre Liverpool e localidades com vista livre do oceano, para informar ao porto a chegada de navios. Tinha três ponteiros que podiam assumir três posições: horizontal, 45° para cima e 45° para baixo.

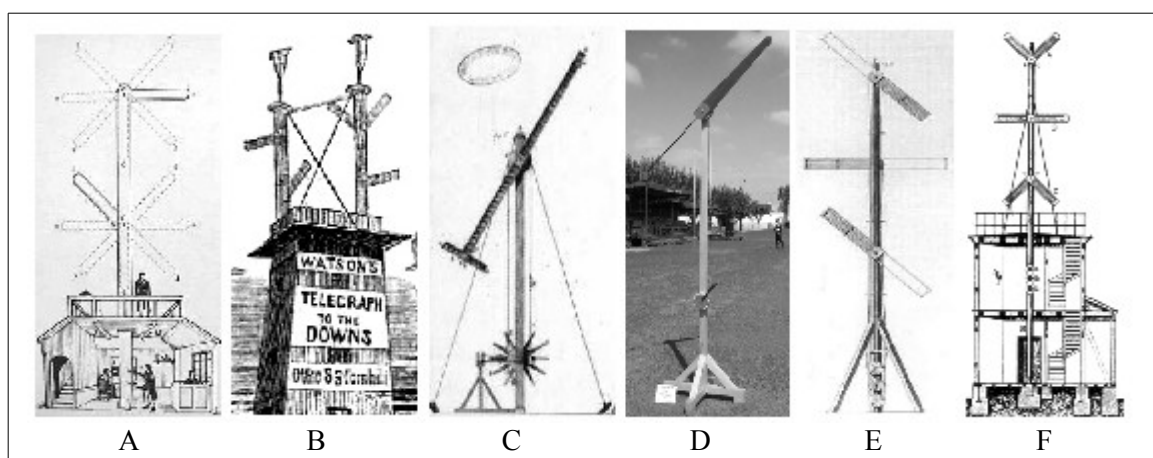


Figura 12 - Telégrafos de ponteiro.

A - Telégrafo de Popham (HUNT, Bob, 2013). B - Telégrafo de Watson/Pasley (ROBERTS, 2014, *Non competitors*). C - Telégrafo de Betancourt (OLIVÉ, 1990, p. 19). D - Telégrafo de Ciera (CHT, 2013). E - Semáforo de Depillon (CABANE, 2007, p. 10). F - Telégrafo alemão (CONSTRUCTION, 2013).

Em 1806, no início das guerras entre o Império de Napoleão e as outras monarquias europeias, a Marinha francesa instalou uma ampla rede costeira de semáforos para vigilância náutica, utilizando telégrafos de ponteiro criados por Charles Depillon [1768-1805]. Esse

⁸ Não era utilizada a posição vertical para cima, que se confundia com o próprio mastro. O ponteiro invisível, assentado sobre o mastro, indicava que o dispositivo estava em repouso. As outras seis posições, com o ponteiro visível formando um ângulo com o mastro, formavam os sinais.

sistema operou até o fim da guerra com a Espanha, em 1823 (CABANE, 2007; LISTE, 2013).

Em Portugal, Francisco Ciera criou um telégrafo pequeno e muito leve, formado por um único ponteiro, preso no alto de um mastro, e que se deslocava em intervalos de 45°, assumindo oito posições transcritas pelo código de Ciera (LIMA, 2013). Esse telégrafo foi usado a partir de 1808, durante a invasão francesa, e, mais tarde, durante a guerra civil portuguesa de 1828 a 1834.

A rede de telegrafia visual espanhola, operante de 1844 a 1857, se baseava no modelo que o oficial Augustín de Betancourt y Mollina [1758-1824] propôs sem sucesso ao governo francês, no fim do século XVIII, por ocasião da concorrência vencida por Chappe (OLIVÉ, 1990). A Alemanha também teve sua rede de telegrafia visual, adotando um modelo com três pares de braços.

3.1.2 O fim dos telégrafos visuais

Criadas principalmente para atender a necessidades militares urgentes, e só depois utilizadas para fins comerciais, as redes de telegrafia visual perderam o interesse quando a motivação da guerra deixou de existir. Outro fator que determinou o fim do sistema visual foi o surgimento de novas tecnologias mais eficientes e versáteis.

Um dos problemas do telégrafo visual era a sua subordinação às condições de visibilidade atmosférica: ele não funcionava com neblina, chuva forte ou neve, nem durante a noite. Outro problema, que cresceu ao longo do tempo, foi a ampliação dos códigos, que tornavam a operação do telégrafo cada vez mais complexa. Um terceiro problema era a grande quantidade de pessoal necessário para operar as redes. Segundo Beauchamp (2001, p. 17), o sistema inglês precisava de pelo menos cinco homens em cada estação: dois para operar os braços do sinalizador, dois para observar as estações adjacentes e um para interpretar os códigos. Com as estações separadas por no máximo 12 km, a rede empregava milhares de trabalhadores.

O telégrafo Chappe exigia menos pessoal (BASTIAN, 2013). No início, cada estação contava com dois telegrafistas: um observava a estação adjacente com a luneta, e o outro manipulava os comandos para enviar as mensagens. Mas rapidamente, por razões financeiras, cada estação passou a ter um único telegrafista, que realizava todas as tarefas. Os telegrafistas trabalhavam 365 dias no ano, do nascer ao pôr do sol, recebendo um salário equivalente ao de um trabalhador braçal. Além dos telegrafistas, que constituíam mais de 90% do pessoal, a rede contava com um inspetor para cada dez estações, encarregado dos reparos no equipamento e

da fiscalização dos telegrafistas; e do pessoal administrativo, que era um pequeno grupo com altos salários, incluindo os administradores regionais e a direção geral do sistema. Ao contrário do sistema inglês, os telegrafistas franceses apenas transmitiam as mensagens, sem entendê-las: a codificação e a decodificação eram feitas exclusivamente pelo diretor na sede da rede, em Paris.

Esse modelo de gestão, associado à forte hierarquização e à disciplina quase militar do sistema, parece refletir a ideia de que a comunicação telegráfica, para a França, era uma questão de segurança nacional. Mas a volta da paz interna, após a revolução de 1830, afastou a necessidade urgente das comunicações estratégicas. Embora o Estado não quisesse privatizar a rede, praticamente não tinha uso para ela, com exceção da transmissão dos resultados da loteria nacional, que ajudava a pagar os custos do sistema. Sem interesse em manter a rede, o governo reduziu a verba a ela destinada e deixou-a ao abandono. Em 1842, o governo contratou Louis-François Breguet [1804-1883], neto do antigo sócio de Chappe, para desenvolver um telégrafo elétrico que substituiria a rede Chappe (HUUDERMAN, 2003). Esta fez suas últimas transmissões em 1854, mais uma vez atendendo a necessidades militares, desta vez na guerra da Crimeia.

Em Portugal, a rede visual nunca foi usada para atender ao grande público, ficando restrita aos interesses governamentais, e começou a ser substituída por telégrafos elétricos a partir de 1855. Na Espanha, o projeto tardio de implantação de uma rede de telegrafia visual foi abortado pela chegada dos dispositivos elétricos (LIMA, 2013). A rede da Marinha britânica funcionou até 1851, e a linha russa entre Moscou e a Crimeia, operou até 1856. A rede brasileira se manteve ativa até 1863. Dessa época até a década de 1880, os telégrafos visuais foram sendo substituídos progressivamente, em todos os países, por equipamentos elétricos (BEAUCHAMP, 2001, p. 18).

3.2 TELEGRAFIA ELÉTRICA TERRESTRE

O assunto desta seção será examinado com algum detalhe em função da sua grande importância para os objetivos do trabalho. Além de realizar avanços no que a telegrafia visual já oferecia em termos de rapidez de comunicações, a telegrafia elétrica terrestre permitiu, por exemplo, o desenvolvimento de certas pesquisas científicas que necessitavam de observações simultâneas em lugares distantes. É o caso das observações astronômicas para a determinação de latitudes, como as realizadas pelo astrônomo inglês George Airy [1801-1892], que

começou a montar uma rede telegráfica, interligando os observatórios na Grã-Bretanha, para tal intento. O telégrafo elétrico também foi bastante usado, na Inglaterra, nos Estados Unidos e na Alemanha, como suporte à navegação, com avisos meteorológicos, e aos serviços de bombeiros, com alertas de incêndio (PRESCOTT, 1860).

A seção está dividida em três partes. A primeira apresenta um rápido panorama dos telégrafos elétricos experimentais. A segunda fala dos telégrafos elétricos comerciais. A terceira parte dá uma rápida visão histórica da implantação das redes terrestres de telegrafia elétrica no mundo.

3.2.1 Telégrafos experimentais

A partir das últimas décadas do século XVIII, houve uma longa linha de pesquisadores que propuseram sistemas de comunicação à distância utilizando os conhecimentos recentemente obtidos sobre a eletricidade. Porém, a grande maioria deles não foi adiante porque, apesar de engenhosos, não eram práticos, sendo que às vezes foram apresentados apenas como curiosidades científicas (FAHIE, 1884). Os poucos projetos implementados nessa fase experimental atendiam a necessidades do governo, geralmente testando conexões rápidas entre unidades e serviços da administração pública.

Para estudar o desenvolvimento da telegrafia elétrica, adotamos o enfoque de Singer (1958, p. 649), que o dividiu em três fases, conforme a tecnologia usada: a dos telégrafos eletrostáticos, entre as décadas de 1770 e 1810; a dos telégrafos eletroquímicos, entre as décadas de 1790 e 1800; e a dos telégrafos eletromagnéticos, entre as décadas de 1820 e 1850.

3.2.1.1 Telégrafos eletrostáticos

Os primeiros experimentos de telegrafia elétrica combinaram os conhecimentos sobre a geração de eletricidade por fricção com a descoberta de que fios de cobre e ferro, desde que devidamente isolados contra o contato com o solo, podiam transmitir eletricidade por longas distâncias (FAHIE, 1884). Georges-Louis Lesage [1724-1803], matemático e físico suíço, criou o primeiro dispositivo deste tipo em 1774. Ele usou 24 bolinhas de madeira, presas a 24 fios conectados a uma máquina geradora de eletricidade por fricção, que ficava em outro cômodo. Antecipando as linhas subterrâneas, Lesage propôs uma instalação para ligar dois edifícios, passando os fios por dentro de tubos de cerâmica que, a intervalos regulares, eram montados em discos separadores de 24 furos (HUUDERMAN, 2003).

O engenheiro espanhol Augustín de Betancourt, após perder para Chappe a concorrência pelo projeto do telégrafo visual francês, voltou para o seu país natal. Em 1787, fez funcionar uma linha telegráfica elétrica experimental entre Madrid e Aranjuez (distantes 42 km uma da outra), respectivamente sede do governo e residência real. No experimento, Betancourt usou eletricidade estática e garrafas de Leyden (HUUDERMAN, 2003).

Em 1795, o cientista espanhol Francisco Salvá y Campillo [1751-1828] testou um telégrafo que utilizava a eletricidade gerada por garrafas de Leyden, cada uma ligada a um fio correspondente a uma letra. Na primeira versão, cada fio era seguro por uma pessoa: quando o emissor enviava uma descarga pelo fio de uma letra, a pessoa que fazia o papel de receptor nesse fio levava um choque. Então, uma outra pessoa anotava a letra correspondente.

O comerciante inglês Francis Ronalds [1788-1873] experimentou, em 1816, um modelo de telégrafo elétrico sofisticado, formado por dois painéis de madeira colocados a uma distância de cerca de 13 km um do outro, e com um fio elétrico suspenso entre eles. Num dos lados, o emissor, ficava uma máquina geradora friccional; no lado receptor foi instalado um par de bolas de madeira, que se separavam quando a linha estava carregada. Os dois lados tinham um mostrador com as letras do alfabeto, que girava de modo a exibir uma letra de cada vez através de um orifício. Os dois mostradores eram controlados por mecanismos de relógio que funcionavam em sincronia (os dois iam exibindo sempre a mesma letra, trocando de letra a intervalos de tempo fixos). Quando o mostrador do lado emissor exibia uma certa letra, o operador provocava uma descarga na linha. O operador do lado receptor percebia o afastamento das bolinhas e anotava a letra exibida no mostrador (BEAUCHAMP, 2001; FAHIE, 1884).

3.2.1.2 Telégrafos eletroquímicos

Esses telégrafos experimentais utilizaram métodos químicos de geração de eletricidade: garrafas de Leyden e pilhas voltaicas.

Em 1800, o químico inglês William Nicholson [1753-1815] e o médico Anthony Carlisle [1768-1840] identificaram a eletrólise, verificando que a água se decompunha em oxigênio e hidrogênio pela ação de uma corrente. A partir do achado, eles fizeram algumas tentativas de usar a eletrólise como meio de transmissão de sinais (HUUDERMAN, 2003).

O sistema de Salvá, descrito na seção anterior, foi modificado entre 1798 e 1804, passando a usar um único fio e uma pilha voltaica, e substituindo o choque pela geração de bolhas nos eletrodos do receptor. Esse sistema foi instalado entre Madrid e Aranjuez,

aparentemente para comunicações da família real, e também entre Barcelona e a cidade próxima de Mataró (HUUDERMAN, 2003; BEAUCHAMP, 2001). Para fazer a instalação da rede externa, cada fio era recoberto individualmente com papel embebido em piche; a seguir, os fios eram reunidos por mais papel e feitos passar por canos recobertos com resina.

O cientista alemão Samuel Thomas von Sömmering [1755-1830] aperfeiçoou o sistema de Salvá, por encomenda do governante da Bavária. O telégrafo por ele desenvolvido tinha 35 fios ligados a um conjunto de letras e algarismos. No lado transmissor, o conjunto era conectado a uma pilha voltaica. No lado receptor, cada fio era ligado a um eletrodo imerso em banho ácido. Quando uma letra era acionada no transmissor, formavam-se bolhas de hidrogênio no eletrodo receptor correspondente à mesma letra. O sistema foi testado em campo em 1811. Utilizando pilhas com mais elementos do que as de Salvá, Sömmering conseguiu transmitir a uma distância de 3,5 km, com os fios, isolados com cera, passando pelo rio Isar (HUUDERMAN, 2003; JONES, 2014).

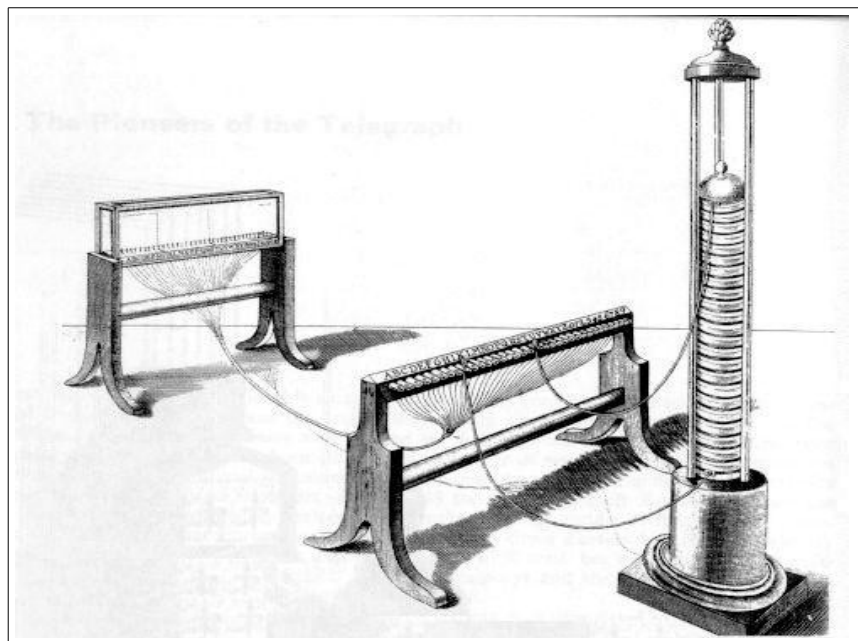


Figura 13 - Telégrafo de Sömmering (JONES, 2014).

3.2.1.3 Telégrafos eletromagnéticos

Já foi visto no capítulo 2 que, em 1819, Oersted estabeleceu os fundamentos da teoria eletromagnética ao descobrir que uma agulha magnética ficava em ângulo reto em relação a um fio conduzindo corrente elétrica. Logo a seguir foram desenvolvidos vários projetos de

telégrafos baseados no novo conceito, projetos esses que sofreram grande estímulo com a invenção, pelo químico e físico alemão Johann Salomo Christoph Schweigger [1779-1857], em 1820, de um sensível detector de corrente elétrica. O dispositivo era uma evolução do experimento de Oersted, denominado multiplicador ou galvanômetro, que obtinha maior sensibilidade ao usar uma bobina com múltiplas voltas de fio (BEAUCHAMP, 2001).

Galvanômetro

Em 1822, pouco depois de Ampère divulgar suas descobertas sobre o eletromagnetismo e a bobina que inventara, Schweigger divulgou um protótipo de galvanômetro formado por uma agulha magnética que girava dentro de uma bobina de múltiplas espiras. Cada volta ampliava a intensidade da força eletromagnética ocasionada por uma pequena corrente que circulava através da bobina, aumentando assim a sensibilidade do dispositivo para detectar a presença dessa mesma corrente. Na mesma época, um estudante alemão, Johann Christian Poggendorf [1796-1877], desenvolveu independentemente um dispositivo semelhante, que ficou conhecido como multiplicador (HUUDERMAN, 2003).

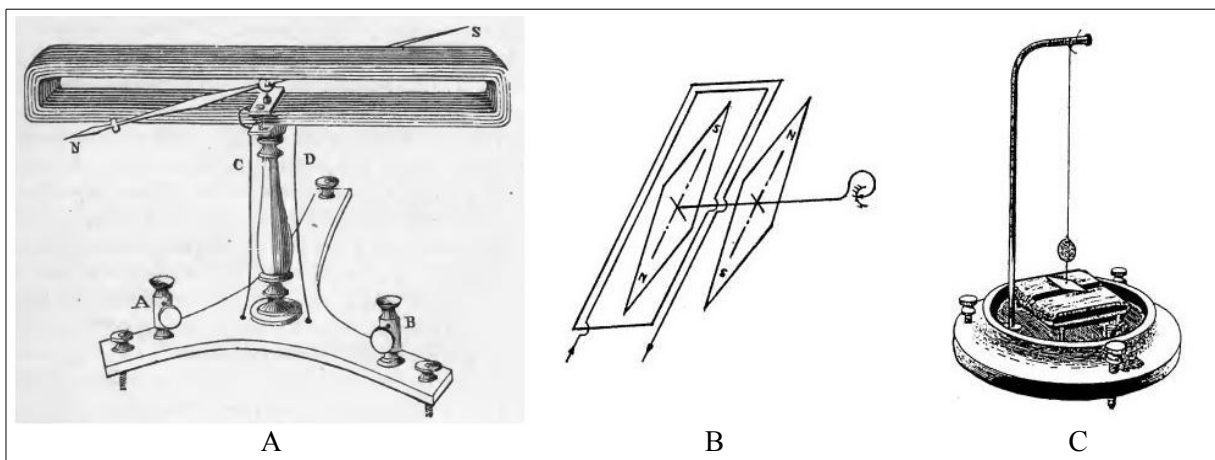


Figura 14 - Galvanômetros.

A – Multiplicador de Schweigger (PRESCOTT, 1860, p.41). B – Princípio de funcionamento do galvanômetro astático. C - Indicador do telégrafo de Schilling (BEAUCHAMP, 2001, p. 27).

Em 1825, o físico italiano Leopoldo Nobili [1784-1835] implementou o galvanômetro astático concebido por Ampère, usando duas agulhas magnéticas montadas no mesmo eixo, porém com polos opostos, a fim de que o medidor ficasse insensível à influência do magnetismo terrestre. Na década de 1830, os desenvolvimentos do galvanômetro estiveram diretamente ligados aos telégrafos elétricos. Em 1830, William Ritchie desenvolveu um aparelho que chamou de galvanômetro de torsão para demonstrar a transmissão de sinais

elétricos à distância (PRESCOTT, 1860).

O fato interessante sobre o galvanômetro, é que ele serviu tanto para a indicação de sinais à distância, usados nos primeiros telégrafos, como também inaugurou a era das medições elétricas, que serão abordadas posteriormente.

Diversos projetos de telégrafos eletromagnéticos ficaram apenas no plano da proposta, não tendo sido postos em prática. Os primeiros, apresentados na década de 1820, foram sugeridos por Ampère em 1820, usando bússolas; pelo engenheiro inglês Peter Barlow [1776-1862] em 1825, usando fios e bússolas; pelo francês Victor Triboaillet Saint-Armand, em 1828, usando eletroscópios; e pelo alemão Gustav Theodor Fechner [1801-1887] em 1829, usando 24 multiplicadores. Todos seguiam aproximadamente a mesma ideia (PRESCOTT, 1860).

Em 1820, Ampère divulgou o primeiro projeto de um telégrafo eletromagnético constituído por pilhas voltaicas e uma agulha magnética para cada letra, sendo acionado por um teclado. Cada agulha era ligada a uma bobina e um par de fios, e o conjunto de cada estação era chaveado para poder atuar como transmissor ou receptor. Apenas em 1830 o professor inglês William Ritchie [1790-1837] construiu um modelo experimental do telégrafo de Ampère.

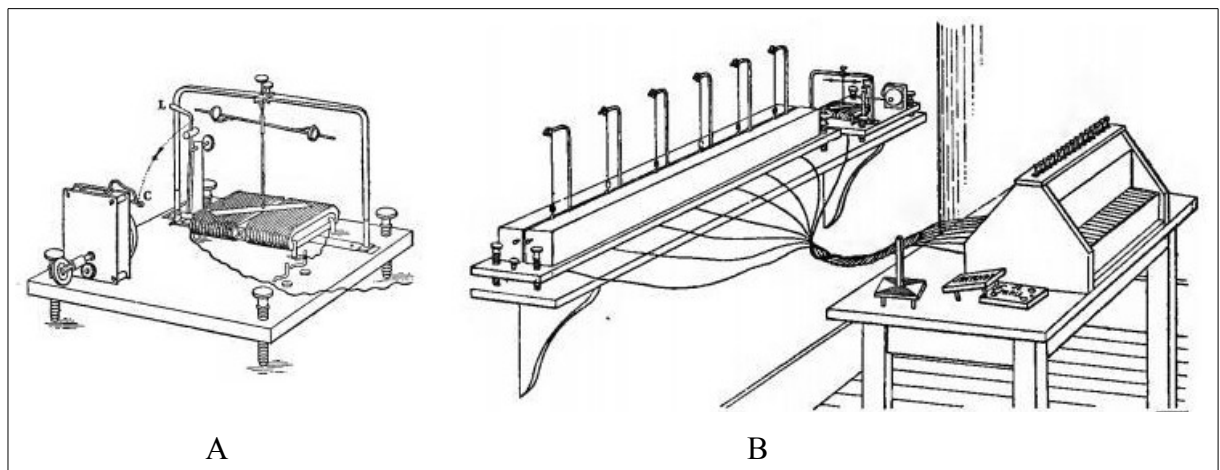


Figura 15 - Telégrafo de Schilling.

A - Dispositivo com haste e campainha, à esquerda. B - Telégrafo de seis agulhas (FAHIE, 1884, p. 312, 314)

O próximo projeto importante foi desenvolvido pelo militar e diplomata russo Pavel Schilling [1786-1837]. Depois de conhecer as experiências de Sömmering com o telégrafo eletroquímico, em 1810, Schilling desenvolveu um projeto de telégrafo eletromagnético de ponteiro, que utilizava um galvanômetro de Schweigger, com uma agulha suspensa por um fio

de seda sobre um enrolamento. Um disco de papel, com metade pintada de branco e a outra metade, de preto, para proporcionar maior contraste visual, era colocado sobre o enrolamento. Quando uma corrente passava pelo instrumento, a agulha deflexionava de forma acentuada. Para garantir que o instrumento ficasse insensível às variações do campo magnético terrestre, Schilling usou um galvanômetro astático. Para evitar movimentos bruscos devido à deflexão das agulhas, usou um pequeno recipiente com mercúrio, onde o conjunto repousava. Para chamar a atenção para a mensagem que chegava, Schilling adicionou um bastão que, quando a agulha era acionada, descia e ativava um mecanismo de campainha, ideia que teria sido aproveitada do telégrafo de Sömmering (FAHIE, 1884). Com essas partes, Schilling montou o protótipo de um telégrafo de seis agulhas, no qual cinco agulhas eram usadas para representar um código e a agulha restante, para soar a campainha. Esse telégrafo teve bastante divulgação em apresentações em universidades da Europa, entre 1832 e 1835. Ele acabou não sendo implementado, porém, vários aspectos dele foram incorporados aos telégrafos comerciais, como será visto posteriormente.

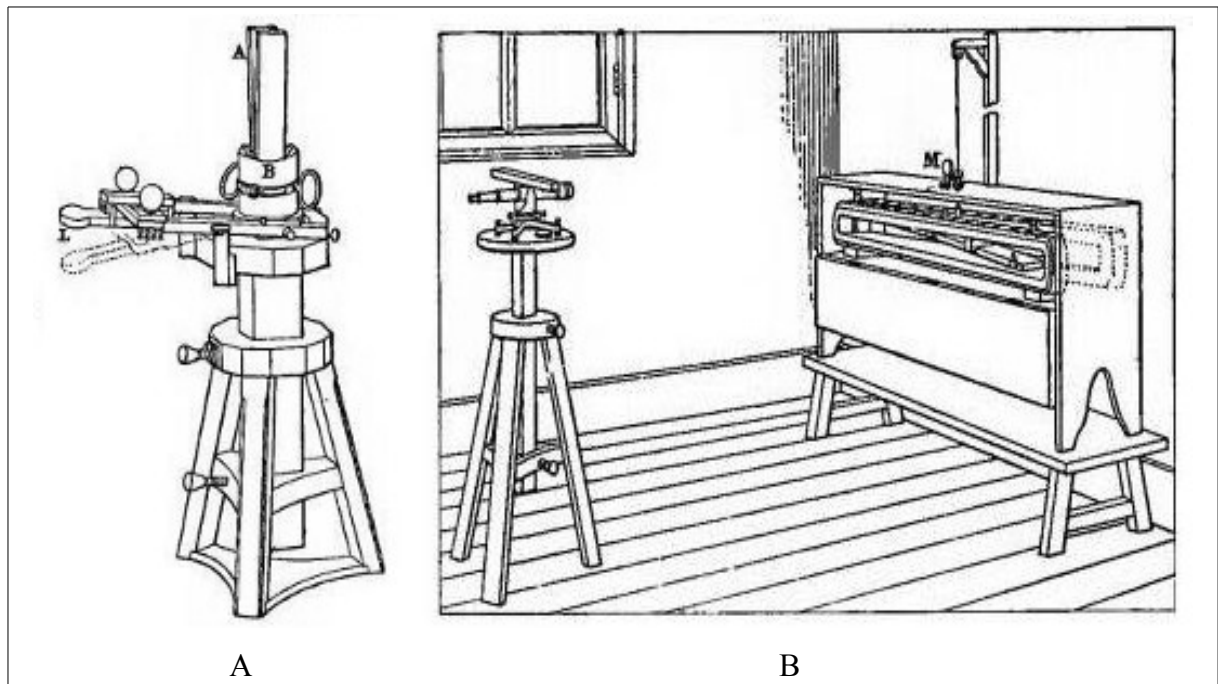


Figura 16 - Telégrafo de Gauss e Weber.

A - Transmissor – correntes eram produzidas com o movimento da alavanca. B – Receptor – as variações do ponteiro do multiplicador são observadas por uma luneta colocada a poucos metros do espelho M (FAHIE, 1884, p. 320).

Em 1833, os físicos alemães Karl Friedrich Gauss [1777-1855] e Wilhelm Eduard Weber [1804-1891], que investigavam as propriedades do magnetismo terrestre, construíram

dois galvanômetros de espelho, onde observavam a deflexão de uma agulha magnética usando uma luneta.

Um galvanômetro estava localizado no observatório astronômico da universidade e o outro, no observatório de Weber, a uma distância aproximada de 2.400 metros. Os fios passavam por cima dos telhados das casas. Em vez de usar bateria, o funcionamento era proporcionado por um gerador eletromagnético, onde um movimento para cima e para baixo, em relação ao núcleo metálico: uma bobina de 7.000 voltas de fio, enroladas em torno de um magneto composto por duas barras, fazia gerar corrente nos dois sentidos (HIGHTON, 1852; FAHIE, 1884). A agulha de cada galvanômetro podia se deslocar para a esquerda ou para a direita, movimentando um pequeno espelho. Uma luneta ficava posicionada a aproximadamente 3 metros, com uma escala graduada acoplada em cima. Uma pequena deflexão da agulha era percebida, através da luneta, através de uma fonte luminosa, o espelho fazia incidir sobre a escala graduada. Cada caractere era formado pela composição de cinco movimentos do ponteiro, à esquerda e à direita, podendo-se enviar letras, números e caracteres especiais. A princípio, Gauss e Weber usaram o dispositivo para sincronizar os relógios astronômicos dos dois observatórios, mas depois perceberam que podiam usá-lo para fins telegráficos.

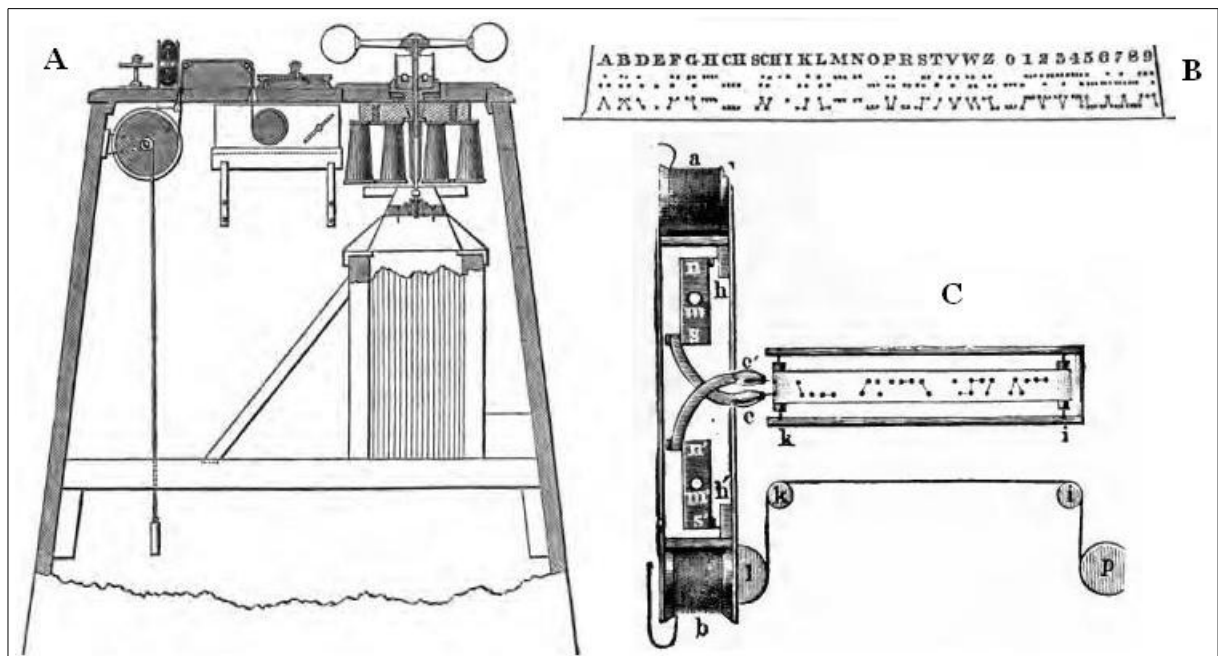


Figura 17 - Telégrafo de Steinheil.

A - transmissor. B - código (HIGHTON, 1852, p. 58). C - receptor (FAHIE, 1884, p. 337).

Em 1836, o físico alemão Karl August Steinheil [1801–1870], tomando como base o

telégrafo de Gauss e Weber, construiu o primeiro telégrafo de registro, com tantas modificações, que pôde ser considerado um novo tipo de telégrafo. O transmissor consistia em um comutador composto por duas bobinas de indução, dispostas sobre um eixo, que giravam próximas a dois magnetos. Dependendo do sentido de rotação, a corrente circulava num sentido ou outro da linha telegráfica.

Na recepção, o pesado quadro de bobina móvel foi substituído por um conjunto de duas agulhas magnéticas com seis centímetros de comprimento e uma espessura de meio centímetro cada. As duas agulhas eram alinhadas de modo que os polos magnéticos fossem dispostos de maneira oposta. Cada agulha tinha uma lingueta que, quando ativada pela passagem de corrente no respectivo magneto, liberava a tinta de um reservatório para ser aplicada numa tira de papel através de um tubo capilar. A tira de papel era movimentada por um mecanismo de relojoaria (FAHIE, 1884). O código desenvolvido por Steinheil, formado por pontos e traços, permitia transmitir letras e números a uma velocidade de 40 sinais por minuto.

Em 1837, Steinheil instalou uma linha de 6 km com dois fios paralelos, mas não conseguiu verba para outras implementações. Então começou a testar a possibilidade de usar os trilhos de uma ferrovia como linhas telegráficas. Em 1838, ao invés de instalar dois fios, um de ida e outro de retorno, instalou um fio único isolado sobre postes de madeira paralelos à ferrovia e usou os trilhos como condutores de retorno. Posteriormente, ao fazer os testes, percebeu que o solo podia ser usado como condutor, pois tinha boa condutividade. (HUUDERMAN, 2013; PRESCOTT, 1888). Esta foi uma das descobertas mais importantes na história da telegrafia em particular, e da eletricidade em geral, porque ajudou a reduzir os custos de instalação dos sistemas telegráficos, favorecendo a sua expansão. Deve-se ter em mente que por essa época, o custo dos fios ainda eram elevados.

3.2.2 Telégrafos comerciais

Na seção anterior foram vistos alguns dos primeiros telégrafos experimentais, importantes para a discussão do presente trabalho. A experiência e certos conceitos de operação neles desenvolvidos foram aproveitados nos telégrafos comerciais.

Nesta seção serão primeiramente descritos os componentes cujo desenvolvimento permitiu a criação dos sistemas comerciais de telegrafia: fontes de energia, dispositivos transmissores e receptores, equipamentos para a montagem das redes externas. A seguir serão discutidos os primeiros sistemas comerciais de telegrafia, que surgiram na Inglaterra, com o

sistema de Wheatstone e William Fothergill Cooke [1806-1879], e nos Estados Unidos, com o sistema desenvolvido por Samuel Finley Breese Morse [1791-1872], aproximadamente na mesma época. Para terminar, falaremos dos códigos criados para esses sistemas e de outras tecnologias paralelas a eles ou que representaram o seu aperfeiçoamento.

3.2.2.1 Componentes

Os telégrafos eletromagnéticos consistem basicamente de uma bateria, um elemento de comutação (chave), fios e um elemento indicador no receptor, que pode ser um galvanômetro, um eletromagneto ou uma fita de papel que registre as informações. Antes de fazer uma abordagem histórica dos dispositivos e sistemas, serão vistos detalhes das suas partes constituintes.

3.2.2.1.1 FONTES DE ENERGIA: A BATERIA

Algumas considerações sobre as baterias devem ser feitas em função da sua importância para os sistemas telegráficos terrestres e submarinos, porque os cuidados com o seu dimensionamento, seu emprego e manutenção, marcaram a maneira como os sistemas telegráficos foram organizados e gerenciados em termos operacionais.

Já foi visto que Alessandro Volta, professor de Filosofia Natural, fez experimentos a partir das descobertas de Galvani sobre fenômenos elétricos nos corpos de animais. Verificando o surgimento de um potencial entre metais diferentes, em 1800 escreveu um artigo sobre um dispositivo, feito com uma pilha de discos de metais como prata e zinco, separados por pano embebido em ácido, de modo que os potenciais gerados se somavam à medida que eram adicionados pares de metais diferentes. A explicação de Volta para o funcionamento da pilha era baseada na suposição da existência de um fluido elétrico, que circulava indefinidamente. (PURRINGTON, 1987; p. 34) e cuja produção era baseada em contatos e soluções. Só posteriormente é que se constatou que a eletricidade é gerada por uma reação química (LAIDLER, 1998).

As baterias (ou células voltaicas, como eram denominadas) eram uma parte fundamental dos telégrafos terrestres e submarinos. Elas eram utilizadas na transmissão do sinal telegráfico, para acionar as campainhas usadas na recepção e na retransmissão dos sinais. Os telegrafistas tinham que dedicar uma atenção especial a elas, quanto à limpeza dos eletrodos e à verificação do nível e da qualidade do eletrólito, sob pena de diminuir a sua

eficiência. Em alguns casos, uma bateria podia fornecer corrente para algumas estações telegráficas. Portanto, as variáveis físico-químicas das células, como a resistência ôhmica interna e a tensão elétrica gerada pelas mesmas, já eram percebidas como capazes de influenciar a capacidade máxima de corrente disponível e, conseqüentemente, o alcance das transmissões. Esse também era um fator que animava a evolução tecnológica.

O valor típico de voltagem empregado em telegrafia girava em torno de 50 a 80 V, obtidos através da associação em série de células individuais. Elas eram acondicionadas em caixas com divisões para as células e mantidas em local seco. Em 1836, o químico inglês John Frederic Daniell [1790-1845] criou uma célula com separação dos eletrodos por um diafragma, que consistia em um recipiente contendo um eletrodo de zinco e ácido sulfúrico, sendo que o recipiente adjacente consumia o hidrogênio formado no primeiro. O dispositivo apresentava um potencial de 1,1 V. As células de Daniell foram amplamente usadas nos primeiros telégrafos (PRESCOTT, 1860). Somente na sede do *General Post Office* de Londres eram empregadas 20.000 dessas células (PREECE; SIVEWRIGHT, 1876).

Os aperfeiçoamentos tecnológicos tiveram um impacto a curto prazo no sistema: as células Daniell foram sendo substituídas pela pilha Leclanché, que tinha um potencial de 1,4 V. Ela foi inventada pelo engenheiro francês George Leclanché [1839-1882] em 1865 e usada, a princípio, nas ferrovias francesas e belgas. As células Leclanché apresentavam uma resistência interna de cerca de um sexto da células Daniell, e a tensão gerada por 25 células Leclanché equivalia a aproximadamente 30 células Daniell (PRESCOTT, 1860; p. 77).

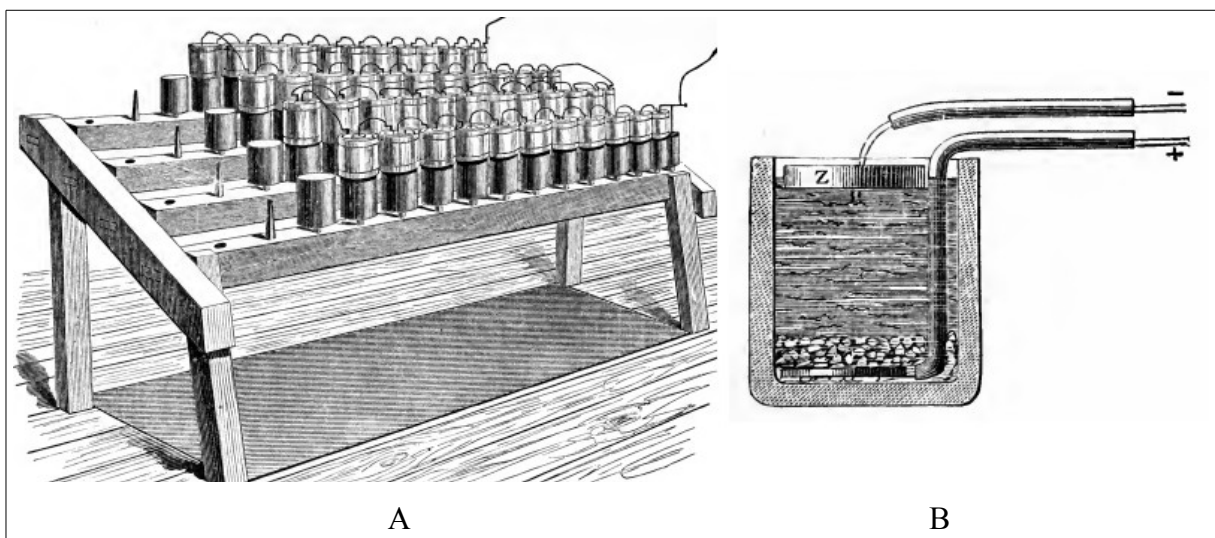


Figura 18 - Baterias.

A - Associação de baterias para uso na telegrafia terrestre (PRESCOTT, 1888, p. 65). B - Célula de Menotti as placas de cima e de baixo são respectivamente de zinco e cobre (PRESCOTT, 1888, p. 68)

A tecnologia das baterias foi sendo desenvolvida a fim de que elas fossem capazes de proporcionar correntes por períodos de tempo cada vez maiores. Alguns dos pesquisadores responsáveis por isso foram o químico alemão Robert Bunsen [1811-1888], o químico francês Henri Becquerel [1852-1908] e o químico Daniell. Com a difusão dos sistemas telegráficos, outras versões de baterias foram desenvolvidas, geralmente por pessoas que trabalhavam em telegrafia. Por exemplo, as células empregadas por Thomson no primeiro cabo atlântico foram desenvolvidas pelo italiano Menotti, e consistiam de placas de zinco e cobre separadas por um eletrólito (PRESCOTT, 1860, 1888).

3.2.2.1.2 DISPOSITIVOS

Manipuladores

Usado no sistema de Morse, o manipulador (*key*) era o dispositivo acionado pelo operador do transmissor telegráfico para gerar os impulsos elétricos que formavam os sinais da mensagem, pelo procedimento de abrir e fechar o circuito alternadamente.

Um manipulador comum era formado por uma alavanca móvel mantida na posição de repouso (com o circuito aberto) por uma mola. Quando o operador pressionava a maçaneta da alavanca, ela se abaixava e encostava num contato, fechando o circuito. Quando o operador soltava a alavanca, ela subia pela pressão da mola e o circuito se abria. O sinal enviado (ponto ou traço) era determinado pelo tempo em que o operador mantinha a alavanca abaixada.

O manipulador foi um grande avanço sobre as técnicas anteriores de operação do transmissor porque, em vez de o telegrafista precisar buscar caracteres num mostrador ou num teclado, ou movimentar ponteiros ou agulhas através de manivelas, bastava ficar com a mão sobre um botão de uma haste, pressionando-o e soltando alternadamente. Isso reduziu os problemas com treinamento de pessoal e aumentou a velocidade de transmissão. Mais tarde, com o avanço da tecnologia, foram adotados dispositivos elétricos para automatizar essa operação, o que aumentou ainda mais a velocidade do envio de mensagens.

Registradores

Como foi visto, a ideia de um dispositivo registrador de sinais em papel já estava presente no telégrafo de Steinheil, de 1836, e foi aproveitada por Morse no projeto do seu sistema. No modelo de Morse, desenvolvido pelo inventor americano Alfred Vail [1807-1859], uma pena com tinta (ou um lápis) ficava presa à armadura de um eletromagneto. Quando chegava um impulso, o conjunto se movia e a pena se movimentava sobre uma tira de

papel que corria abaixo. Terminado o impulso, a pena se afastava do papel. Os ruídos que o eletromagneto fazia ao se mover inspiraram a criação do *sounder*, que será visto adiante.

Mais tarde foram criados outros telégrafos com registradores, como o de House, em 1844, e o de Hughes, em 1855, que eram eletromagnéticos, e também o eletroquímico de Bain, de 1846. Todos usavam um sistema parecido com o de Vail para movimentar a pena (HUUDERMAN, 2003).

Relés e repetidores

A história do relé (eletromagnetos) pode ser traçada desde os primórdios das pesquisas sobre eletromagnetismo. Em 1820, Arago percebeu que uma agulha de aço ficava permanentemente magnetizada se estivesse próxima a um pedaço de fio enrolado e percorrido por uma corrente. Em 1825, o físico inglês William Sturgeon [1783-1850] usando uma barra de ferro doce em forma de ferradura, dentro de um solenoide com fios recobertos por goma-laca, verificou que o magnetismo era intensificado e não era permanente; ele chamou esse dispositivo de eletromagneto. Aprimorando o experimento de Sturgeon, Joseph Henry enrolou os fios de forma contínua, chamando o arranjo de magneto de intensidade (*intensity magnet*). Posteriormente, em outro experimento, dispôs os fios em seções, com os enrolamentos separados e ligados em paralelo, denominando o conjunto de magneto de quantidade (*quantity magnet*). Esse último arranjo era capaz de levantar cargas de 1.300 kg, valor apreciável para a época.

Nas experiências, que publicou em 1831, Henry descobriu que a polaridade de um eletromagneto podia ser revertida pela inversão do sentido da corrente. Essa característica fez com que ele criasse um telégrafo experimental em 1831, com uma extensão de 1,6 km (1 milha), que conseguia ativar uma campainha. (LAIDLER, 1998, p. 135-138).

Uma falha importante dos primeiros projetos de telégrafos era a perda de sinal em linhas longas: o sinal ficava tão fraco, que os dispositivos receptores existentes na época não eram sensíveis a eles. Em 1824, o matemático inglês Peter Barlow [1776-1862] previu a impraticabilidade do telégrafo porque, em seus experimentos, constatou que um sinal enviado ficava muito atenuado após aproximadamente 61 m (200 pés) (Apud FAHIE, 1884, p. 306).

No início da década de 1830, o inglês Wheatstone e o norte-americano Henry apresentaram sugestões para resolver esse problema. A primeira foi proposta por Henry que, desconhecendo os trabalhos de Ohm, conseguiu estabelecer empiricamente a relação entre o comprimento da linha e a resistência do fio, o que lhe permitiu dimensionar adequadamente a bateria e o eletromagneto no lado receptor. Em 1835, Wheatstone propôs que o sinal fosse

retransmitido ao longo do percurso da linha. Isso era feito através da adição, em um ponto entre o transmissor e receptor, de um pequeno eletromagneto sensível, recebendo um sinal de fraca amplitude, ativava um outro circuito alimentado por uma bateria local, repetindo o sinal até ativar o receptor telegráfico (HUUDERMANN, 2003, p. 94). Wheatstone deu a esse dispositivo o nome de *relay*.⁹

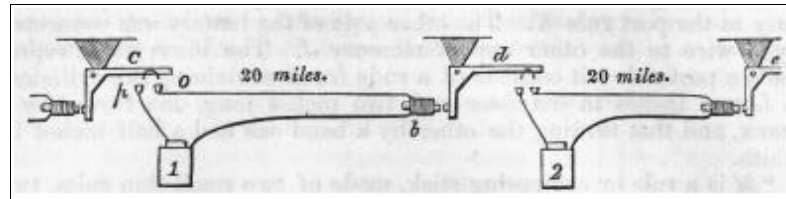


Figura 19 - Circuito repetidor usado por Morse (TURNBULL, 185, p. 64).
1 e 2 - baterias locais; b- relé; c e d -alavancas que, quando atraídas pela armadura do relé, encostam em dois recipientes com mercúrio, fechando contato.

O relé se tornou, para a telegrafia, um dispositivo universal usado para detectar, repetir, regenerar e amplificar os sinais, sendo um apetrecho essencial, pois garantiu a confiabilidade das transmissões telegráficas. No final do século XIX, o relé foi aperfeiçoado por Siemens e outros pesquisadores, passando a ser usado também no chaveamento de circuitos telefônicos (HUUDERMAN, 2003).

Alarmes e sounders

A ideia de usar um sinal sonoro para ajudar na recepção de uma mensagem já estava presente nos telégrafos eletromagnéticos experimentais. Schilling, no início da década de 1830, se baseou nos experimentos de Sömmering (de 1809) para adicionar ao seu telégrafo uma agulha extra que, ao ser ativada, fazia um bastão se mover para tocar uma campainha. O telégrafo de Ronalds, de 1816, e o de Gauss e Weber, de 1834, também utilizavam sinais sonoros de alerta (*alarum*, alarme). A ideia foi aproveitada por Vail para elaborar o primeiro registrador do telégrafo Morse, em 1838 (FAHIE, 1884; PRESCOTT, 1860), que o próprio Vail aperfeiçoou em 1850, criando o *sounder* (telégrafo acústico).

A originalidade da ideia de Vail consistiu em não usar o som apenas para avisar da chegada do impulso, mas transformá-lo numa linguagem inteligível pelo operador da estação telegráfica. Ele teve essa ideia a partir da constatação de que, no cotidiano dos serviços, os

⁹ O termo *relay* significa originalmente o uso de equipes de revezamento: nas caçadas, grupos de cães ou cavalos; nas corridas, atletas; nas viagens, cavalos de trela. Na literatura técnica, o eletromagneto ou chave magnética é denominado, em português, de relê ou relé.

operadores tinham se acostumado a identificar os sinais pelos estalos do receptor, o que lhes permitia agilizar o registro das mensagens. O *souder* de Vail era constituído por um eletromagneto que atraía e liberava uma armadura móvel que produzia um "clic" no início e no fim do movimento (ou seja, no início e no fim do impulso). Isso informava, de modo simples, não só a ocorrência, mas também a duração do sinal, o que permitia traduzi-lo em um ponto, se fosse de curta duração, ou uma linha, se fosse longo (CALVERT, 2014). O grande aumento da velocidade de operação do telégrafo, causado pela recepção "de ouvido", foi um dos grandes argumentos para a disseminação do sistema Morse.

3.2.2.1.3 REDE EXTERNA

A telegrafia terrestre abarcava linhas aéreas e subterrâneas. As linhas aéreas eram compostas basicamente por postes, condutores e isoladores. Nas linhas subterrâneas, eram usados basicamente, canos e canaletas para a passagem de condutores isolados.

Os problemas que a telegrafia terrestre teve de superar serviram de valiosa experiência que foi aproveitada na posterior tecnologia telegráfica usando cabos submarinos. Certos problemas elétricos começaram a ser percebidos aqui, como o efeito das características dos materiais dos condutores na sua condutividade elétrica e robustez mecânica, questões sobre a eletrização das linhas para o funcionamento eficaz dos circuitos elétricos. Em termos mecânicos e químicos, podem ser citados também problemas relacionados aos materiais empregados nos isoladores e ao tratamento da madeira empregada nos postes das linhas aéreas.

Rede aérea: postes

Postes para a instalação de rede aérea foram usados nos primeiros telégrafos na Alemanha: Steinhel usou postes de 40 a 50 pés de altura (12 a 15 metros) espaçados de 600 a 800 pés (180 a 244 metros). Cooke e Wheatstone, em 1842, e as primeiras linhas nos Estados Unidos, em 1845, também adotaram o uso de postes.

A instalação das redes aéreas envolveu dois problemas: o tipo de poste e o modo de ligar os fios aos postes. Geralmente eram empregados, nos Estados Unidos, em torno de 30 postes por milha (1,6 km). Em geral eram usados postes de madeira que, tratados corretamente, podiam durar cerca de 20 anos. Eram impregnados com sulfato de cobre, cloreto de zinco, creosoto ou alcatrão (PRESCOTT, 1888). Em regiões onde a madeira era um material inadequado ou não disponível, usavam-se postes de ferro, com duração de 50 anos.

Quanto ao modo de prender os fios nos postes, uma primeira solução foi passá-los por um orifício feito no topo do poste, revestido internamente com material isolante. Depois foram criados os isoladores, que eram uma solução bem melhor (HUUDERMANN, 2003).

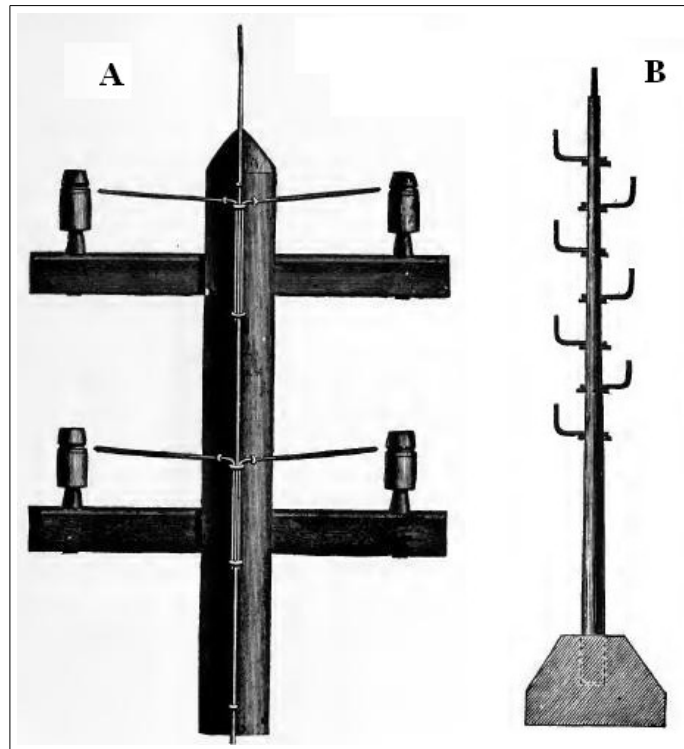


Figura 20 - Postes.

A - poste de madeira com isoladores e para-raios. B - poste de ferro usado na Europa continental (PRESCOTT, 1888, p. 297, 320)

Rede aérea: isoladores

O isolador é uma peça de material isolante, borracha ou guta-percha (outro tipo de látex), presa ao poste, com um formato que permita fixar o fio, mantendo sua posição ao longo da linha. Seu uso era necessário para evitar fuga do sinal e consequente falha de informações que poderiam causar perdas monetárias nos negócios tratados por telégrafo. Por isso, o aprimoramento dos isoladores foi uma grande preocupação. Os fabricantes de materiais para telegrafia desenvolveram um grande número de modelos de isoladores, feitos de porcelana, vidro, ebonite etc.

A experiência com os diferentes materiais e modelos deu aos técnicos alguns princípios a seguir na escolha dos isoladores. Foi visto que o isolador de vidro ficava mais resistente se fosse protegido por uma cobertura: foi testado o ferro, mas o vidro também se partia ali dentro e ainda o isolador era atingido por raios. A cobertura de madeira era melhor, mas tinha o defeito de ser muito porosa e absorver umidade, ficando encharcada com poucas

horas de chuva; e se o verniz interno da madeira se partisse, a umidade atingia o fio. Uma objeção semelhante era feita aos isoladores de resina (como a guta-percha), que poderiam se fissurar e partir com a decomposição natural do material, deixando o fio encostar nos pinos metálicos de fixação do isolador no poste. O isolador de sílex se mostrou o melhor nos testes: era resistente, impermeável e barato. Entretanto, o isolador de resina era muito usado na Grã-Bretanha, enquanto o vidro era preferido na França, na Alemanha e nos países da América do Norte e do Sul. Já a ebonite foi usada para revestir isoladores de ferro (PRESCOTT, 1860).

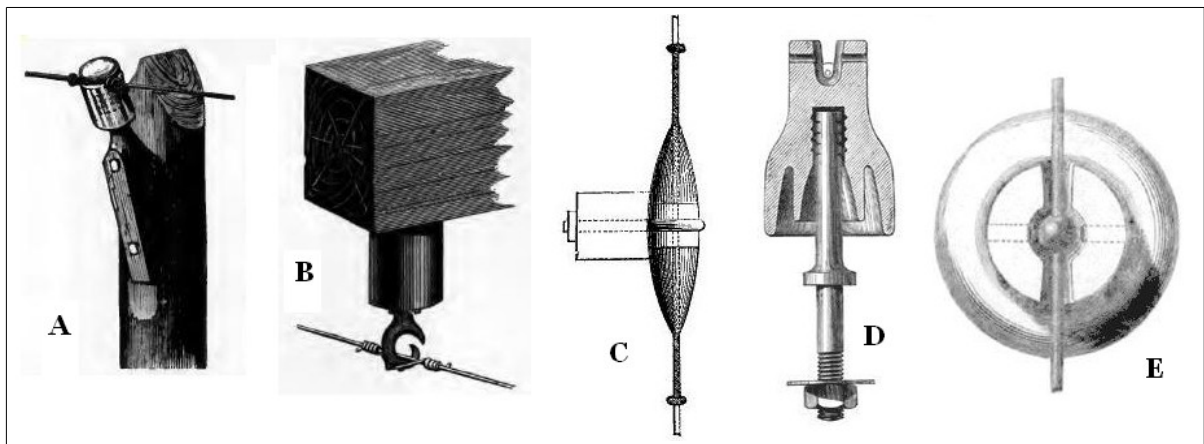


Figura 21 - Isoladores.

A - isolador em sino de cerâmica. B - gancho de ferro com borracha (PRESCOTT, 1888, p. 298, 302). C - fita de seda com guta-percha (ROBERTS, 2014, Instrument gallery). D - isolador em sino de Guilherme Capanema: corte lateral. E - o mesmo, visto de cima (SIEMENS BROS., 1882).

O engenheiro e professor de Física brasileiro Guilherme Capanema [1824-1908], encarregado de instalar as primeiras linhas telegráficas brasileiras, patenteou na Inglaterra um isolador simples e barato, com baixo risco de fraturas e de contato do fio com os materiais de sustentação. Para isso, projetou uma peça em forma de sino, que deveria ser feita em vidro, cerâmica, porcelana ou ebonite, sendo fixada ao braço do poste por uma haste inferior e tendo no alto uma canaleta para receber o fio, que assim não tocava as partes metálicas (SIEMENS BROS., 1882).

Rede aérea: condutores

O fio de cobre foi o primeiro utilizado nas linhas telegráficas aéreas, pois já vinha sendo usado nas subterrâneas. O cobre foi escolhido por causa da sua baixa resistência elétrica, que reduzia o problema da perda de sinal em linhas longas; mas esses fios apresentavam alguns problemas. Como o cobre era valioso, os cabos eram frequentemente

roubados. Além disso, como não tinham uma resistência mecânica muito grande, os fios eram danificados por tempestades. Então, esses condutores foram substituídos por fios de ferro galvanizado ou recoberto com zinco (PRESCOTT, 1888).

Rede subterrânea

A experiência adquirida com a construção das linhas subterrâneas foi de fundamental importância para o desenvolvimento da telegrafia submarina, em grande parte tornada possível devido ao domínio das propriedades e das técnicas de revestimento dos condutores.

Os primeiros condutores subterrâneos eram fios de cobre revestidos com cera, pano emborrachado ou borracha, e embutidos em madeira ou enterrados em valas. Mas esse isolamento se deteriorava rapidamente em contato com o solo. A primeira solução para o isolamento efetivo dos cabos deveu-se ao inventor e industrial alemão Werner Siemens [1816-1892]. Analisando amostras de guta-percha mandadas da Inglaterra pelo irmão Charles William (Carl Wilhelm) Siemens [1823-1883], Werner Siemens percebeu o potencial do material e começou a usá-lo como revestimento em cabos subterrâneos. Inicialmente, os cabos eram cobertos com tiras de guta-percha, mas a umidade conseguia penetrar nas frestas. Então, em 1847, Siemens criou uma máquina de revestimento de fios (BRIGHT, 1898). Parecia uma máquina de fazer macarrão, mais ou menos como são as máquinas modernas de fazer cabos isolados: a guta-percha, disposta em um reservatório, era prensada contra o fio que se movimentava. O fato de produzir seus próprios fios revestidos permitiu a Siemens, através da empresa *Siemens & Halske*, obter contratos para a instalação de redes telegráficas em toda a Alemanha. Pouco tempo depois, um sistema semelhante foi criado na Inglaterra.

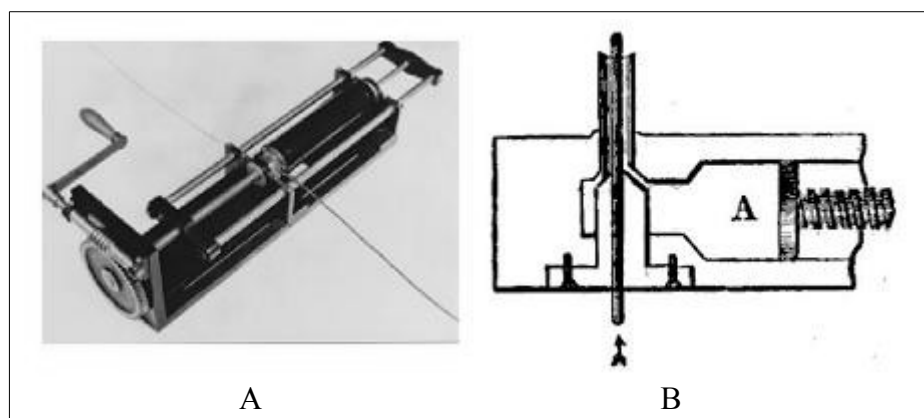


Figura 22 - Máquina de revestimento de condutores com guta-percha de Siemens.
 A - Máquina de revestimento contínuo de 1847 (SIEMENS, 2008, p. 89). B - Detalhe do reservatório (A) da máquina de revestimento (BLAVIER, 1857, v. 1, p. 286).

As primeiras linhas subterrâneas, na Alemanha e na Inglaterra, duraram pouco devido à deterioração do revestimento. Na Alemanha, o revestimento dos fios, como já visto, foi de guta-percha, usando a técnica criada por Siemens. Na linha experimental ligando Berlim a Groosbere, os fios eram assentados seguindo as ferrovias, em valas, a uma profundidade de aproximadamente 45 cm (1,5 pés), sem proteção. Siemens propôs que fossem usados tubos de ferro assentados em canaletas de barro, mas, devido ao custo, isso não foi feito. As primeiras linhas revestidas somente com guta-percha, sem proteção ou usando chumbo como proteção, eram atacadas pelos ratos. Segundo Johann Georg Halske [1814-1890], fabricante de instrumentos de precisão e sócio de Siemens, os ratos demonstraram gostar até mais do chumbo que da guta-percha e, na linha ao longo da ferrovia de Hamburgo, em oito dias roeram quase 20 cm de fio (SIEMENS, 2008).

Outra causa de deterioração residia no processo inglês de vulcanização, que usava enxofre misturado à guta-percha, para reforçar mecanicamente o revestimento. O enxofre, misturado com o cobre e a guta-percha, se tornava condutor com o tempo, proporcionando a fuga do sinal (SIEMENS, 2008).

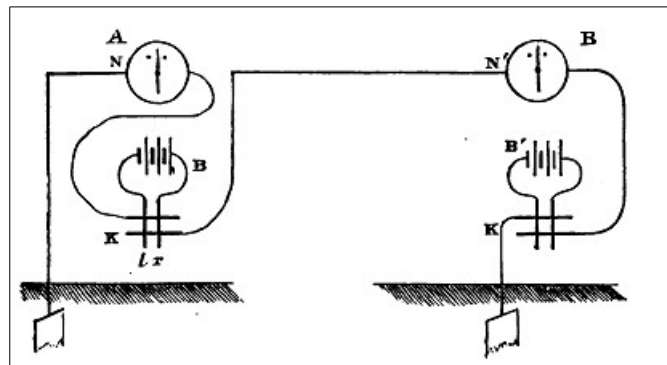
Outro problema foi identificado por Siemens, em 1847, nas linhas subterrâneas. Ele constatou, em testes de fábrica usando o galvanômetro, que mesmo após a retirada da bateria do cabo, uma corrente fluía por um breve período de tempo. Associou o fenômeno à eletrização ou carga eletrostática do cabo. Considerando que o cabo era constituído por um condutor interno, coberto com uma camada isolante de guta-percha e rodeado pelo material do solo, que é bom condutor, Siemens considerou que o conjunto agia como uma enorme garrafa de Leyden. Em 1850, publicou nos *Anais de Física e de Química*, editados pelo físico Johann Poggendorf, um artigo sobre o assunto que foi pouco notado (SIEMENS, 2008; SIEMENS, 1892). Mas esse fenômeno de eletrização do cabo, identificado por Siemens, como será visto, foi o problema elétrico fundamental que teve de ser resolvido nos primeiros cabos submarinos.

3.2.2.2 Telégrafos comerciais ingleses: Wheatstone e Cooke

Os primeiros telégrafos eletromagnéticos comerciais apareceram no mesmo momento em que pesquisadores de vários países estavam trabalhando em projetos experimentais. Nos séculos anteriores, quando o saber sobre o mundo físico era domínio dos filósofos naturais, os experimentos se desenvolviam mais como especulações, curiosidades sobre a natureza. Agora, cada vez mais rapidamente se configurava um quadro em que a pesquisa e a experimentação

dos físicos e matemáticos se originavam da pressão de uma demanda por aperfeiçoamento dos recursos necessários para o funcionamento da economia e da administração pública.

Em 1836, o governo inglês estava interessado em adquirir o projeto do telégrafo de Schilling. Nesse mesmo ano, o ex-militar inglês William Cooke, numa viagem de estudo à Alemanha, construiu uma cópia desse telégrafo e o levou para a Inglaterra, com a intenção de implantar um sistema telegráfico para a rede ferroviária do país. Encontrando dificuldades práticas para implementar o projeto, Cooke buscou a ajuda do físico Charles Wheatstone. Ambos criaram uma versão aperfeiçoada do projeto de Schilling, cuja patente foi solicitada em junho de 1837 (HUUDERMAN, 2003).



*Figura 23 - Diagrama elétrico do telégrafo de uma agulha de Wheatstone e Cooke
K e K' – chaves comutadoras duplas. N e N' - galvanômetros (PREECE; SIVERIGHT, 1876, p. 99).*

O telégrafo era composto por um conjunto de cinco agulhas magnetizáveis do tipo astático, disposto num painel onde era desenhado um conjunto de letras. Pequenas chaves, ativadas pelo operador, faziam passar corrente por duas das cinco bobinas que convergiam obliquamente, ambas para cima, ou para baixo, apontando para um determinado caractere, conforme a figura 28.

A mesma informação era visualizada em um painel idêntico no aparelho da extremidade receptora, e uma alavanca era usada para ativar a campainha no receptor. O sistema ficou limitado a vinte combinações, não sendo usadas as letras "c", "j", "q", "u", "x" e "z". O movimento das agulhas era proporcionado pela aplicação do polo positivo ou negativo da bateria através das alavancas comutadoras.

A patente também incluía a instalação de uma linha telegráfica subterrânea, feita com fios de cobre revestidos individualmente com algodão impermeabilizado com borracha. Na primeira versão, os fios revestidos eram encravados em sulcos feitos em vigas de madeira. Os sulcos eram cobertos por tiras de madeira e as vigas, revestidas com piche, eram enterradas

próximas aos trilhos. Como essa instalação se mostrou sensível a danos, a instalação da primeira linha definitiva foi feita com os fios de cobre isolados da mesma forma, mas passados dentro de um cano de ferro (FLETWOOD, 2013; ROBERTS, 2014).

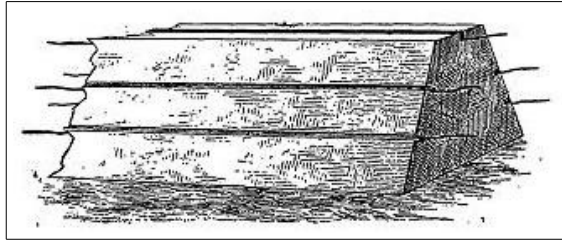


Figura 24 - Arranjo dos condutores da primeira linha telegráfica elétrica inglesa (FLETWOOD, 2013)

Esse sistema, embora sofisticado, era caro e pouco confiável. Então, Wheatstone e Cooke trabalharam rapidamente numa simplificação do projeto: desenvolveram um telégrafo de uma agulha, no qual a chave foi substituída por uma manivela. O dispositivo tinha as vantagens da facilidade de uso e da robustez (a linha operava das oito horas da manhã às dez da noite, diariamente). Suas desvantagens eram a transmissão lenta e a necessidade de usar um código de quatro unidades, no qual o número e a direção da agulha eram usados para codificar o alfabeto. Esse aparelho foi instalado com a rede subterrânea de fios de cobre passando dentro de canos de ferro (HUUDERMAN, 2003; ROBERTS, 2014).

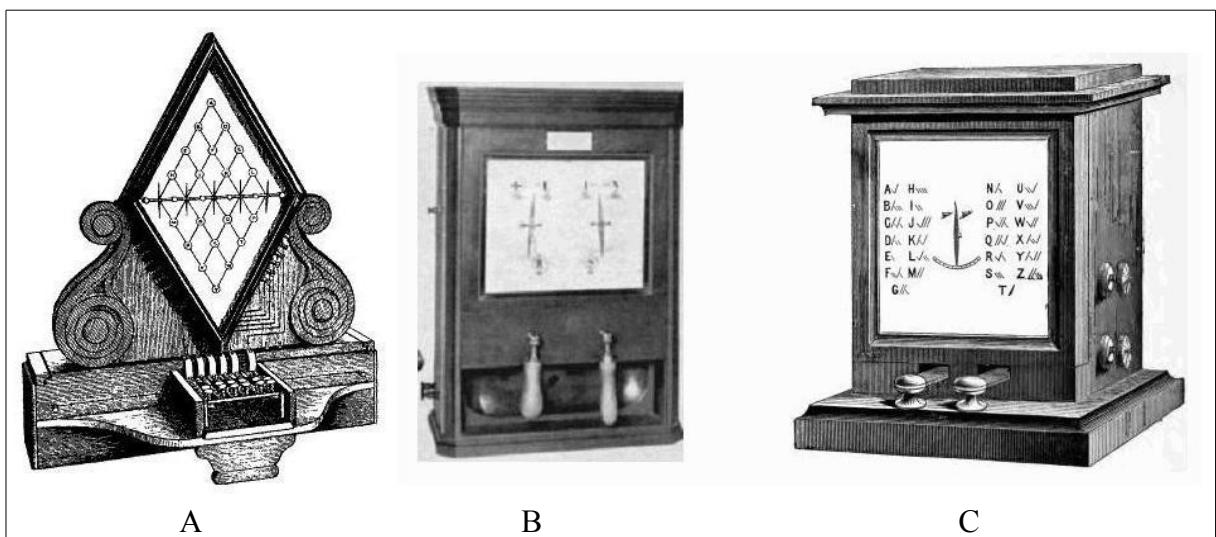


Figura 25 - Telégrafos de Wheatstone e Cooke.

A - de cinco agulhas. B - de duas agulhas. C - de uma agulha (FIVE, 2014; ROBERTS, 2014, Instrument gallery).

Em 1843, os dois empresários deram entrada na segunda patente do Sistema

Telegráfico Cooke & Wheatstone, agora apresentando um telégrafo de duas agulhas, com linguagem codificada, e usando uma rede aérea na qual dois fios de ferro ficavam presos em isoladores de cerâmica fixados em postes. Este foi o último projeto conjunto dos dois, que se separaram nesse mesmo ano, por divergências sobre o modo de gerir os negócios.

3.2.2.3 *Telégrafos comerciais norte-americanos: Morse*

Samuel Finley Breese Morse [1791-1872] era pintor, professor de literatura da arte e empreendedor. Em 1829, numa viagem, anotou as ideias do cientista americano Charles Thomas Jackson [1805–1880] sobre um telégrafo que usasse a passagem de uma corrente elétrica por um eletromagneto para mover uma caneta, de modo a registrar numa tira móvel de papel os sinais de um código para letras e palavras.

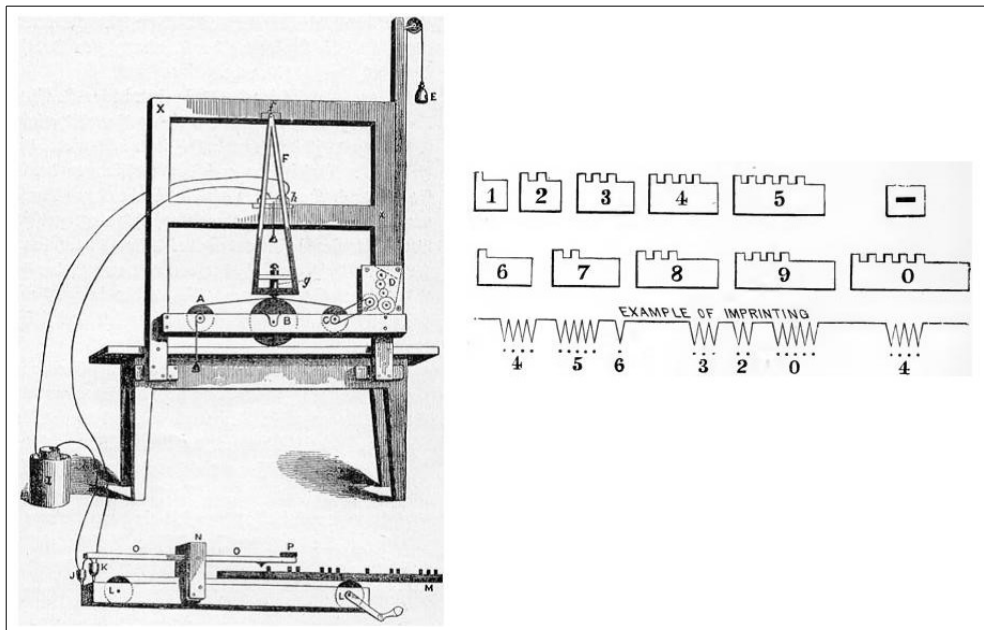


Figura 26 - Primeiro telégrafo de Morse.

A - Estrutura (HUUDERMAN, 2003, p. 57); B - Formação dos caracteres (PRESCOTT, 1888, p. 424)

Em 1835, Morse apresentou, como projeto próprio, um modelo baseado nas ideias de Jackson, usando uma moldura de quadro como suporte. Uma pena com tinta ou um lápis eram ligados fisicamente à armadura do eletromagneto para poder gravar os sinais. Numa tira de madeira eram colocados blocos dentados, um para cada caractere. Rodando a manivela, os ressaltos faziam com que uma haste fosse flexionada, fazendo contato com dois pequenos reservatórios de mercúrio. Assim, fechava-se o circuito da bateria e era acionado o eletromagneto suspenso na armação, provocando uma oscilação da pena ou lápis sobre uma

fita de papel movida por um mecanismo de relógio.

Para implementar o sistema, Morse contratou, em 1837, dois pesquisadores, Gale e Vail. O químico Leonard Dannel Gale [1800-1883], familiarizado com as descobertas de Henry, testou formas de aumentar o alcance do sistema, sugerindo, por exemplo, que ele usasse maior número de células voltaicas e aumentasse o número de espiras do magneto para que o mesmo ativasse com maior intensidade. Vail, que havia apresentado um telégrafo para imprimir as letras do alfabeto em 1837 (PRESCOTT, 1860, p. 403), ficou encarregado de construir os instrumentos. Por sua vez, o próprio Henry explicou a Morse os detalhes do princípio de funcionamento dos aparatos construídos no curso de suas pesquisas e os fundamentos do que era sabido sobre eletricidade até então.

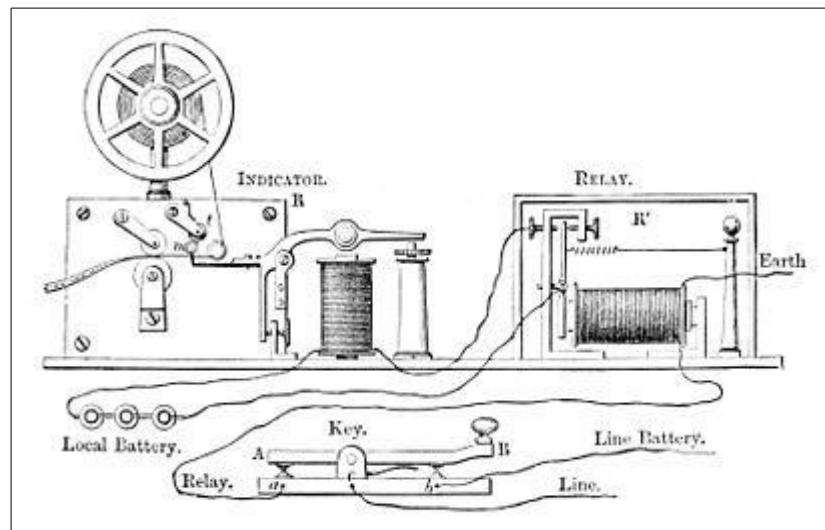


Figura 27 - Telégrafo de Morse com relé (DESCHANEL, 1873, p. 411).

Morse ficou encarregado de criar o código; mas foi Vail quem elaborou o código de ponto e traço, substituindo o código numérico imaginado por Morse. O pai de Vail, um juiz rico, adquiriu 25% dos interesses no invento e se comprometeu a financiá-lo. Depois de fazer a apresentação oficial do sistema, em 1838, Morse entrou com o pedido de patente (obtida em 1840) e, em 1842, formou um *lobby* para obter a concessão para a construção de uma linha experimental (HUUDERMAN, 2003, p. 55 passim).

Esse detalhamento das funções do grupo ligado ao projeto indica que não é possível aceitar sem exame a imagem de Morse como o único inventor - ou sequer o inventor - do sistema que leva o seu nome. George B. Prescott (1860, p. 404-420), eletricitista, inventor e superintendente das linhas telegráficas elétricas dos EUA, em seu livro *History, theory, and practice of the electric telegraph*, fez um resumo esclarecedor das autorias envolvidas nos

diversos componentes do telégrafo de Morse. Esse resumo, cujos dados essenciais são apresentados a seguir, permite ver claramente que o sistema de telegrafia Morse (e em parte o de Cooke e Wheatstone), na verdade, foi montado utilizando um conjunto de invenções de diversos pesquisadores:

a) um condutor metálico isolado - foi usado por Watson em 1747, por Ronalds em 1816, por Gray em 1828, e por Gauss e Weber em 1833;

b) a terra para o retorno da corrente - foi proposta e usada por Steinheil em 1837;

c) uma bateria galvânica - foi usada pelo inglês Daniell em 1836;

d) a corrente elétrica - foi descoberta por Volta em 1800 e usada em muitos projetos desde então;

e) um eletromagneto - o eletromagnetismo foi descoberto por Oersted em 1819; Schweigger criou o galvanômetro em 1820; Arago e Sturgeon desenvolveram experimentos em 1825; Henry aperfeiçou o mesmo entre 1828 e 1831, e Cooke e Wheatstone o usaram no seu telégrafo eletromagnético em 1837;

f) uma chave para abrir e fechar o circuito - esse dispositivo já tivera seu uso descrito por Ampère em 1820;

g) um mecanismo de relojoaria para mover a fita de papel - já era de uso comum, desde um anemômetro francês de 1734, e Steinheil usou esse mesmo equipamento no seu telégrafo de registro em 1836;

h) alavanca e pena de aço para escrever - Henry usou o sistema numa balança eletromagnética, em 1831;

i) um alfabeto de pontos e linhas - foi usado por Gray, em 1828, e por Steinheil em 1836;

j) um circuito local para recompor o sinal - foi usado por Sömmering em 1809, Ronalds em 1816, Gauss e Weber em 1834, e Cooke e Wheatstone em 1837;

k) uso de sons de alerta para o registro dos sinais - sons de alarme foram usados por Sömmering em 1809, Ronalds em 1816, e Gauss e Weber em 1834.

A respeito do código Morse, a obra *The mural diagraph, or the art of conversing through a wall*, publicada por James Swaim em 1829, descreve um alfabeto acústico de pontos e linhas, sendo o ponto uma batida e a linha uma arranhadura, feitos na parede com um objeto duro, com as combinações de pontos e linhas representando números que formavam um vocabulário. Quanto ao uso de pontos e linhas em um código escrito, pode ser rastreado até o filósofo inglês Francis Bacon, que propôs um modelo em 1605 (CODES, 2014).

E estes não são os únicos depoimentos sobre as apropriações feitas por Morse sem o

pagamento dos direitos devidos. Roberts (2014) conta que em 1845, quando a *Electric Telegraph Company* estava sendo criada, Morse foi a Londres, como fizera em 1838, ao saber do sucesso da primeira linha telegráfica de Wheatstone e Cooke. Além de se aproximar de algumas empresas ferroviárias ainda sem linhas telegráficas, oferecendo-lhes seu próprio sistema, Morse conseguiu examinar os novos equipamentos da *Electric*. Voltando aos Estados Unidos, incorporou ao projeto de Vail as inovações de Wheatstone e Cooke quanto a novos eletromagnetos, fios de ferro e isoladores de cerâmica, registrando no próprio nome, em 1846, a patente do que se tornou conhecido como telégrafo Morse.

Entretanto, feitas essas ressalvas acerca da autoria da tecnologia, é impossível negar a importância do telégrafo de Morse, que tinha como vantagens a relativa simplicidade do sistema, a velocidade em comparação com alguns outros modelos da época, e o fato de fazer o registro permanente das mensagens. Essas foram certamente causas importantes, embora não as únicas, da disseminação do sistema nos Estados Unidos, onde obteve um virtual monopólio, e na Europa, inclusive na Grã Bretanha, substituindo os telégrafos eletromagnéticos de ponteiro, vistos anteriormente; e também da sua adaptação para as aplicações posteriores nos telégrafos submarinos.

O telégrafo Morse também foi o escolhido por Guilherme Capanema, em 1851, quando o governo brasileiro decidiu instalar a primeira linha telegráfica elétrica do país, embora ele mesmo usasse em suas aulas, para fins de demonstração, telégrafos elétricos do francês Breguet, que empregou nos testes para o projeto da linha brasileira (SILVA; MOREIRA, 2007).

3.2.2.4 Códigos

Os telégrafos eletromagnéticos de agulha usaram códigos baseados nas posições das agulhas ativadas pela corrente elétrica. Gauss e Weber, em 1833, utilizaram um código que usava apenas as posições direita e esquerda, em grupos de até quatro leituras, para representar letras e algarismos. Na Figura 28, no código de Gauss e Weber, as posições da agulha estão representadas pelas letras "r" e "l": *right* (direita) e *left* (esquerda).

Wheatstone e Cooke adotaram, para os seus telégrafos comerciais, um código em que cada letra ou algarismo era representado por uma combinação das posições das agulhas (para a direita ou para a esquerda, quando ativada, ou vertical, quando não ativada). Wheatstone e Cooke adaptaram seu código para os telégrafos de cinco, duas e uma agulha. No código de cinco agulhas, cada letra era indicada pelo movimento de duas agulhas que apontavam para a

letra desejada. No código de duas agulhas, os caracteres podiam ser indicados por uma seqüência de movimentos de uma das agulhas (a outra ficando na vertical) ou por uma seqüência de movimentos das duas agulhas. No telégrafo de uma agulha, cada caractere era formado por uma determinada seqüência de movimentos: um a quatro movimentos longos para a esquerda ou a direita, um ou mais pulsos rápidos para um lado e depois um movimento amplo para o outro lado etc.

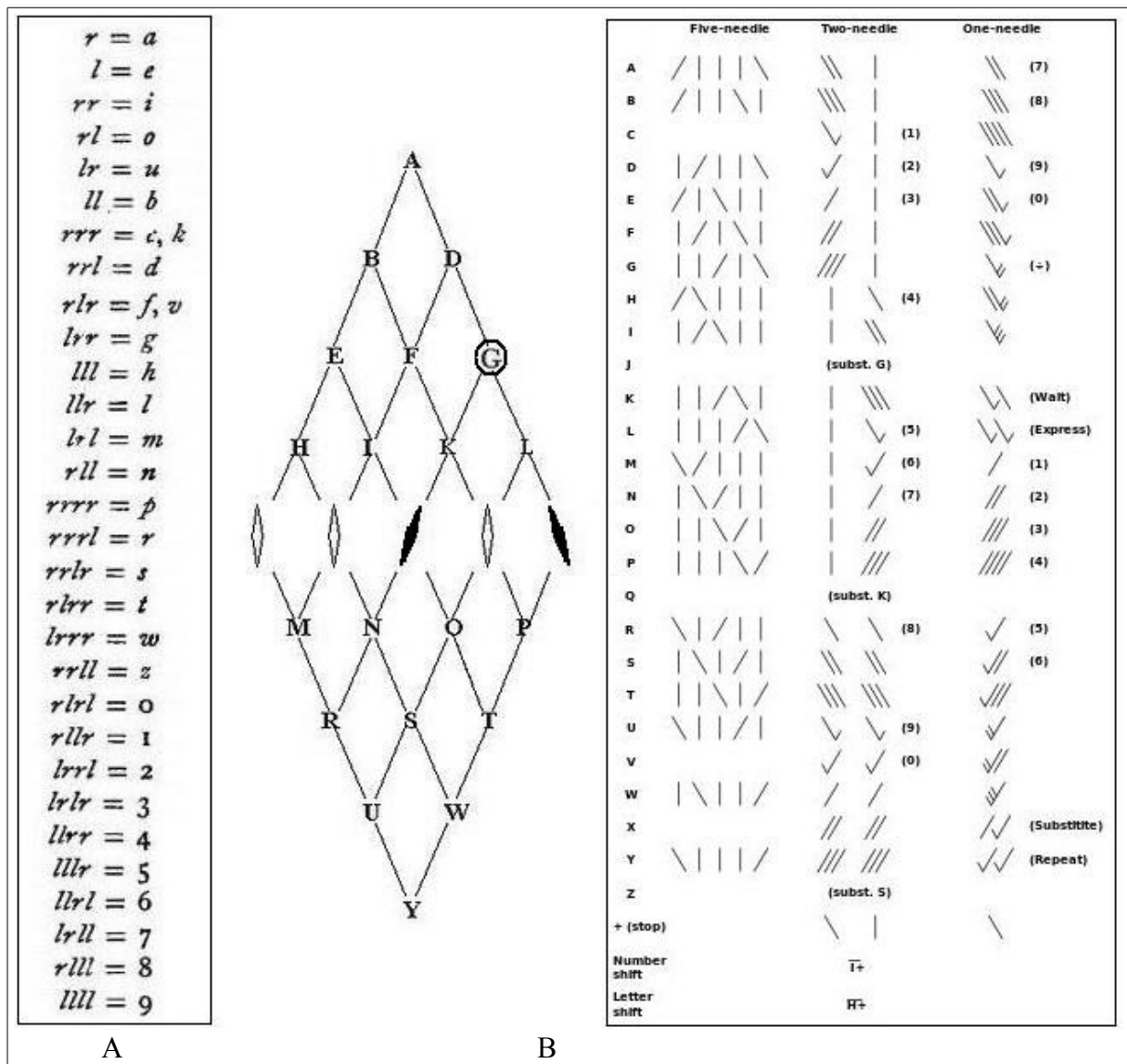


Figura 28 - Códigos de telégrafos eletromagnéticos de agulha.
 A - Gauss e Weber (FAHIE, 1884, p. 322). B - Wheatstone e Cooke (COOKE, 2014)

Os códigos usados nos telégrafos de impressão direta se originaram de uma longa série de trabalhos originários da criptografia. O filósofo inglês Francis Bacon [1561-1626] propôs, em 1605, um código que usava apenas dois sinais - um ponto e um traço - que, combinados de

formas diferentes, podiam representar todas as letras do alfabeto. Códigos usando o mesmo sistema foram criados por James Swaim, nos Estados Unidos, em 1829; por Schilling, na Rússia, em 1832; por Gauss e Weber, em 1833, e por Steinheil, em 1836, ambos na Alemanha; por Davy, na Inglaterra, em 1839; e por Bain, na Escócia, em 1846. O código Morse, elaborado por Vail, foi cunhado nesse mesmo modelo. A primeira versão foi criada em 1838; a segunda, de 1844, foi a que se consolidou como código telegráfico geral.

Em 1854, foi criada, na Alemanha, uma adaptação do código Morse adotada pelos serviços telegráficos da Europa continental. Esse sistema é chamado de Código Universal porque foi adotado pelos serviços por cabo submarino e radiotelegrafia praticamente no mundo inteiro (CODES, 2014). O código original permaneceu sendo usado somente nas linhas terrestres dos Estados Unidos e do Canadá.

LETTERS.						
A ---	E -	I --	M ---	Q ----	U ----	Y ----
B ----	F ----	J -----	N ---	R ---	V ----	Z ----
C - -	G ----	K ----	O - -	S - -	W ----	& ----
D ----	H ----	L ---	P ----	T -	X ----	

NUMERALS.				
1 ----	3 ----	5 ----	7 ----	9 ----
2 ----	4 ----	6 ----	8 ----	0 ----

PUNCTUATION.		
Period ----	Interrogation ----	Quotation ----
Comma ----	Exclamation ----	Parenthesis ----

Figura 29 - Código Morse original (BENJAMIN, 1886, p. 849-850).

3.2.2.5 Outras tecnologias

O sucesso dos dois primeiros sistemas telegráficos comerciais bem-sucedidos, aproximadamente na mesma época, estimulou o surgimento de dezenas de projetos de telégrafos elétricos que pudessem ser capazes de contornar as patentes dos dois modelos principais. A grande preocupação nos países europeus era barrar a criação de monopólios que já estava ocorrendo nos Estados Unidos e na Inglaterra. Entre os muitos projetos criados nessa época, alguns merecem ser citados e comentados.

Alguns inventores desenvolveram telégrafos de ponteiro. Nesse tipo de tecnologia, um ponteiro é movimentado sobre um painel onde estão os caracteres (letras e números). Através de sincronismo entre as partes transmissora e receptora, usando mecanismos de relógio acionados por eletromagnetos, o ponteiro do receptor para sobre o caractere escolhido no

transmissor. Uma atualização do telégrafo eletrostático de Ronalds, de 1816.

Paralelamente ao melhoramento do telégrafo de agulha, Wheatstone e Cooke desenvolveram um telégrafo de ponteiro, obtendo uma patente em 1840. Ele era fácil de operar, porém tinha uma velocidade baixa, de 15 palavras por minuto. O transmissor usava 30 chaves dispostas em círculo, correspondentes a cada caractere. Ao pressionar uma tecla, um eletromagneto acionava o movimento do ponteiro, passo a passo, até parar no caractere desejado (HUUDERMAN, 2003). Wheatstone ainda desenvolveu, nos anos 1860, um telégrafo de ponteiro chamado ABC, que incluía na mesma peça um transmissor, um receptor e um gerador de corrente de manivela. Foram produzidas cerca de 10.000 unidades, das quais, em 1920, cerca de 1.500 ainda estavam em uso só na Inglaterra (HUUDERMAN, 2003).

Na Alemanha, em 1846, apareceu um telégrafo de ponteiro criado por Werner Siemens, que tinha a característica de indicar o caractere desejado em um mostrador (BEAUCHAMP, 2001). Introduzido na Alemanha pelo inglês descendente de alemães, William Fardely [1810-1869], foi posteriormente aperfeiçoado por Siemens e empregado nas estradas de ferro, antes de ser substituído pelo telégrafo de Morse, que era capaz de operar a distâncias mais longas (PRESCOTT, 1888).

Na França, outro telégrafo elétrico foi criado por Louis-François Breguet, neto de Abraham-Louis Breguet, construtor do telégrafo visual de Chappe, como já visto, e cuja empresa fazia a manutenção do sistema telegráfico francês. A princípio, Breguet construiu um aparelho com duas agulhas que reproduziam os movimentos dos semáforos. Sua intenção era construir um aparelho que ajudasse a fazer a transição do telégrafo visual para o elétrico. Posteriormente, criou um telégrafo de ponteiro que era um aperfeiçoamento do aparelho de Wheatstone (HUUDERMAN, 2003).

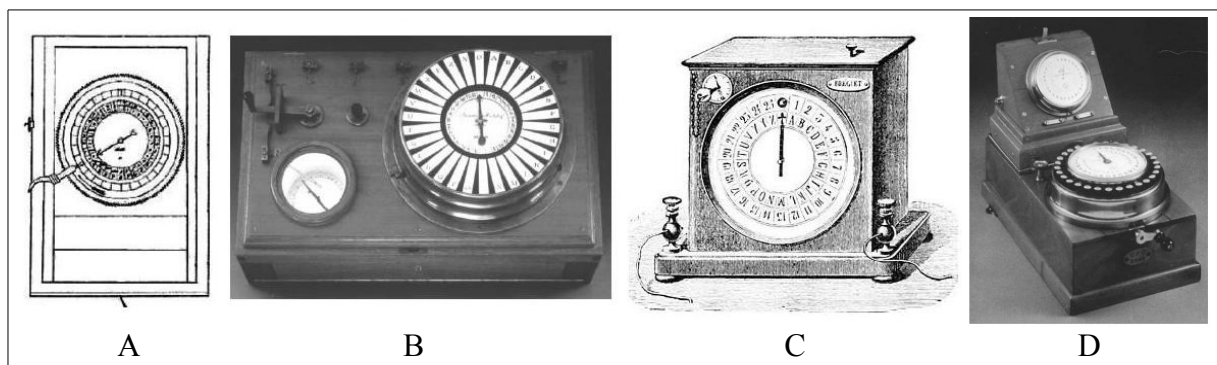
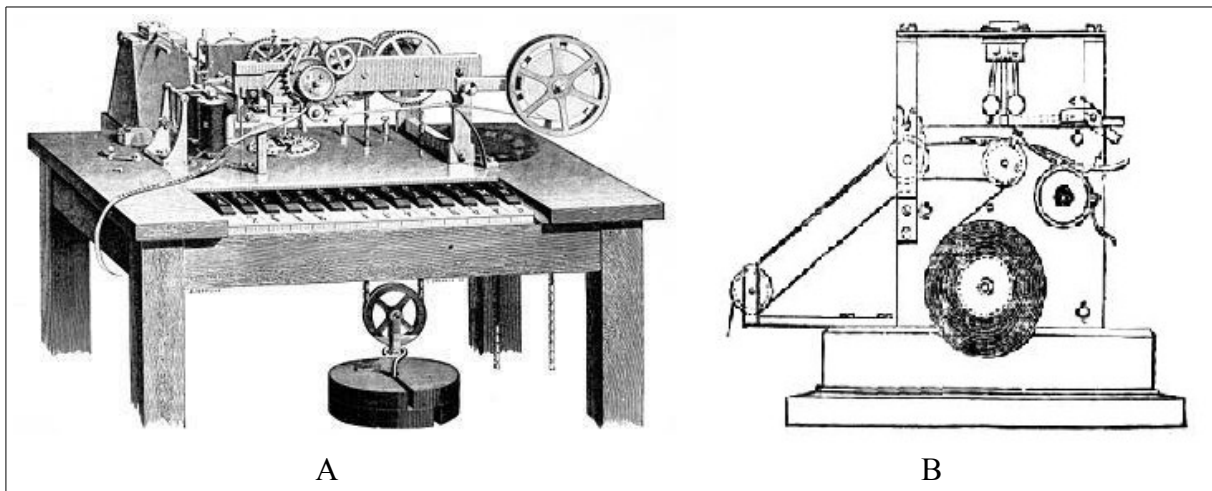


Figura 30 - Telégrafos elétricos de ponteiro.

A - Wheatstone e Cooke; B - Siemens; C - Breguet; D - ABC (HUUDERMAN, 2001, p. 79; ROBERTS, 2014, Instrument gallery)

Nos telégrafos de impressão direta, o operador digitava um texto em um teclado e, a cada letra, eram enviados impulsos elétricos para o receptor, que tinha um cilindro giratório com os caracteres em relevo. Quando o caractere desejado estava sobre a fita de papel, um mecanismo (embreagem ou martelo) era ativado por um eletromagneto, pressionando o papel sobre a roda e imprimindo o caractere desejado na fita. Royal Earl House [1814-1895], um dos fundadores da *Western Union Telegraph Company*, inventou, em 1844, um telégrafo de impressão direta capaz de enviar 2.600 letras por hora, que foi usado em várias linhas nos Estados Unidos (HUUDERMAN, 2003).

O professor de piano e inventor americano David Edward Hughes [1831-1900] também criou um telégrafo desse tipo, em 1855, tendo obtido a patente na França em 1858. Na década de 1860, o telégrafo Hughes foi adotado pelas administrações telegráficas europeias e, em 1868, foi recomendado pela União Internacional Telegráfica para as maiores rotas internacionais. Esse modelo continuou em uso até ser substituído pelos teletipos nos anos 1930.



*Figura 31 - Telégrafos de Hughes e Bain.
A - de Hughes (DESCHANEL, 1873, p. 413). B - de Bain (ROBERTS, 2014, Bain).*

O escocês Alexander Bain [1810-1877] construiu um telégrafo muito veloz, em que o receptor usava um efeito químico. Uma pena de metal repousava sobre uma fita móvel de papel tratada com cianeto de ferro. Quando uma corrente passava pelo conjunto, fazia uma marca azul no papel. O transmissor usava um mecanismo automático de fita perfurada com as mensagens codificadas por pontos e traços, cuja patente foi obtida em 1846. O telégrafo de Bain foi usado na Inglaterra e nos Estados Unidos. Em 1849 foi construída uma linha usando esse telégrafo, entre Nova Iorque e Boston, por iniciativa dos comerciantes dessas cidades,

que se opunham ao monopólio das redes telegráficas. A tarifa foi reduzida de 50 para 30 centavos de dólar, e outras linhas importantes foram construídas. Mas, em 1849, os detentores das patentes de Morse moveram um processo contra as linhas que usavam o sistema de Bain, com base no uso da fita de papel e do código. Sendo o ganho da causa dado ao sistema Morse, o dispositivo foi sendo abandonado (PRESCOTT, 1860).

3.2.2.5.1 APERFEIÇOAMENTOS

Um detalhe crucial na telegrafia era a velocidade da transmissão (PRESCOTT, 1888). Nos telégrafos de ponteiro, a taxa de transmissão era 900 palavras por hora (*words per hour*, wph); no de Morse, 1500 wph (usual: 1000 wph); no de House, 2800 wph (usual: 1800 wph). Os aperfeiçoamentos destinados a aumentar a velocidade de transmissão fizeram com que fossem desenvolvidos os telégrafos automáticos, duplex e quadruplex, sendo os dois últimos capazes de enviar mensagens simultâneas nos dois sentidos no mesmo condutor. Na década de 1870 surgiu a técnica de multiplexação do sinal, que começou a lançar os fundamentos dos sistemas de comunicação digital do século XX.

Telegrafia duplex

Com o avanço da tecnologia, foi possível, em tempo relativamente curto, fazer com que duas mensagens fossem transmitidas no mesmo condutor, em direções opostas, ao mesmo tempo, sem interferências entre elas. O princípio de funcionamento se baseava na sensibilidade que os dispositivos receptores de uma estação tinham para captar os sinais enviados pela estação remota, evitando a captação dos próprios sinais.

Já em 1849, Siemens começou a abordar o assunto e, em 1854, o princípio já havia sido demonstrado pelo físico e engenheiro austriaco Julius Wilhelm Gintl [1804-1883], usando o telégrafo químico de Bain. Como é comum na história da tecnologia, vários pesquisadores, de diferentes lugares, trabalharam no problema, dando a sua contribuição em resposta a uma demanda de aumento do tráfego das redes telegráficas. A técnica foi desenvolvida na Alemanha, na Inglaterra e nos Estados Unidos. Foi patenteada pelo inventor americano Joseph Barker Stearns [1831-1895] em 1872 e tornou-se comercial, sendo usada também na telegrafia submarina. O sistema foi implementado usando duas técnicas diferentes: uma com o circuito de Ponte de Wheatstone e linhas artificiais,¹⁰ que foi o caso de Stearn, e a

¹⁰ A linha artificial, instalada nas estações telegráficas, era formada por um ou mais componentes (como um resistor) dispostos de modo a apresentarem os mesmos valores das variáveis elétricas da linha física.

outra através da conexão diferencial de cada par de magnetos (relés) nos receptores, que foi o método usado por Siemens (BRIGHT, 1898; SIEMENS, 1892).

Telegrafia quadruplex

Thomas Alva Edison [1847-1931] desenvolveu em 1874, nos Estados Unidos, a telegrafia *diplex*, que permitia enviar duas mensagens simultâneas, na mesma linha e na mesma direção, fazendo com que, enquanto um sinal elétrico variava a intensidade, o outro variava a polaridade. A combinação dos sistemas diplex e duplex deu nascimento à telegrafia quadruplex, cujo princípio de funcionamento consistia em que duas mensagens fizessem aumentar ou diminuir a intensidade da corrente em cada estação terminal e as outras duas mensagens definissem a direção da corrente em que cada uma fluísse. Em cada estação havia dois magnetos: um deles era ativado por correntes intensas, independentes da direção em que elas fluíssem, e o outro era ativado somente pela mudança de direção do fluxo da corrente, ativando relés polarizados. As companhias telegráficas, nos Estados Unidos, começaram a usar o sistema diplex para o tráfego das grandes cidades, mas esse sistema apresentou dificuldades técnicas para ser usado pela telegrafia submarina (PRESCOTT, 1888).

Baudot

O engenheiro telegráfico francês Jean-Maurice-Émile Baudot [1845-1903] criou, em 1874, um sistema composto por chaves rotativas (distribuidores), sincronizadas no transmissor e no receptor por mecanismos de relógio, e um teclado de cinco teclas usado na transmissão. Esse teclado era operado por um código binário de 5 bits, criado em 1870 e patenteado em 1874. O código incluía dois conjuntos de 30 símbolos cada, sendo que cada conjunto era escolhido por uma combinação (*Figure Shift ou Letter Shift*), permitindo assim a transmissão de todas as letras, números e sinais de pontuação.

Cada vez que a chave rotativa dava uma volta completa, as cinco informações binárias, referentes a cada caractere, eram enviadas uma após a outra à linha e, no receptor, eram armazenadas temporariamente em cinco eletromagnetos (relés), para poderem ser impressas em uma fita de papel.. A sincronização dos distribuidores do transmissor e do receptor era feita através de uma corrente elétrica enviada na linha. Um dispositivo temporizador acionava uma campainha indicando ao telegrafista que o distribuidor estava em uma posição adequada para ele digitar o código no teclado.

A exemplo de outros inventores, Baudot integrou os desenvolvimentos de outros: usou o telégrafo de Hughes, o seu código foi o desenvolvimento do criado por Weber e Gauss, e o

distribuidor mecânico foi inventado por Bernard Meyer em 1871 (HOBBS, HALAS, 2014). O telégrafo de Baudot começou a ser usado em 1877, na França, operando com 30 palavras por minuto, e o sistema evoluiu de modo a ser usado também com diferentes transmissores de telégrafos, permitindo até 12 mensagens simultâneas (HUUDERMAN, 2003).

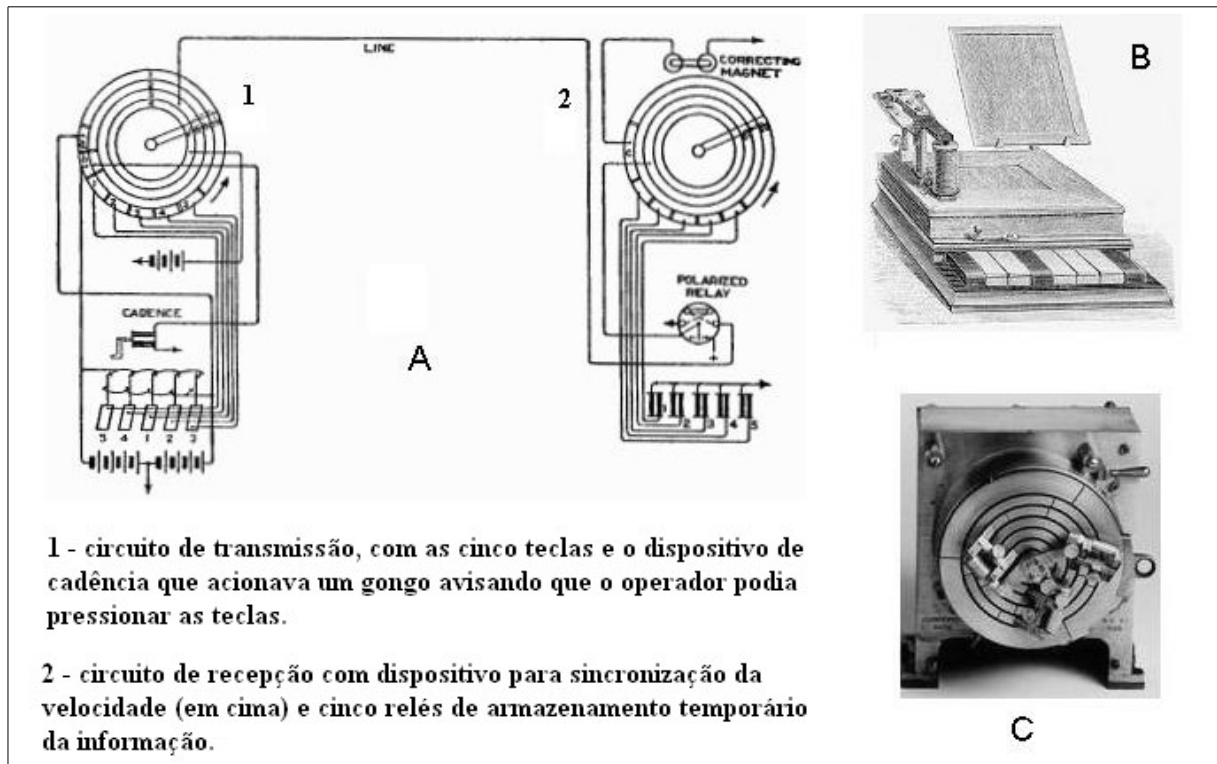


Figura 32 - Sistema de Baudot.

A - esquema de funcionamento ((BEAUCHAMP, 2001, p. 394). B - Transmissor com 5 teclas (IEEE, 2013). C - Distribuidor mecânico (TELEGRAPH, 2013).

O conceito que serviu de base para esse sistema é denominado Multiplex por Divisão de Tempo (TDM - *Time Division Multiplex*), no qual uma linha pode acomodar diferentes informações, sendo que é atribuído determinado tempo a cada informação, no caso, uma informação binária. Essa técnica passou a ser usada extensivamente na transmissão de informações digitais e analógicas ao longo do século XX.

A importância do sistema de telegrafia de Baudot deve-se ao fato de que, juntamente com os telégrafos de impressão - os telégrafos de Hughes e House etc. como precursores das máquinas teletipo -, começou a configurar, já no final do século XIX, o que viria a se tornar as redes de comunicação de dados do século XX. Por sua contribuição para a tecnologia das comunicações, Baudot foi homenageado com o seu nome dado à unidade baud, que expressa a taxa de transferência de símbolos (ou pulsos) por segundo em um meio de transmissão.

Letters	Figures	KEYS					Letters	Figures	KEYS					
		V	IV	I	II	III			V	IV	I	II	III	
A	1			⊙			P	+	⊙	⊙		⊙	⊙	⊙
B	8		⊙			⊙	Q	/	⊙	⊙		⊙		⊙
C	9		⊙	⊙		⊙	R	-	⊙	⊙				⊙
D	0		⊙	⊙	⊙	⊙	S	7	⊙					⊙
E	2				⊙		T	z	⊙			⊙		⊙
F	3		⊙		⊙	⊙	U	4				⊙		⊙
G	7		⊙		⊙		V	'	⊙			⊙	⊙	⊙
H	1		⊙	⊙	⊙		W	?	⊙			⊙	⊙	
I	3				⊙	⊙	X	9	⊙			⊙		
J	6		⊙	⊙			Y	3						⊙
K	(⊙	⊙	⊙			Z	:	⊙			⊙	⊙	
L	=	⊙	⊙	⊙	⊙		-	.	⊙			⊙		
M)	⊙	⊙		⊙		*	*	⊙	⊙		(Erasure)	.	
N	£	⊙	⊙		⊙	⊙	Figure shift & space			⊙				
O	5			⊙	⊙	⊙	Letter shift & space		⊙					
/	1			⊙	⊙									

Figura 33 - Código de Baudot (CODES, 2013)

3.2.3 Histórico da implantação da telegrafia elétrica

O exame, numa perspectiva histórica, do desenvolvimento das tecnologias de telegrafia elétrica, permitiu perceber que não houve duas fases distintas, uma de experimentação e outra de implantação. Como essas tecnologias se desenvolveram atendendo a necessidades e demandas urgentes de governos e setores empresariais, a pesquisa era feita para criar produtos que deveriam estar em uso no menor prazo possível. O experimento não servia mais apenas para responder a questões acadêmicas, e a criação de dispositivos não era mais uma iniciativa de pesquisadores individuais. Tratava-se agora de competir pela viabilidade comercial e estratégica de projetos nascidos fora dos laboratórios. Daí a simultaneidade com que tantos projetos muito parecidos foram criados, testados e implantados em diferentes lugares a partir de meados do século XIX.

As informações apresentadas nesta seção constituem uma síntese dos relatos detalhados, e em muitos pontos repetitivos, do engenheiro inglês Steven Roberts (2014), de Beauchamp (2001), Huuderman (2003) e Highton (1852). Também são muito significativas as contribuições de Bright (1908), Solymer (1999) e Fletwood (2013). Para não dificultar o fluxo do texto, essas fontes, que seriam chamadas de forma recorrente, estão citadas apenas aqui, uma única vez, sendo referidas dentro do texto apenas em alguns casos específicos.

3.2.3.1 Início da implantação

A criação das redes telegráficas elétricas terrestres está intimamente associada à das ferrovias. As estradas de ferro foram um dos carros-chefes da Revolução Industrial, cabendo à Inglaterra a sua invenção, desenvolvimento e posterior propagação pelos vários países do globo. (HOBSBAWM, 1996). Estas foram essenciais para a telegrafia, pois apresentavam vantagens de instalação em relação às estradas comuns, pelo fato de proporcionarem maior segurança em termos físicos e elétricos para as linhas. É importante observar que, nos primeiros tempos, as linhas telegráficas foram instaladas exclusivamente para permitir às empresas o controle do tráfego ferroviário. Só anos mais tarde começaram a ser instalados postos de telégrafos abertos ao uso público.

3.2.3.1.1 OS PRIMEIROS TEMPOS NA INGLATERRA

Em junho de 1837, Wheatstone e Cooke, na Inglaterra, obtiveram a patente do primeiro telégrafo comercial, com especificações tão genéricas, que garantiram aos dois o monopólio da telegrafia na Grã-Bretanha. A patente incluía o aparelho em si (o telégrafo de cinco agulhas de Wheatstone) e a instalação de linhas telegráficas subterrâneas com a técnica dos fios assentados em vigas de madeira. No mesmo ano, uma linha experimental, com 2,4 km de extensão, foi instalada entre as estações de Euston Square e Camden Town, da *London and Birmingham Railway*. Entretanto, como os condutores se deterioraram rapidamente, a ferrovia decidiu não investir na linha.

Em 1838, Wheatstone e Cooke tiveram a ideia de passar os fios por tubos de ferro enterrados. Procuraram, então, a *Great Western Railways*, que percebeu o potencial do projeto. A primeira linha inglesa permanente foi inaugurada em julho de 1839, ligando Paddington, em Londres, a West Drayton, cerca de 21 km a oeste; mas essa linha também apresentou problemas de isolamento.

Em 1840, os dois projetistas construíram a segunda linha permanente, com cerca de 5 km de extensão, ligando as estações da *London and Blackwall Railway*. A linha era formada por 30 telégrafos de uma agulha e rede subterrânea. Um detalhe interessante dessa linha é que Cooke teve a ideia de fazer um cabo de emergência que ficava na estação, enrolado numa bobina. Esse cabo tinha a mesma medida das seções em que a tubulação era dividida (cerca de 400 m). Quando havia um defeito na linha, o cabo era conectado às caixas de junção do início e do fim da seção defeituosa, permitindo fazer os reparos sem parar o serviço.

Ainda em 1840, os dois parceiros registraram a patente do telégrafo de ponteiro criado por Wheatstone. Enquanto Cooke negociava patentes e instalações para as empresas ferroviárias, Wheatstone contactou o governo, apresentando o projeto de uma linha submarina, que foi testada no rio Tâmisa em 1842. Nesse mesmo ano, Cooke instalou a primeira linha telegráfica da Escócia. Em 1843, os parceiros registraram a patente do Sistema Telegráfico Cooke & Wheatstone, que usava um telégrafo de duas agulhas e rede aérea. Segundo Cooke (apud ROBERTS, 2014, *Cooke and Wheatstone*), o sistema era bem vantajoso, pois a linha feita com fios de cobre em canos de ferro tinha um custo de £287 por milha (1,6 km), enquanto o novo sistema custava £149 por milha. Ainda nesse ano, a empresa Cooke & Wheatstone instalou o primeiro telégrafo público, na linha entre Londres e Slough da *Great Western Railway*.

As patentes de 1838 e 1843 garantiram para Cooke e Wheatstone os direitos sobre o sistema por 15 anos. As companhias ferroviárias inglesas utilizavam o sistema, mas eram praticamente as únicas usuárias. A expansão dos negócios era muito lenta, rendendo poucos *royalties*, e Wheatstone se voltava para novos interesses. Então, ainda em 1843, os sócios se separaram após muitas discussões acerca dos modos diferentes de encarar as patentes. Na divisão do empreendimento, Wheatstone ficou com o direito de usar o telégrafo de ponteiro em linhas com menos de uma milha (1,6 km). Também reservou para si o direito de vender licenças do sistema na Europa continental, mas isso não se concretizou. Cooke ficou com todos os direitos sobre as patentes e, nos anos seguintes, usou-os para instalar linhas telegráficas para as ferrovias do Reino Unido, começando pela *Yarmouth and Norwich Railway*, em 1844. A partir daí, os serviços telegráficos ingleses entraram em expansão.

3.2.3.1.2 OS PRIMEIROS TEMPOS NOS ESTADOS UNIDOS

Em 1837, foi feita a apresentação oficial da primeira versão do telégrafo de Morse. Com a boa recepção inicial do projeto, Morse, após algumas dificuldades, conseguiu

investidores e registrou a patente do dispositivo. Mas o telégrafo, que ainda estava sendo aperfeiçoado, só começou a ser implementado em 1843. Até esse momento, formou-se em torno do grupo de Morse um conjunto de empresas que começaram a produzir e fornecer os materiais, como fios de cobre, tecidos tratados para o revestimento dos fios, isoladores de vidro, componentes etc. (HUUDERMAN, 2003).

A primeira linha instalada era experimental. Ia de Washington a Baltimore e começou a operar em maio de 1844. No ano seguinte, a telegrafia foi entregue à iniciativa privada e começaram a se formar as empresas que, em uma década, instalaram no país cerca de 50.000 km de linhas telegráficas. A primeira delas foi a *Magnetic Telegraph Company*, do próprio Morse; seu objetivo era estender a primeira linha até Nova Iorque, o que foi feito ainda em 1845. Para cruzar o rio Hudson, os fios, cobertos com borracha e pano embebido em piche, foram passados por dentro de canos de chumbo. Mas como os canos foram danificados pelo gelo do inverno, a linha foi depois passada sobre o rio, utilizando torres de ferro.

Os projetos seguintes incluíram estender linhas para o oeste, até os Grandes Lagos. Em 1850, havia no país 20 companhias de telegrafia, metade delas em Ohio (na região dos Grandes Lagos). Além do sistema Morse, foram desenvolvidos no país mais de 60 sistemas de telegrafia elétrica, mas somente três foram usados comercialmente: o de Bain, o de House e o de Hughes. Entretanto, foram sendo substituídos pelo de Morse, considerado mais eficiente.

As empresas telegráficas começaram a competir para operar as linhas mais lucrativas. Assim, nos anos seguintes, toda a parte leste do país, até Chicago, St. Louis e New Orleans, foi coberta por uma rede telegráfica que ligava as principais cidades, e uma linha foi estendida até o Texas.

3.2.3.2 Difusão das redes telegráficas

Quando os primeiros problemas científicos e técnicos foram dominados, o caminho a ser trilhado seria a difusão das redes. Ela se deu de maneira rápida, de modo que, no início da década de 1850, a telegrafia elétrica estava implantada, não só na Europa, mas também em vários outros países, em todos os continentes habitados, merecendo destaque aqueles com grande extensão territorial, como Estados Unidos, Canadá, Austrália, Índia e China. Deve-se destacar que na época, o Canadá, a Austrália e a Índia eram colônias britânicas e a China era um país com poderosos interesses comerciais britânicos. Embora não estivesse entre os mais destacados, o Brasil também implantou uma rede terrestre cobrindo todo o território, sendo disseminada aos poucos e completada nas primeiras décadas do século XX.

3.2.3.2.1 A DIFUSÃO NA GRÃ-BRETANHA

A primeira empresa de telegrafia da Inglaterra foi a *Electric Telegraph Company*, fundada em 1845 e que, em 1846, comprou as patentes de Cooke e Wheatstone. Em 1847, a empresa começou a formar um serviço público de telegrafia e, em 1849, já montara uma verdadeira rede nacional, embora os serviços existissem apenas nas grandes cidades e não houvesse conexão entre as redes das diversas ferrovias servidas. Em 1851, com o fim da patente do sistema Wheatstone-Cooke e a liberdade do seu uso pelas ferrovias, a *Electric* foi forçada a criar uma rede própria baseada em diferentes tecnologias, como o telégrafo de Bain, o telégrafo Morse e um telégrafo automático de Wheatstone, instalado nas linhas mais congestionadas. Com dificuldades financeiras, a empresa fechou em 1870.

A partir de 1850, surgiram na Inglaterra novas empresas de telegrafia que foram aos poucos quebrando o monopólio da *Electric*. Essas empresas entraram em nichos fora do eixo leste-oeste em torno de Londres, onde ficavam as redes montadas pela *Electric*. Algumas buscaram clientes nas cidades portuárias e industriais do noroeste do país, na Escócia, em Gales, na Irlanda e no litoral sul da Grã-Bretanha. É o caso da *British Electric Telegraph Company*, criada em 1850; da *English & Irish Magnetic Telegraph Company*, da *United Kingdom Electric Telegraph Company* e da *Electric Telegraph Company of Ireland*, fundadas em 1851; e da *British & Irish Magnetic Telegraph Company*, resultado da fusão, em 1856, da *British* com a *English & Irish Magnetic*. Some-se a isso as diversas empresas ferroviárias que abriram suas redes ao público.

Algumas empresas começaram a investir na telegrafia submarina, como a *Submarine Telegraph Company* (de 1851), que instalou o cabo submarino Dover-Calais, e a *Irish Submarine Telegraph Company* (de 1852), que criou uma linha entre Irlanda e Inglaterra. A *London District Telegraph Company* (de 1859) instalou serviços públicos na capital, enquanto a *Economic Telegraph Company* (de 1863) criou linhas telegráficas para empresas particulares e a *Reuter's Telegram Company* (de 1865) tinha linhas exclusivas para transmissão de notícias. Finalmente, algumas empresas acharam um nicho externo, como a *International Telegraph Company* (de 1852), que operou na Europa continental, instalando linhas terrestres em alguns países e linhas submarinas entre cidades no Mar do Norte e a Inglaterra, e a *Indo-European Telegraph Company* (de 1868), controlada pelos irmãos Siemens, que instalou a linha terrestre entre a Inglaterra e a Índia, construída entre 1867 e 1870, e cuja passagem da Grã-Bretanha para o continente foi feita por uma linha submarina ligada à Alemanha, cujos direitos a *Reuter's* controlava. O resultado desse período foi um grande aumento na extensão

da rede telegráfica britânica, que passou de cerca de 3.600 km em 1850 (quando o país tinha aproximadamente 12.000 km de ferrovias), para perto de 30.000 km em 1868.

O passo seguinte no amadurecimento do sistema telegráfico inglês foi a junção de todas essas linhas sob uma administração única. Na maioria dos países que já tinham redes de telegrafia, o governo controlava o projeto e a administração desses serviços, considerados estratégicos, mesmo que contratasse empresas privadas para a implantação e operação. As exceções foram a Inglaterra e os Estados Unidos, onde a telegrafia ficou entregue à iniciativa privada, que a transformou em um negócio rentável. No caso da Grã-Bretanha, essa rentabilidade devia-se à concentração dos serviços nas regiões urbanas em detrimento das regiões rurais. As empresas cobravam tarifas altas por telegrama, os atrasos na recepção eram constantes e a qualidade da transmissão era baixa. Isso tudo causava descontentamento entre os usuários, especialmente entre as empresas que usavam o sistema para transmissão de notícias. A situação levou o governo a nacionalizar as operadoras de telegrafia terrestre, mas não as de cabos submarinos.

Em 1868 e 1869, o governo promulgou leis que permitiram a compra das empresas nacionais pelo governo e transferiram a responsabilidade pelos serviços telegráficos para o *General Post Office*, (G.P.O., o Serviço Geral de Correios da Inglaterra), criado em 1660. Para organizar os serviços terrestres, o G.P.O. implantou uma tarifa única e baixa em todo o Reino Unido e promoveu a rápida expansão do sistema a localidades remotas que ainda não contavam com o telégrafo, ampliando consideravelmente o acesso ao serviço em um prazo curto. Com o que receberam de indenização pela nacionalização das linhas terrestres, as empresas de telegrafia investiram na criação de linhas submarinas.

As linhas Inglaterra-Índia

Entre 1857 e 1861, a Inglaterra teve uma linha telegráfica submarina para a Índia. Com o fracasso dessa linha, cujas causas serão comentadas posteriormente, surgiu a proposta de estabelecer uma rota predominantemente terrestre, aproveitando linhas já existentes na França e na Áustria, e, a partir de Istambul, atravessar a Turquia e a Pérsia, onde um pequeno segmento submarino no Golfo Pérsico iria acompanhando a costa até Karachi. A linha foi implantada pela *European & Indian Junction Telegraph Company*, criada para esse objetivo, e começou a funcionar em 1865. Essa linha operou por vários anos, mas não era eficiente, principalmente por causa da sua administração partilhada por vários países. Então, o governo inglês decidiu estabelecer uma linha sob administração inglesa exclusiva (BEAUCHAMP, 2001).

A *Siemens & Halske* propôs instalar uma rota terrestre pela Prússia, Rússia e Pérsia. A chamada linha indoeuropeia ou do Mar Negro foi formada pelos seguintes segmentos: um cabo submarino de Lowestoft, na Inglaterra, a Emden, na Alemanha; uma linha terrestre de Emden até Kerch, no sul da Rússia, passando por Berlim e Varsóvia; um cabo submarino pelo Mar Negro; uma linha terrestre do Mar Negro até Bushir, na Pérsia; um cabo submarino entre Bushir e Karachi; e uma linha terrestre entre Karachi e Calcutá (HUUDERMAN, 2003). Os cabos submarinos lançados no Mar Negro foram fabricados pela firma inglesa W. T. Henley, usando revestimento de borracha.

O empreendimento mobilizou a família Siemens: Werner, na Alemanha, concebeu o projeto e fabricou os equipamentos telegráficos; Charles William, em Londres, era diretor da fábrica de cabos *Siemens Brothers Telegraph Works*; Karl era representante em São Petersburgo e Walter era cônsul na Geórgia. Johann Georg Siemens, filho do cofundador da *Siemens & Halske*, foi assessor legal em Londres e na Pérsia.

A necessidade de negociar os direitos de passagem com vários governos fez com que a linha só começasse a ser implantada em 1868, ficando pronta em 1870. A Prússia instalou a linha terrestre entre a Alemanha e a Polônia; a Siemens instalou a linha entre a Polônia e Teerã, na Pérsia; e a linha entre Teerã e Calcutá já existia. A rota tinha uma extensão total de aproximadamente 10.000 km, e usava fios de ferro de 11 mm de seção. Foram instalados 29.000 postes de madeira entre a Alemanha e a Rússia e 40.000 postes de ferro desmontáveis entre a Rússia e a Pérsia (HUUDERMAN, 2003; BEAUCHAMP, 2001).

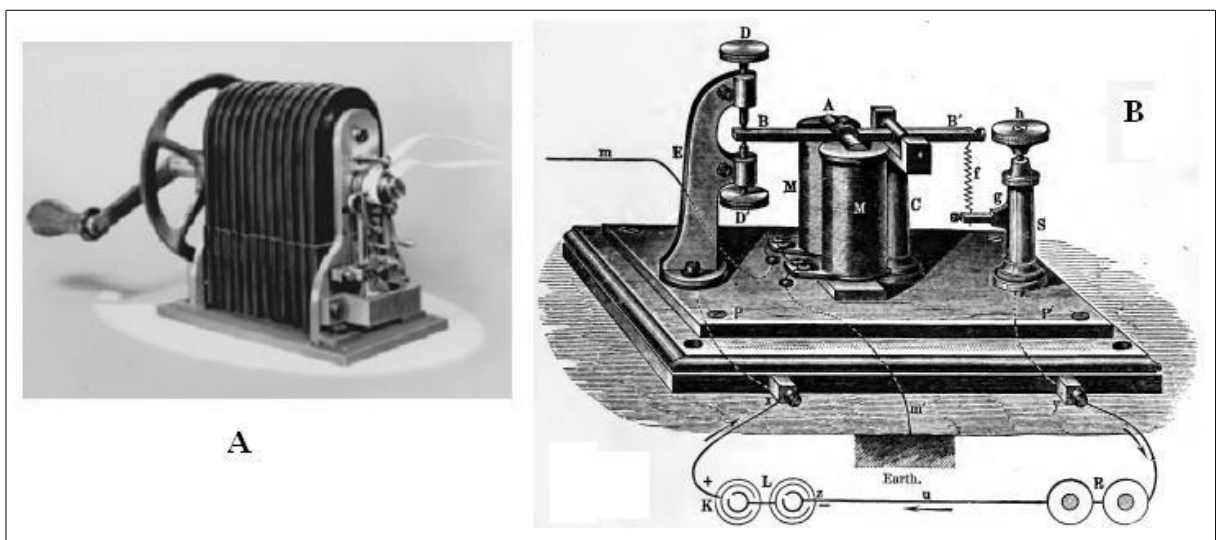


Figura 34 - Dispositivos de Siemens.
A- transmissor de fita com gerador (SIEMENS, 2008, p. 292). B - relé diferencial (PRESCOTT, 1888, p. 505).

As mensagens iam de um extremo ao outro através de retransmissão eletromecânica, evitando o reenvio por telegrafistas. Devido à grande extensão da linha, Siemens teve de criar um telégrafo mais sensível do que os tipos Morse e Hughes. Para isso, ele desenvolveu um relé polarizado em que, diferente dos relé comuns, a posição da armadura dependia da direção da corrente, reproduzindo a mensagem em uma fita de papel perfurada. Para a transmissão, Siemens já havia criado, em 1856, um dispositivo automático com fita perfurada, que foi usado pela primeira vez nessa rota. À medida que a manivela era rodada, um mecanismo avançava para a próxima posição de fita perfurada e, por indução, gerava uma corrente cuja polaridade dependia da posição do furo (SIEMENS, 2008; BEAUCHAMP, 2001).

3.2.3.2.2 A DIFUSÃO EM OUTROS PAÍSES

A primeira linha telegráfica elétrica da Europa continental foi instalada na Alemanha, em 1843. Outras linhas foram criadas nos anos seguintes, sempre como um empreendimento particular, de suporte ao serviço ferroviário. A princípio, não foram adotados nem os telégrafos ingleses, nem o americano, pois existiam na Alemanha muitas empresas que produziam modelos próprios e, em 1845, visando proteger a então indústria de equipamentos telegráficos local, a comissão de patentes da Prússia decidiu que o telégrafo de Morse não era suficientemente importante para ser patenteado no país. Em 1848, o governo fez construir linhas telegráficas substituindo as antigas linhas com telégrafos visuais. Como resultado, em 1852, a região era cortada por uma rede telegráfica elétrica que interligava as principais cidades dos Estados alemães. As empresas vencedoras da concorrência foram as de Kramer e de Siemens (que produzia um modelo próprio patenteado em 1840). Nesse momento, o telégrafo de Morse foi testado mas, embora se mostrasse bem mais veloz que o de Siemens, não foi adotado. Em vez disso, Siemens e outras empresas alemãs começaram a produzir versões aperfeiçoadas do dispositivo de Morse que, com o tempo, tornou-se o padrão do sistema teleográfico alemão, sendo o único usado pelas empresas ferroviárias em 1871. Em 1876, o serviço teleográfico foi unido ao postal sob administração governamental. A rede telegráfica tinha uma extensão de 40.000 km, sendo formada principalmente por linhas aéreas. Em 1888, a rede alemã era a segunda maior da Europa, e a maioria dos equipamentos consistiam em telégrafos Morse (HUUDERMAN, 2003).

A França também não adotou de início o telégrafo de Morse. Em 1839, o governo encomendou a Louis-François Breguet o desenvolvimento e a produção de um telégrafo elétrico com agulhas que imitassem os movimentos do semáforo, de modo a facilitar a

migração entre os sistemas. O sistema foi testado em 1842 e tornou-se o padrão nas ferrovias francesas por muito tempo, sendo substituído mais tarde pelo telégrafo de Hughes. Em 1848, Luís Bonaparte mandou construir uma rede nacional de telégrafos elétricos, que estava pronta em 1855, ligando Paris às capitais das províncias da França (HUUDERMAN, 2003).

A rede telegráfica russa começou a ser estabelecida com a implantação das linhas ligando São Petersburgo a Moscou, Kronstadt e Varsóvia, entre 1851 e 1854. Até 1855, a rede se expandiu de Moscou para Kiev e para o litoral do Mar Negro, e de São Petersburgo para a Finlândia. Em 1863, a linha de Moscou chegou à Geórgia, onde, nos anos seguintes, foi criada uma rede que chegou a ter um cabo submarino atravessando o Mar Cáspio. Entre 1869 e 1871, foi estendida a linha transiberiana, conectando São Petersburgo a Vladivostok (HUUDERMAN, 2003).

Nos Estados Unidos, a expansão começou com o projeto, em 1857, de construir uma linha telegráfica transcontinental, cruzando o país de leste a oeste. O objetivo foi alcançado pela criação, em 1861, da *Pacific Telegraph Company*, que absorveu linhas já existentes na costa ocidental e construiu o trecho que faltava para ligar os segmentos leste e oeste do sistema nacional. A telegrafia desempenhou um papel importante na guerra civil americana (de 1861 a 1865), sendo usada pelo presidente Abraham Lincoln [1809-1865] para mobilizar rapidamente as tropas do governo. Em 1858, após o insucesso da primeira tentativa de instalar o cabo submarino atlântico, havia surgido a ideia de fazer uma conexão terrestre com a Europa através do Alasca e da Sibéria, em cooperação com a Rússia. Terminada a guerra civil, a *Western Union* começou a estender uma linha passando pela Colúmbia Britânica, no Canadá, enquanto a Rússia traria uma linha da Sibéria através do estreito de Behring; mas quando o Cabo Atlântico foi instalado com sucesso em 1866, a *Western Union* encerrou o projeto, vendendo o trecho fora da fronteira para o Canadá. O saldo do processo foi a compra do Alasca pelos Estados Unidos (HUUDERMAN, 2003). Cabe uma reflexão de que, se a tecnologia do cabo submarino, que será visto adiante, não fosse bem sucedida, naquele momento a ligação das Américas com a Eurásia teria sido feita usando exclusivamente, ou pelo menos majoritariamente, a tecnologia já empregada pela telegrafia terrestre.

A expansão das redes nacionais e internacionais europeias favoreceu o crescimento da *Agence Havas* francesa (fundada em 1835), da *Reuter's* britânica, da *Associated Press* norte-americana (criada por um consórcio de jornais em 1848) e do *Wolfs Telegraphen Bureau* alemão (também de 1848) que, em 1870, formaram uma rede mundial de transmissão de notícias (HUUDERMAN, 2003). Configurava-se assim um quadro em que também a informação se tornava uma mercadoria.

A primeira linha permanente de telegrafia elétrica na Índia foi criada em 1850, ligando Calcutá a um porto próximo. Depois, até o fim da década de 1850, foi instalada uma rede ligando a capital Délhi a Calcutá, no leste, Madras, no sul, Bombaim, no oeste, e Peshawar, no norte. Foi nesse ponto que a *Indo-European* inglesa conectou a rede indiana à linha terrestre trazida de Hanover, permitindo a comunicação direta da Inglaterra com a sua colônia (HUUDERMAN, 2003).

O Japão criou uma rede terrestre a partir de 1869; entretanto, enquanto isso ocorria, o país já investia na telegrafia submarina. O Canadá criou uma rede na costa leste durante a década de 1850 e, em 1885 começou a implantação da ferrovia transcontinental, que instalou uma linha telegráfica até a costa oeste. A Austrália, colônia britânica, entre 1854 e 1858, conectou todo o seu litoral. Em 1879, uma linha, saindo do México, cobriu a América Central até a Costa Rica. A China só começou a implantar uma rede terrestre após receber um cabo submarino vindo do Japão, em 1871. A África teve uma pequena rede terrestre implantada pelos ingleses na região do Cabo, durante a guerra dos bóeres, e outra na costa mediterrânea. Os países da América do Sul também criaram redes terrestres, que se interligaram progressivamente a partir de 1865, quando foi lançada uma linha sobre o Rio da Prata conectando o Uruguai e a Argentina. A partir daí, a rede continental se expandiu até o Chile e incorporou a rede brasileira (HUUDERMAN, 2003).

3.2.3.2.3 OS TELÉGRAFOS ELÉTRICOS TERRESTRES NO BRASIL

As principais fontes de informação utilizadas para compor um quadro da telegrafia terrestre no Brasil foram Victor Berthold (1922), Laura Antunes Maciel (2001) e Mauro Costa da Silva (2008). Em 1851, o governo contratou Guilherme Capanema para implantar uma linha telegráfica na capital, o que facilitaria a repressão aos desembarques ilegais de escravos na área do Valongo (perto da Prainha, na atual Praça Mauá). Em 1852, começou a operar uma linha subterrânea, ligando o palácio da Quinta da Boa Vista ao Quartel General do Exército no Campo de Santana. A obra utilizou como mão de obra os detentos da Casa de Correção, e dois tenentes do Corpo de Engenheiros do Exército foram treinados por Capanema para atuarem como telegrafistas (SILVA; MOREIRA, 2007, p. 53).

A rede foi ampliada a partir de 1854, com linhas aéreas ligando o Paço da Cidade, a Central de Polícia, os arsenais do Exército e da Marinha e os fortes onde ficavam os antigos telégrafos visuais, como o do Morro do Castelo. Mais tarde, foi instalada uma linha entre a Tijuca e Botafogo, e outra da fortaleza de Santa Cruz (em Jurujuba) até Niterói. Em 1857, foi

instalada uma linha da capital até Petrópolis, com dois segmentos aéreos e dois submarinos. Os aéreos iam da Cacua ao Saco do Pinhão, na Ilha do Governador, e de Mauá (antigo Porto da Estrela, em Magé, no fundo da baía de Guanabara) até Petrópolis; e os submarinos iam da Prainha (na área portuária da capital) até a Cacua e do Saco do Pinhão até Mauá. Em Magé, a linha seguia a ferrovia do Barão de Mauá.

No início da guerra contra o Paraguai, foi instalada uma linha do Rio de Janeiro até Porto Alegre, que começou a operar em 1866 e conectava os portos do litoral sul. Em 1868, com a telegrafia aberta a empresas privadas, foi dada uma concessão para levar uma linha até Minas Gerais. Em 1870, as indústrias foram autorizadas a estender linhas particulares até o posto telegráfico mais próximo. As empresas ferroviárias podiam ter telégrafos próprios ao longo das suas vias, mas deviam manter um fio para mensagens públicas.

A partir de 1870, enquanto a telegrafia submarina chegava ao país, a rede terrestre continuou crescendo. Em 1871, a linha do sul se ligou à rede uruguaia e se estendeu de Santos para o interior de São Paulo. Entre 1873 e 1886, a linha do norte seguiu até Belém, passando por todas as capitais litorâneas. Em 1890 e 1891, o telégrafo foi de São Paulo a Goiás e Mato Grosso. Pouco depois, as linhas mais ativas começaram a receber telégrafos Baudot, e as linhas principais se ramificaram pelo interior nas regiões economicamente mais ativas.

Já no século XX, apesar de existir um cabo subfluvial entre Belém e Manaus, o governo decidiu (como estratégia de ocupação territorial) abrir uma linha terrestre entre Mato Grosso e o Amazonas, o que foi feito por Cândido Mariano da Silva Rondon [1865-1958] até 1915. Em 1920, o país tinha quase 45.000 km de linhas terrestres, atingindo grande parte do território, mesmo que com baixa densidade (BERTHOLD, 1922).

3.2.3.2.4 ACORDOS TELEGRÁFICOS INTERNACIONAIS

Uma grande conquista da telegrafia elétrica foi a criação de uma rede internacional de comunicações. Mas logo foi percebido que essa estrutura exigia uma coordenação internacional que padronizasse códigos, equipamentos e procedimentos para garantir o funcionamento adequado do sistema (HUUDERMAN, 2003), e isso motivou o estabelecimento de acordos entre nações. Os primeiros, entre a Prússia e a Áustria (em 1849), entre a Prússia e a Saxônia (em 1849) e entre a Áustria e a Bavária (em 1850), resultaram na criação da União Telegráfica Austro-Germânica (em 1850), reunindo os quatro Estados.

A seguir, a França estabeleceu acordos com a Bélgica (1851), Suíça (1852), Sardenha (1853) e Espanha (1854). Em 1855, esses países constituíram a União Telegráfica Europeia

Ocidental que, entre 1859 e 1861, recebeu a adesão da Sicília, Dinamarca, Luxemburgo, Noruega, Vaticano, Portugal, Rússia, Suécia e Turquia. Finalmente, em 1865, foi formada a União Internacional de Telegrafia (UIT), reunindo a maioria dos países europeus e com sede na Suíça. A soma das linhas telegráficas dos países membros chegava a 500.000 km, e o total anual de telegramas enviados ultrapassava os 30 milhões (SOLYMAR, 1999, p. 59). O Regulamento Telegráfico aprovado definiu que o código Morse, então líder nas instalações europeias, seria adotado provisoriamente como padrão nas linhas internacionais.

Essa coordenação internacional só foi possível porque, nos países que criaram a UIT, os serviços telegráficos eram basicamente governamentais. Seguindo esse espírito, qualquer administração governamental de serviços telegráficos poderia tornar-se membro da União, mas as empresas privadas só poderiam mandar representantes às reuniões. Assim, os Estados Unidos não participaram da convenção de criação da UIT, porque suas linhas telegráficas pertenciam apenas a empresas privadas.

3.2.3.2.5 UM NEGÓCIO LUCRATIVO

Segundo Prescott (1860, p. 270-275), que foi superintendente das linhas telegráficas dos Estados Unidos na década de 1860, um sistema de telegrafia aérea nesse país tinha, na época, um custo de implantação aproximado de \$150 por milha, incluindo todos os instrumentos, baterias, dispositivos, postes, isoladores etc. Uma linha de 500 milhas (800 km) com 50 estações teria um custo total de \$77.750, incluindo baterias e dispositivos Morse. Esse custo era pouco maior na França (\$200 por milha) e provavelmente maior na Inglaterra, que seguia padrões de qualidade dos materiais e procedimentos mais apurados. Sobre o retorno do serviço nos Estados Unidos, o autor destaca que o sistema Morse, usado extensivamente no país, exigia um único operador por estação. Esse telegrafista, **trabalhando dezesseis horas por dia**, podia gerar trezentos despachos por dia a 25 centavos de dólar cada, proporcionando uma receita de 75 dólares, por dia. Isso, para quase todas as linhas do país. Não foram encontrados dados sobre os salários dos telegrafistas em questão para calcular a taxa de lucro dos empregadores.

Na Inglaterra, a telegrafia terrestre também não deixava de ser um negócio rentável. Basta ver a evolução das contas da *Electric Telegraph Company*. Segundo Solymar (1999, p. 59), entre 1851 e 1867, a receita bruta anual da empresa aumentou sete vezes, de £50.000 para £350.000. No mesmo período, o lucro líquido aumentou dez vezes: foi de aproximadamente £15.000 para cerca de £150.000.

3.2.3.2.6 REDES TELEGRÁFICAS TERRESTRES NO INÍCIO DO SÉCULO XX

Os mapas a seguir oferecem uma visão panorâmica da rede telegráfica terrestre em todos os continentes habitados, em 1901.



Figura 35 - Rede telegráfica terrestre na América do Norte e Central, 1901 (HOVEN, 1901).



Figura 36 - Rede telegráfica terrestre na América do Sul, África e Austrália, 1901 (HOVEN, 1901).

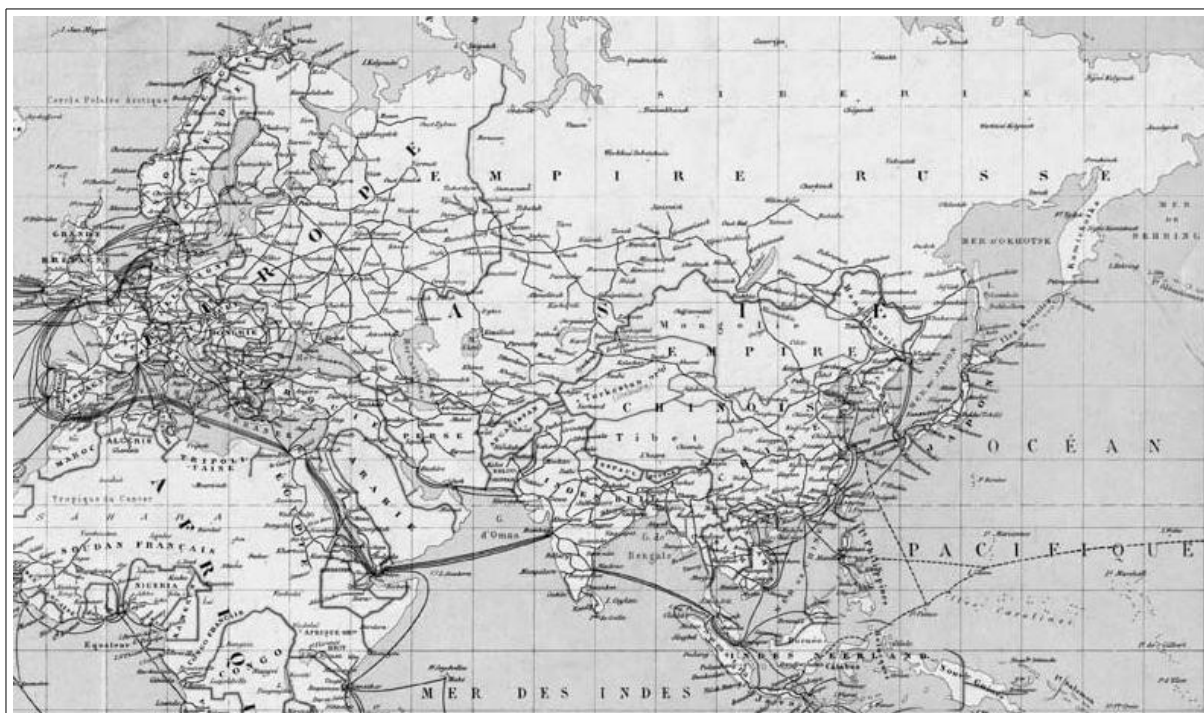


Figura 37 - Rede telegráfica terrestre na Europa e na Ásia, 1901 (HOVEN, 1901).

3.3 TELEGRAFIA SUBMARINA

Nesta seção vamos examinar as tecnologias envolvidas na telegrafia submarina e o processo de implantação de suas redes.

3.3.1 Tecnologias dos cabos submarinos

Após a consolidação das redes telegráficas terrestres, o próximo passo foi trabalhar na tecnologia que usava cabos submarinos. A empreitada dos cabos submarinos, do ponto de vista da engenharia, não foi feita às cegas. Por um lado havia o domínio de um conjunto de técnicas que hoje nos surpreendem pela sua eficácia; por outro lado, do ponto de vista sistêmico, dos materiais empregados, as contribuições das técnicas usadas na telegrafia terrestre foram o degrau necessário para o domínio dessa tecnologia. A telegrafia submarina foi exemplo da criação de uma tecnologia que foi irrigada por técnicas criadas para outros fins: muitas técnicas empregadas nos cabos submarinos foram herdadas da telegrafia terrestre; outras foram aproveitadas de outros ramos tecnológicos, como a confecção de blindagens

metálicas e a navegação. O conjunto de todas essas técnicas formou uma tecnologia própria. Isto se deu nas décadas de 1850 e 1860, e também teve a Inglaterra como precursora.

Em contraste com a rápida transferência de informações através do uso da telegrafia terrestre, a comunicação por via marítima provou ser um fato que dificultava os negócios de Estado e o comércio: informações que seguiam por navios a vapor e se propagavam por terra poderiam demorar mais de um mês para alcançarem o seu destino.

As comunicações entre a Inglaterra e a Índia, na época da implantação de cabos submarinos, eram muito precárias. Uma mensagem da Índia demorava quatro semanas para alcançar a Inglaterra: ia de Bombaim para Suez por navio, de Suez ao Cairo por terra e do Cairo por canal até Alexandria, de onde ia de navio até Marselha. De lá era enviada até Paris pela rede telegráfica visual francesa; de Paris ia de carruagem a Bolonha, onde pegava um navio até Folkestone, e de lá ia até Londres (HUUDERMAN, 2003, p.124).

Portanto, as necessidades de comunicações rápidas para o comércio e o controle político mais eficiente das colônias levaram ao investimento em uma tecnologia que ainda deveria amadurecer e que apresentou vários problemas de funcionamento no começo. Mesmo assim, tanto o governo inglês quanto os financistas particulares apostaram nessa tecnologia, que necessitava de maciços investimentos.

Depois das primeiras tentativas, realizadas em pequenos trajetos em rios e águas costeiras, o projeto era estender uma rede de cabos submarinos em profundidades e distâncias muito maiores do que até então. A técnica teria que vencer os seguintes desafios:

a) como revestir adequadamente os cabos para evitar a ação corrosiva da água salgada: qualquer furo no revestimento fazia com que a água penetrasse nele e comprometia o funcionamento do cabo;

b) como fazer o levantamento das características dos leitos oceânicos: foram desenvolvidos técnicas e aparelhos de sondagem e, através deles, constatou-se que o leito podia atingir profundidades de 6.000 a 8.000 m, e que nele habitavam moluscos que podiam atacar a integridade dos cabos;

c) como transportar os cabos: cabos longos implicavam em imensas massas a serem transportadas, o que a princípio foi feito usando navios adaptados, mas, posteriormente, foram construídos barcos especialmente adaptados para tais tarefas, os *cable ships*;

d) como assentar os cabos de forma suave nos leitos oceânicos: para isso, teve que ser construído um maquinário potente e preciso que suportasse a grande carga mecânica do cabo, evitando que o mesmo partisse;

e) como enviar sinais elétricos que, após percorrerem distâncias muito superiores às

usadas na telegrafia terrestre, ainda fossem discerníveis: na telegrafia submarina não podiam ser empregados repetidores.

3.3.1.1 Estrutura dos cabos submarinos

A tecnologia que envolveu os cabos submarinos herdou da telegrafia terrestre importantes contribuições, e alguns pesquisadores que atuaram na telegrafia terrestre trouxeram a sua experiência para ela. Basta lembrar que a telegrafia terrestre já tinha começado a fazer uso de cabos enterrados, tendo destaque as linhas subterrâneas da Inglaterra e Alemanha, como já foi visto.

O problema técnico principal, tanto dos cabos subterrâneos quanto dos submersos, consistia no revestimento dos condutores. As primeiras experiências com cabos submersos envolviam distâncias de poucos quilômetros e foram realizadas em águas rasas; para o revestimento dos mesmos foram adotadas soluções engenhosas, usando geralmente cordas de fibras vegetais, principalmente de cânhamo, embebidas em materiais impermeáveis já conhecidos e usados para outras finalidades. Quando começaram a ser desenvolvidos os cabos transoceânicos, que percorriam longas distâncias em grandes profundidades, os projetistas puderam escolher, entre os materiais testados, os que se mostraram mais eficientes.

3.3.1.1.1 CABOS SUBFLUVIAIS E COSTEIROS

A extensão de cabos em rios surgiu inicialmente como uma forma de aperfeiçoar armas de guerra. Em 1812, quando a Rússia foi invadida pelo exército de Napoleão, Pavel Schilling, então engenheiro do exército russo, recebeu a tarefa de criar minas que pudessem ser detonadas dentro de rios, para barrar o avanço das tropas francesas. Schilling criou um detonador elétrico que era ligado à mina pelo que chamou de "cordão condutor": um fio de cobre coberto com borracha e envernizado, que pode ser considerado o primeiro fio elétrico verdadeiro (BEASON, 1995; BEAUCHAMP, 2001).

O passo seguinte, na tecnologia de produção de cabos subaquáticos, foi o teste de diversas formas de revestimento, em busca dos meios mais eficientes de isolar o condutor contra os efeitos da água. Nos diversos experimentos realizados em vários países, ao longo de 40 anos, o condutor usado foi o fio de cobre.

Os primeiros experimentos foram feitos com a instalação de cabos subfluviais. Sömmering, em 1811, experimentou fios revestidos com cera (HUUDERMAN, 2003). Em

1838, Pasley testou um fio com isolamento de corda embebida em alcatrão, amarrado por um fio embebido em breu. Em 1839, o médico irlandês e superintendente dos telégrafos na Índia, William Brooke O'Shaughnessy [1809-1889], testou um condutor acondicionado em fibra de ratã e recoberto com fio asfaltado. Em 1845, Ezra Cornell [1807-1874], nos Estados Unidos, experimentou fios de cobre cobertos com algodão, revestidos de borracha e colocados em um tubo de chumbo (BRIGTH, 1898).

A segunda fase das experiências com linhas subaquáticas se deu nas águas rasas dos portos. Wheatstone, em 1844, criou, para essa finalidade, uma máquina para a confecção de um cabo múltiplo de sete condutores, recoberto com chumbo, isolado com cola e algodão. Siemens, em 1848, e o engenheiro elétrico inglês Charles Vincent Walker [1812-1882], na Inglaterra, em 1849, usaram condutores revestidos com guta-percha (BRIGHT, 1898; BEAUCHAMP, 2001; SIEMENS, 2008). Este revestimento, que já tinha sido adotado em linhas subterrâneas, mostrou-se o mais eficiente e, como veremos, mudou de forma definitiva o futuro da telegrafia submarina.

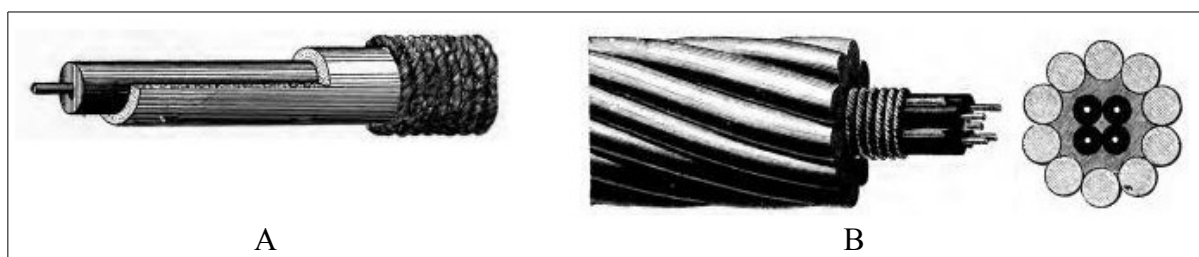


Figura 38 - Cabos subfluviais e costeiros.

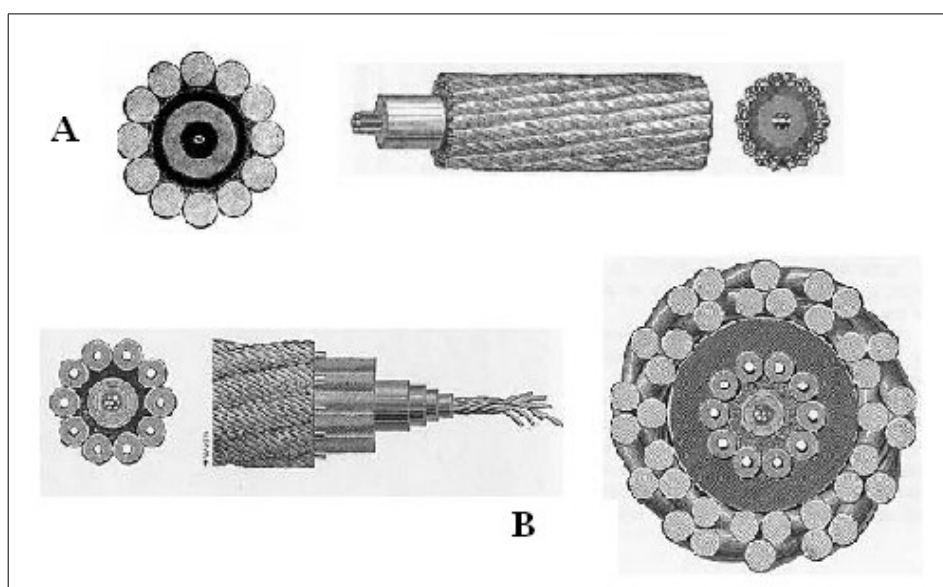
A - Cabo experimental de O'Shaughnessy Brooke (BRIGTH, 1898, p.2). B - Segundo cabo Dover-Calais, com blindagem externa (BRIGTH, 1892, p.11)

O primeiro cabo que ligou a Inglaterra à França através do Canal da Mancha, em 1849, era composto por um fio de cobre de 1,8 mm de diâmetro recoberto por uma camada de 12 mm de guta-percha. Seu assentamento no leito do mar era garantido por placas de chumbo postas sobre o cabo a cada 100 m (BRIGHT, 1898; HUUDERMAN, 2003). Mas esse cabo foi avariado por um pescador, o que mostrou a necessidade de uma blindagem externa. Foi então produzido um segundo cabo, composto por quatro condutores, com uma blindagem feita de dez fios de ferro de 7,5 mm de diâmetro cada (BEAUCHAMP, 2001).

3.3.1.1.2 O CABO SUBMARINO

Os cabos submarinos, destinados a serem lançados em grandes extensões e águas

profundas, representam o amadurecimento dessa tecnologia. Eram formados por três partes constituintes principais: condutores, revestimento e blindagem (BURNS, 2013). Os condutores eram compostos por fios de cobre, que apresentavam boa condutividade e ótimas propriedades mecânicas. Era neles que se dava a transmissão dos sinais elétricos. O revestimento tinha a função de proteger mecânica e eletricamente os condutores, evitando que a entrada da água, mesmo através de um minúsculo furo, causasse a fuga da corrente elétrica que circulava pelo condutor. Ele deveria ter as propriedades de ser facilmente trabalhado e adequado para as altas pressões encontradas no fundo dos oceanos. Para isso, era empregada a guta-percha e, às vezes, em ambientes cuja temperatura era mais elevada, a borracha.



*Figura 39 - Primeiros cabos transatlânticos.
A - primeiro. B - segundo (DIBNER, 1959, p. 23, 53).*

A blindagem tinha três funções. A primeira era reforçar o conjunto formado pelos condutores internos e o revestimento contra as tensões mecânicas quando do lançamento. A segunda era proteger contra a abrasão que poderia ocorrer no fundo do mar, devido a correntes marítimas. A terceira era ser resistente à corrosão da água. O uso das tiras de juta serviam para assentar melhor os fios metálicos sobre o revestimento, proporcionando também flexibilidade ao conjunto do cabo.

Os cabos denominados leves, que eram lançados em rios, não tinham blindagem; mas os cabos feitos para serem lançados no mar eram sempre blindados. Em termos de constituição, havia dois tipos de blindagem para os cabos submarinos: uma blindagem com diâmetro menor, usada no segmento de águas profundas, e uma blindagem mais robusta para

ser usada próxima à costa, onde os movimentos mecânicos do cabo, devidos às correntes marinhas e às marés, eram mais intensos. Essa blindagem mecânica era especificada por uma determinada quantidade de fios a serem enrolados de forma helicoidal ao longo de todo o cabo. Dependendo das condições de ambiente, a bitola dos fios variava.

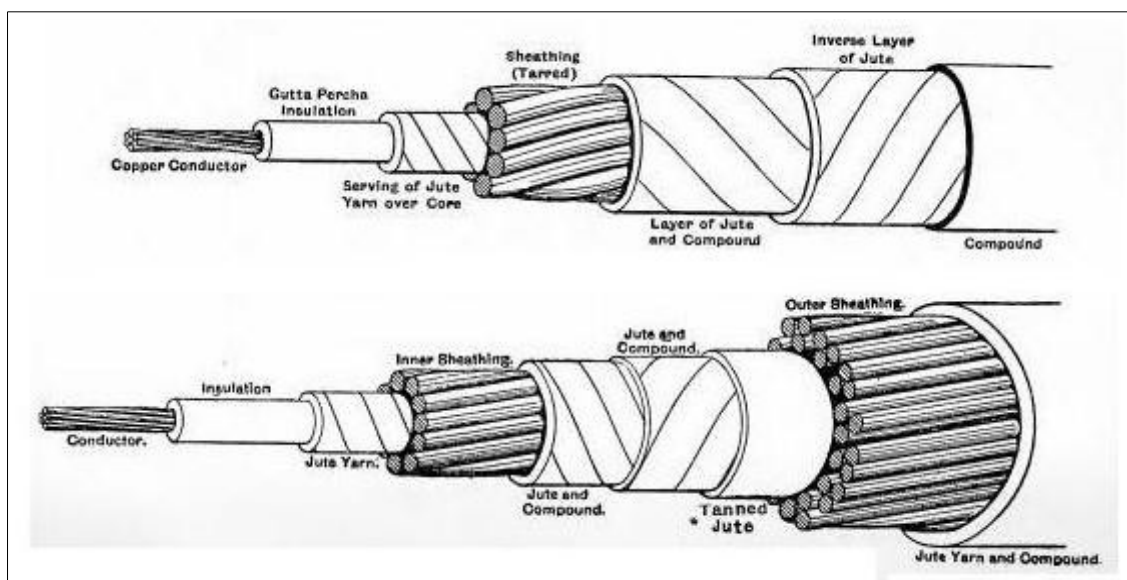


Figura 40 - Estrutura de cabos submarinos posteriores (BRIGHT; WILKINSON, 1908, p. 74)

3.3.1.2 Variáveis físicas dos cabos

As variáveis a serem consideradas para a confecção, o assentamento e a operação de um cabo podiam ser divididas em mecânicas e elétricas. Esses parâmetros ditavam os custos dos materiais, da confecção, do lançamento, dos equipamentos a serem instalados e da operação. O retorno do investimento dependia da vida média prevista para um cabo e do número de mensagens que o cabo poderia transportar; este último valor era função dos parâmetros elétricos do cabo, a serem analisados adiante.

3.3.1.2.1 ESPECIFICAÇÕES MECÂNICAS

As variáveis mecânicas de um cabo eram o comprimento, o peso, o número e a bitola dos condutores, o número de camadas de material isolante dos condutores, o número e a bitola do fio constituintes da blindagem e também a profundidade onde o cabo iria ser instalado. O número de camadas de gutta-percha aplicadas a ele dependia das condições de pressão a que

seria submetido.

A Inglaterra, no período da sua industrialização, decidiu não adotar o sistema métrico, e continuou usando como padrão as medidas imperiais, como a jarda e a libra. Ao mesmo tempo, havia padronizações informais usadas nos centros industriais e guildas, como a *Birmingham Wire Gauge* e a *Stubs Wire Gauge* (PÖLL, 2014). No caso, o padrão *Birmingham Wire Gauge* (B.W.G.), foi o usado nas especificações das bitolas dos fios utilizados em cabos submarinos, cuja produção as empresas inglesas dominavam.

O peso típico dos primeiros cabos submarinos era de 1 kg/m para os que seriam assentados em águas profundas e 10 kg/m para os segmentos cuja blindagem devia suportar as correntes submarinas e eventual atividade de pesca (HUUDERMAN, 2003). O peso total e a extensão de um determinado cabo determinavam a tonelagem mínima do navio e a robustez do maquinário a serem empregados para o assentamento. Se nos primeiros cabos foram aproveitados navios construídos para transporte de passageiros, a demanda dessa indústria fez com que se construíssem barcos especiais para tal fim. Os equipamentos para assentamento foram geralmente criados por pessoas ligadas de alguma forma à indústria de cabos.

3.3.1.2.2 ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS

Será visto posteriormente que os parâmetros elétricos - a capacitância e a resistência totais distribuídas ao longo do cabo - eram muito importantes porque determinavam a quantidades de caracteres enviados pelo cabo por minuto. Portanto serão feitas algumas considerações técnicas dos mesmos nos cabos submarinos, lembrando que, a indutância só será considerada relevante, depois, através dos trabalhos de Heaviside, na década de 1880.

A resistência de um condutor depende do comprimento e da área do mesmo, e também da temperatura ambiente - no caso, do leito oceânico ou de um rio.¹¹ Por isso, a temperatura era uma das variáveis a serem levantadas durante a sondagem. A resistência elétrica do revestimento de guta-percha de um cabo comum era da ordem de 2.000 MΩ por milha náutica a 75 °F (24 °C) e era afetada pela pressão. A capacitância (*electro-static capacity*, como era referida na época) do cabo era formada pelas partes condutoras, o núcleo e a blindagem,

11 *Varição da resistência do condutor com a temperatura*: $R = 0,8944^t \cdot r$, onde R é resistência em uma dada temperatura, t, a variação do aumento da temperatura em °C; r, a resistência na temperatura mais alta.

Resistência total do isolamento do cabo: $R_{\text{isol}} = k_1 \cdot \log(D/d)/L$ (MΩ); (1 MΩ = 10⁶ Ω) Onde: L é o comprimento, k₁ é uma constante, D e d são os diâmetros externo e interno.

A resistência da guta-percha variava com a pressão: $R_p = R (1 + 0,00023 p)$, onde R é a resistência original, p é a pressão em libras por polegada quadrada.

Capacitância total do cabo: $C = k_2 \cdot L/\log(D/d)$ (μF); (1 μF = 10⁻⁶ Farads), onde k₂ é uma constante que depende do material (guta-percha ou borracha) (BRIGHT, 1898, p. 270 passim).

separadas pelo material isolante (dielétrico) do revestimento - no caso, guta-percha ou borracha. Portanto, os valores de capacitância (e da resistência do isolante) dependiam dos diâmetros interno e externo das partes constituintes do cabo. Wilkinson (1908, p. 39), para cabos mais recentes, informa valores típicos de resistência em torno de 6 ohms por milha náutica e valores típicos de capacitância, variando de 0,35 a 0,8 microfarads por milha náutica. A seguir é dada uma tabela com os parâmetros de um cabo confeccionado em meados da década de 1880. Ela serve para se ter uma noção da faixa de valores envolvidos das variáveis.

Tabela 1 - Especificações do cabo submarino entre as ilhas Bonny e Príncipe, no Golfo da Guiné (África, 1885)

Variável	Medida
Distância entre os postos telegráficos	192,7 milhas náuticas (357,2 km)
Distância sobre a água	180,88 milhas náuticas (335,2 km)
Folga percentual do cabo	6,56 milhas náuticas (12,16 km)
Profundidade máxima	1444 braças (2,64 km)
Profundidade média	712 braças (1,3 km)
Resistência total medida da linha	1292,5 ohms
Resistência total corrigida pela temperatura	1298,3 ohms

Fonte: adaptado de Wilkinson (1908, p.182).

3.3.1.3 Técnicas de fabricação

As fases da confecção de um cabo submarino eram compostas por processos executados na seguinte ordem:

- a) separação dos fios condutores em segmentos determinados e seu enrolamento;
- b) aplicação dos materiais aderentes e isolantes sobre o conjunto dos fios enrolados;
- c) soldagem dos segmentos já revestidos;
- d) aplicação da blindagem ao conjunto;
- e) realização de testes mecânicos e elétricos.

3.3.1.3.1 CONDUTORES INTERNOS

Entre as décadas de 1820 e 1830, os cientistas estavam fazendo experimentos com a eletricidade, para os quais confeccionavam bobinas e eletromagnetos com fios de ferro

recobertos com seda ou algodão. Esses fios eram usados originalmente para acionar mecanicamente os badalos para chamar os criados nas residências, sendo denominados *copper bell wires* (BURNS, 2013). Faraday costumava empregar, em seus experimentos, fios usados na confecção de guarda-chuvas, o que mostra a evolução que teria de acontecer em termos de confecção de condutores. Os fios de cobre na época eram caros, e foi a industrialização que proporcionou a generalização do seu uso. No caso do primeiro cabo entre Dover e Calais, a empresa forneceu um cabo de cobre com a bitola 14 B.W.G., usado originalmente como *bell wire*. As qualidades mecânicas e elétricas (de condutividade) do cabo deixavam muito a desejar, devido à variação da qualidade do cobre. Os cabos eram fornecidos em segmentos de 91,4 m (100 jardas) e depois soldados. Com o advento do cabo transatlântico, a técnica foi aprimorada, de modo que os condutores passaram a ser produzidos com segmentos de 1,85 km (uma milha náutica) e posteriormente soldados.

3.3.1.3.2 REVESTIMENTO

A condição para a construção das redes de cabos subterrâneos e de cabos submarinos foi encontrar um revestimento que tivesse características adequadas. Alguns materiais, já usados nas linhas terrestres, foram experimentados na tentativa de instalar os primeiros cabos submarinos. O algodão e a seda, usados a princípio como revestimentos isolantes dos fios condutores, eram inadequados para o uso nos cabos submarinos. Tiras de algodão com piche e resina, corda embebida em alcatrão, foram usadas com pouco sucesso. A solução foi encontrada na guta-percha (que já era usada em cabos subterrâneos) e, em menor escala, na borracha. A guta-percha mostrou-se bastante adequada porque, quando os cabos eram submersos, a pressão fazia com que ela ficasse mais aderente ao cabo, e a temperatura fazia com que sua resistência elétrica aumentasse. O mesmo ocorria com a borracha.

Guta-percha

A guta-percha (do malaio *gutah*, goma + *percha*, árvore) é uma árvore do gênero *Palaquium* (Sapotáceas), proveniente da Ásia, podendo ser encontrada nas ilhas que formam a atual Indonésia, no sudeste da Ásia (COUTEUR; BURRESON, 2006). Produz uma resina quimicamente parente da borracha e da balata. A resina da guta-percha tem a propriedade de se contrair e se tornar flexível a temperaturas abaixo de 40 °C, o que a tornava ideal para uso em cabos submarinos a grandes profundidades (HEADRICK, 1987). Amostras do produto foram enviadas, em 1843, por William Montgomerie, cirurgião de Singapura, para serem

apreciadas pela *Royal Society*. Pouco depois ela era usada, a princípio para a confecção de utensílios domésticos. Faraday (1855), em 1848, analisou amostras de guta-percha e concluiu que ela seria um material adequado para o revestimento de condutores metálicos, substituindo inclusive a goma-laca.

Borracha

A borracha (*caucho* ou *indian rubber*) é a resina obtida principalmente da seringueira (*Hevea brasiliensis*), uma árvore nativa do Brasil e países vizinhos (DEAN, 1987; SANTOS, 2013). Seu ponto forte em relação à guta-percha era que, como isolador, possuía alta resistência e baixa capacitância. Mas ela precisa ser vulcanizada para se tornar isolante, e tem a propriedade de tornar-se quebradiça. Além disso, a borracha apresentou problemas de corrosão pela água do mar quando submersa, o que propiciava o ataque de moluscos. Essa dificuldade foi contornada através da aplicação, por cima da borracha vulcanizada, de uma porção de borracha contendo 6% de enxofre e 10% de sulfeto de chumbo. Devido ao fato da guta-percha perder as suas propriedades mecânicas a temperaturas acima de 40 °C, a borracha foi empregada no revestimento em regiões tropicais, como ocorreu no cabo subfluvial instalado no rio Amazonas pela *Siemens Brothers* em 1895. Cabe lembrar que o processo de vulcanização da borracha, que tornou seu uso generalizado na indústria, foi criado pelo inventor americano Charles Goodyear [1800-1860] em 1839.

Aplicação

O processo de produção do revestimento de guta-percha envolvia a retirada de resíduos sólidos do látex, a secagem, a trituração, a prensagem, a formação de tiras (calandragem), a retirada da umidade e a cobertura dos cabos, com a aplicação de calor e a verificação da espessura da camada que estava sendo aplicada. Todos os passos do processo de confecção eram perfeitamente dominados, e eram executados através de máquinas especialmente projetadas, usando a energia do vapor.

No tratamento da guta-percha e da borracha, era dada grande atenção à pureza e à umidade retida nos poros do material. Nas primeiras aplicações nos condutores, a guta-percha era misturada com enxofre, na crença de que isso aumentaria suas capacidades isolantes. Porém, isso afetava o material, e esta, como já vimos, foi a razão de as primeiras linhas terrestres subterrâneas sofrerem rápida deterioração. Em 1869, Willoughby Smith, engenheiro que estava trabalhando no cabo Suez-Aden-Bombaim, aperfeiçoou o método de retirada de umidade da guta-percha através da secagem após a moagem a uma temperatura de 38 °C. A

consequência desse passo no processo de confecção foi a diminuição da capacitância a 20% do valor do material com esse tratamento. A importância desse processo foi que diminuía a quantidade de eletrização do cabo e, por conseguinte, aumentava a velocidade de transmissão. Esse processo também foi obtido para a borracha, alcançando praticamente os mesmos resultados (BRIGHT, 1898, p. 297).

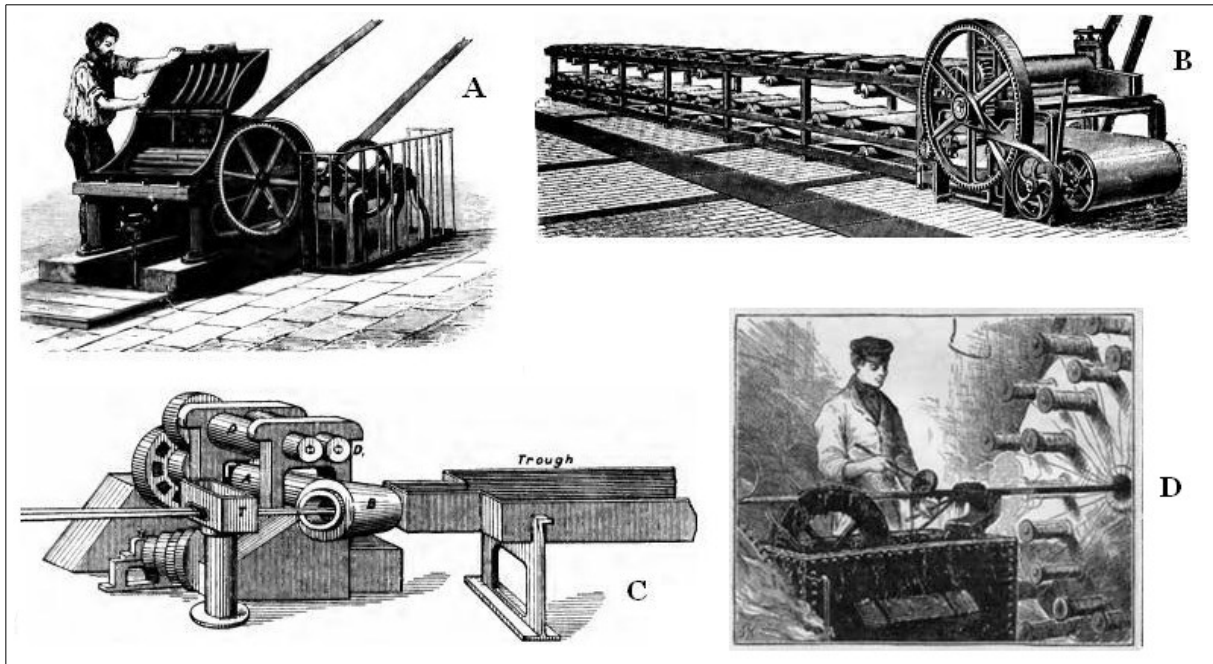


Figura 41 - Produção de fio revestido com guta-percha.

A - máquina trituradora. B - máquina de calandragem. C - máquina moderna para revestimento (BRIGHT, 1898, p. 287). D - método antigo de revestimento com piche e juta (MUNRO, 2014).

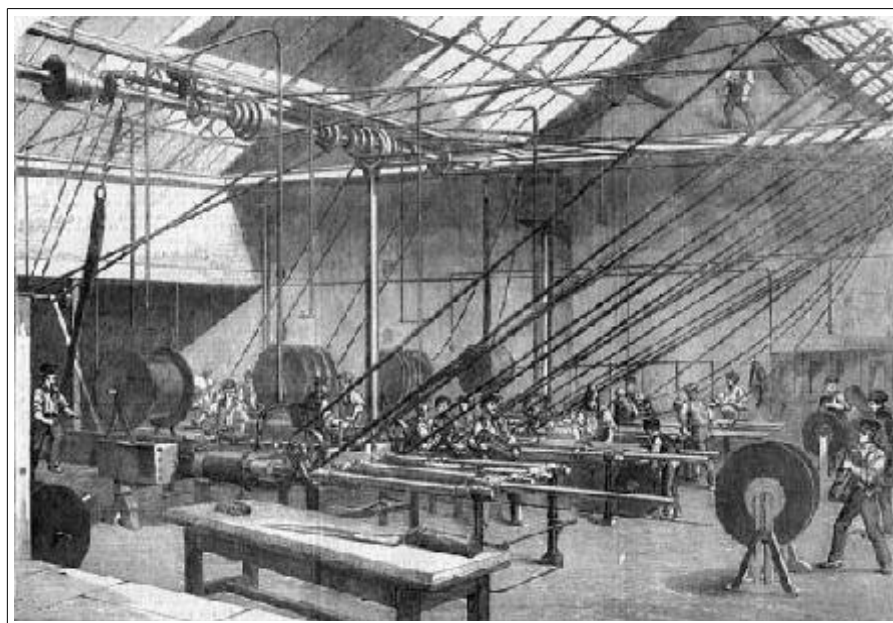


Figura 42 - Máquinas de revestimento da Gutta Percha Company (GLOVER, 2014)

Após a aplicação do revestimento, testes elétricos e mecânicos eram feitos de forma contínua. Esses procedimentos, nas várias etapas do processo de produção, foram as primeiras aplicações do que seria posteriormente denominado controle de qualidade; mas eles só foram adotados após os problemas constatados nos primeiros cabos, principalmente o primeiro cabo Atlântico.

Testes de isolamento e continuidade

O objetivo desses testes era verificar a integridade elétrica do isolamento: qualquer furo nele, por menor que fosse, causava a fuga do sinal. Na fábrica da *India-rubber, Gutta-percha, and Telegraph Works* realizavam-se esses dois testes e também os testes de pressão em tanques. Os testes eram feitos em bobinas de 3,3 km (2 milhas) enroladas em tanques com água a 24 °C. Células voltaicas associadas em série proporcionavam uma tensão de centenas de volts, que era aplicada ao revestimento do cabo, com um galvanômetro conectado na extremidade oposta. Qualquer imperfeição no revestimento era detectado pelo galvanômetro.

Para o teste da malha central de condutores, o teste era feito levando-se em consideração que o cabo oferece uma certa resistência à passagem de corrente, e essa resistência aumenta com o comprimento do condutor, como determinado por Ohm em 1827. O rompimento do condutor, em qualquer ponto, iria causar uma diminuição da resistência proporcional à distância do rompimento em relação ao instrumento de teste. Como a fuga da corrente para a água se dá no ponto de rompimento do cabo, encontrava-se assim o lugar do rompimento do núcleo, devido à fuga de corrente para a água (MAVER, 1903).

Testes de pressão

Testes usando tanque já haviam sido feitos nos cabos ligando a França à Argélia. O modelo do tanque que aparece na Figura 43 está descrito no relatório sobre os problemas e soluções dos cabos submarinos encomendado pelo governo inglês em 1859, que será visto posteriormente (COMMITTEE, 1861, p.448). Segmentos de cabos recobertos por guta-percha eram enrolados em bobinas e colocados em tanques cheios de água, onde era feito vácuo para simular toda a faixa de pressões a que os cabos seriam submetidos quando submersos. A pressão fazia com que houvesse maior aderência do revestimento ao condutor e pequenas bolhas no revestimento eram expulsas. O teste de pressão durava em torno de 12 minutos e, nesse tempo, eram feitos testes elétricos de isolamento.

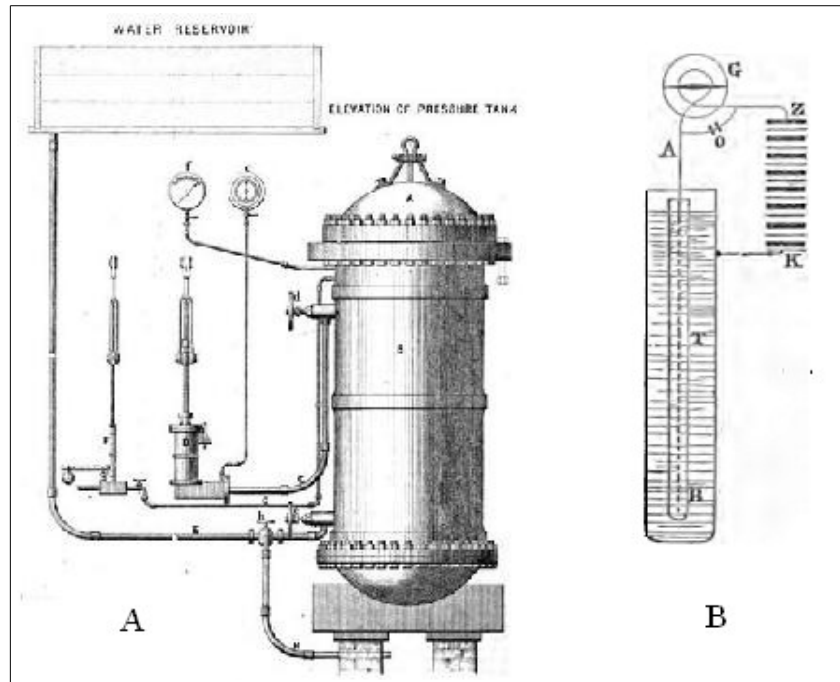


Figura 43 - Testes do cabo.

A. Aparelho de Reid para simular a pressão do fundo dos oceanos (COMMITTEE, 1861, apêndice n. 11, quadro n. 2). B. Teste de isolamento elétrico (REPORT, 1873, p. 230)

Emenda de cabos (splices)

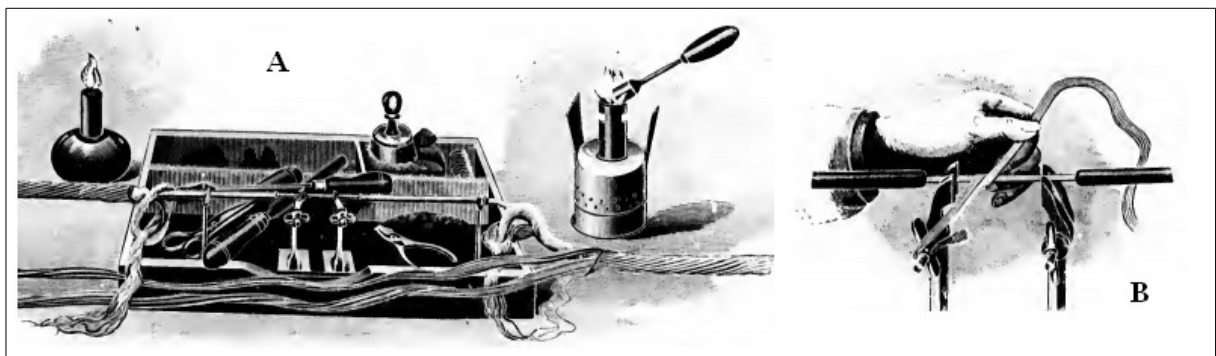


Figura 44 - Emenda de cabos.

A - Bancada e ferramentas de emenda (BRIGHT, 1898, p. 362). B - Aplicação de de uma tira de fios antes da soldagem (BRIGHT, 1898, p. 363)

As emendas eram parte do processo de fabricação e reparo de cabos. Como os cabos eram fabricados em segmentos, eram feitas emendas nos condutores centrais, e depois era feita a aplicação do revestimento nas partes emendadas, formando um cabo contínuo, antes de ser aplicada a blindagem. Quando eram necessários reparos do cabo nos navios, era descoberto o ponto onde houve a ruptura ou outro problema, através de técnicas especiais, sendo que a blindagem era desfeita. O processo de reparo consistia em limpar os condutores,

emendá-los, envolver a emenda com fios de cobre e soldá-los (BRIGHT, 1898).

3.3.1.3.3 BLINDAGEM

A técnica de fabricação de cordas metálicas foi a ancestral da técnica de blindagem externa dos cabos submarinos. Essas cordas foram desenvolvidas pelo engenheiro Wilhelm Albert [1787-1846] por volta de 1834, na Alemanha, para substituir as cordas de cânhamo então usadas para tracionar os carros das minas de carvão. A tecnologia se difundiu rapidamente pela Grã-Bretanha e, no final da década de 1830, já havia algumas firmas que as fabricavam (SAYENGA, 2013). Como exemplo, temos Robert Stirling Newall [1812-1889], um engenheiro de minas inglês, que inventou uma máquina para a fabricação de cordas metálicas, a partir da inspiração de Lewis Gordon ao visitar as minas na Alemanha em 1837.

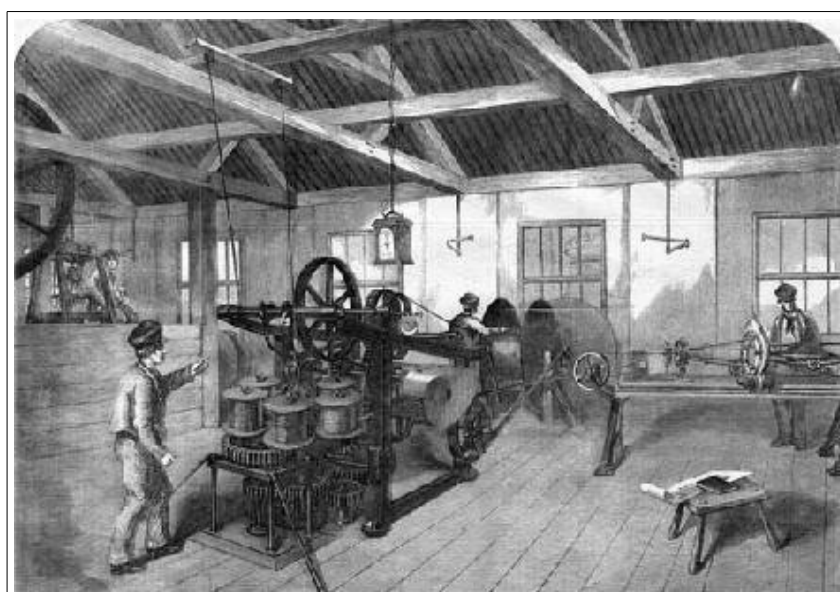


Figura 45 - Máquina de aplicação da blindagem (GLOVER, 2014).

Outro desenvolvimento tecnológico importante foi a utilização do processo Bessemer, a partir de 1855, para a confecção dos fios para a blindagem. Esse processo permitia uma maior homogeneização do material dos fios de ferro, que eram misturados com aço. Assim, podia-se fabricar um fio com a mesma robustez do aço, porém sem a mesma elasticidade, o que facilitava a construção da blindagem. Tais fios foram introduzidos pela firma *Webster & Horsfall*, tradicional fabricante de fios metálicos para piano (BRIGTH, 1898).

3.3.1.4 Técnicas de instalação

3.3.1.4.4 NAVIOS

Os lançamentos dos primeiros cabos ligando a Inglaterra ao continente e dos três primeiros cabos transatlânticos usaram navios a vapor adaptados para a tarefa. Mas para o desenvolvimento da indústria de cabos, foi importante que houvesse navios dedicados, próprios para as operações de lançamento, o que começou a ocorrer na década de 1870. Daí em diante, os *cable ships* foram construídos para sondagem, lançamento e reparo de cabos.

Great Eastern

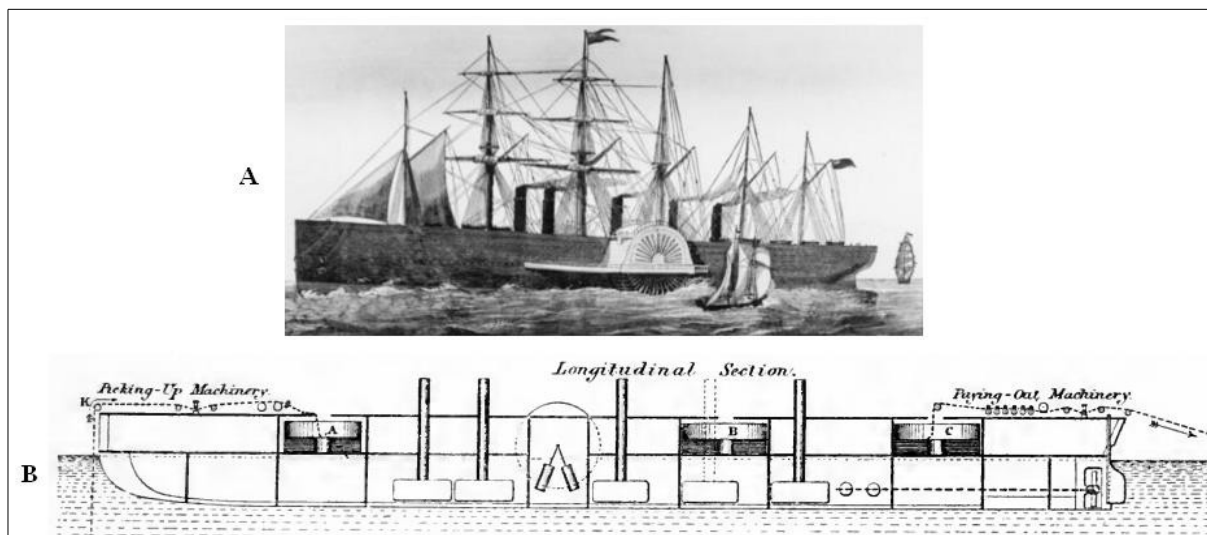


Figura 46 - *Great Eastern* (BRIGHT, 1898, p. 94).

A - arranjo para lançar o cabo do *Great Eastern*. B - Corte longitudinal do *Great Eastern* mostrando os três tambores de cabos e os equipamentos de assentamento na proa e de recolhimento na popa.

O primeiro cabo Atlântico bem sucedido foi lançado em 1866. Ao contrário do cabo anterior, foi confeccionado em uma só peça e pesava 9.000 toneladas. Para transportar tamanha carga, foi usado o *Great Eastern*, o maior navio da época, capaz de deslocar 20.000 toneladas e com 200 metros de comprimento, construído pelo engenheiro mecânico e civil inglês Isambard Kingdom Brunel [1806-1859]. Chamava-se originalmente *Leviatã*, fora usado para transportar imigrantes para a Austrália e, por ocasião do lançamento do cabo, estava ocioso. Foi então adquirido pela firma *Glass, Elliot and Co.*, em 1864, e adaptado para acomodar os três tanques em que ficavam as bobinas em que o cabo foi enrolado. O *Great Eastern* continuou sendo usado para lançamento de cabos até 1870.

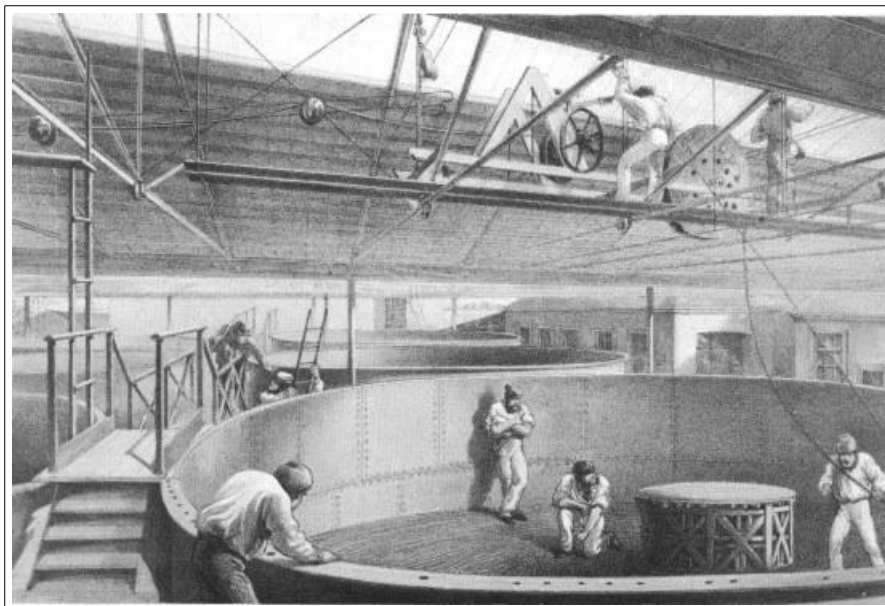


Figura 47 - Enrolando o cabo no tanque do *Great Eastern* (DIBNER, 1959, p. 54).

Silvertown

Foi o primeiro navio feito especialmente para o lançamento de cabos (BASSALO; CRISPINO, 2007). Foi lançado em 1873 e, na época, era o segundo maior navio, depois do *Great Eastern*. Com um comprimento de 104 m, era capaz de deslocar aproximadamente 5.000 toneladas. Originalmente se chamava *Hooper* e pertencia à *Great Western Telegraph Company*. Foi adquirido pela *India Rubber Company* em 1881 e rebatizado como *Silvertown*. Esteve no Brasil, na década de 1870, quando lançou cabos ao longo da costa, interligando os principais portos do país, e em 1892, quando foi usado para lançar cabos até Fernando de Noronha, interligando o Brasil com a Europa (BRIGHT, 1898, p.603).

Faraday

Pela mesma época da construção do *Hooper*, a *Siemens Brothers*, na Inglaterra, mandou fazer um navio para os trabalhos com cabos denominado *Faraday*, que foi construído entre 1873 e 1874, por *Mitchell & Co.*, em New Castle. Tinha 5.000 toneladas, 108 m de comprimento e duas hélices para poder manobrar melhor. Foi usado para muitas operações de sondagem, lançamento e reparo até 1923, lançando um total de 60.000 km de cabos (HUUDERMAN, 2003). O *Faraday* foi usado para lançar um cabo Atlântico ligando a França diretamente aos Estados Unidos.

3.3.1.4.1 SONDAGEM DO LEITO OCEÂNICO

Os primeiros cabos submarinos foram instalados ao longo da costa ou atravessando trechos estreitos de mar e até mesmo rios, lugares para os quais já existia tecnologia náutica para medição da profundidade da água nos portos e baixios: uma linha com um peso na ponta e marcadores a intervalos definidos. Os navios e os barcos fluviais usavam uma sonda formada por uma linha de 200 braças (366 m) de comprimento, o que era suficiente para atingir a plataforma continental (ROZWADOWSKI, 2005). Mas o lançamento de cabos intercontinentais teria sido impossível sem uma nova tecnologia. Foi necessário desenvolver ou aperfeiçoar técnicas para a sondagem do leito oceânico que levantassem dados de profundidade e temperatura, e recolhessem amostras de material do leito oceânico.

Essa tecnologia foi desenvolvida nas expedições exploradoras realizadas pelos Estados Unidos, a partir da década de 1830, para estudar, para fins navais e comerciais, as regiões percorridas por navios americanos de pesca e transporte. Na expedição exploradora do Pacífico Norte, de 1853, foi utilizado pela primeira vez o instrumento desenvolvido em 1852 pelo tenente da Marinha John Brooke [1826-1906], o *Brooke sounder* (ROZWADOWSKI, 2005). Consistia em uma sonda removível, com um cabo de alguns milhares de braças com marcação de distâncias, que coletava uma amostra do leito oceânico ao tocá-lo. Posteriormente, foram criados outros instrumentos de sondagem (WILKINSON, 1908).

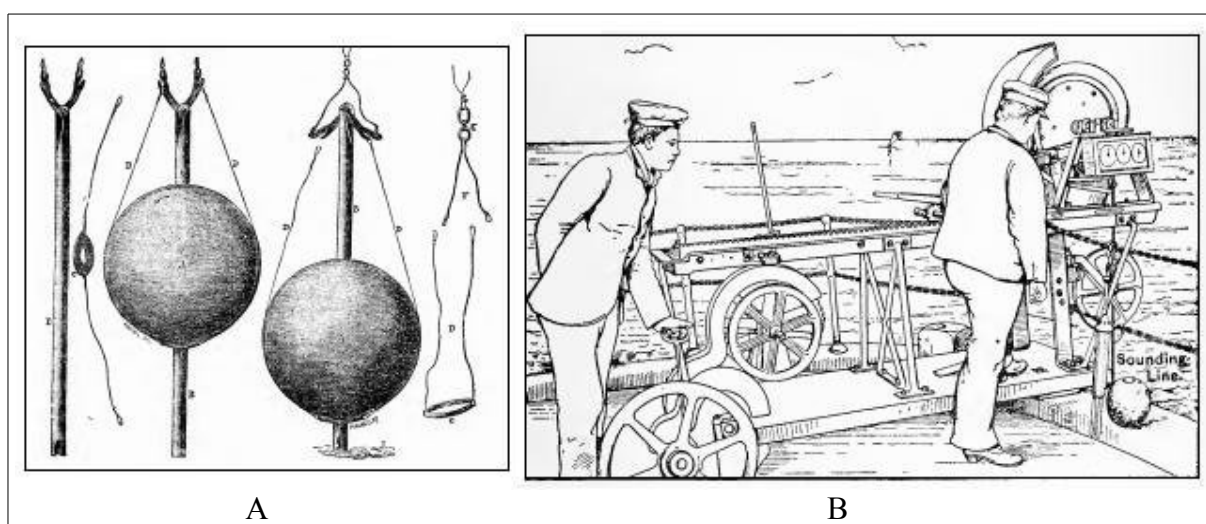


Figura 48 - Instrumentos de sondagem.
 A - modelo de Brooke (MAURY, 1861, p. 301). B - Tipo mais recente (WILKINSON, 1908, p. 9).

Como todos os instrumentos vistos até agora, os dispositivos de sondagem também

evoluíram ao longo do tempo: em 1874, Thomson, em mais uma de suas invenções, desenvolveu um dispositivo de sondagem que, ao contrário dos anteriores, usava um fino cabo de aço (usado em piano) e fez o seu primeiro teste a bordo do navio *Faraday*. A vantagem desse dispositivo é que ele podia ser usado com o navio em movimento. Ele foi usado nas sondagens que o navio Hooper fez para o lançamento da primeira seção do cabo submarino que ligava Pernambuco ao Pará, encomendado à *Western and Brazilian Company* (SMITH; WISE, 1989).

3.3.1.4.2 MAQUINÁRIO DE LANÇAMENTO E PUXAMENTO

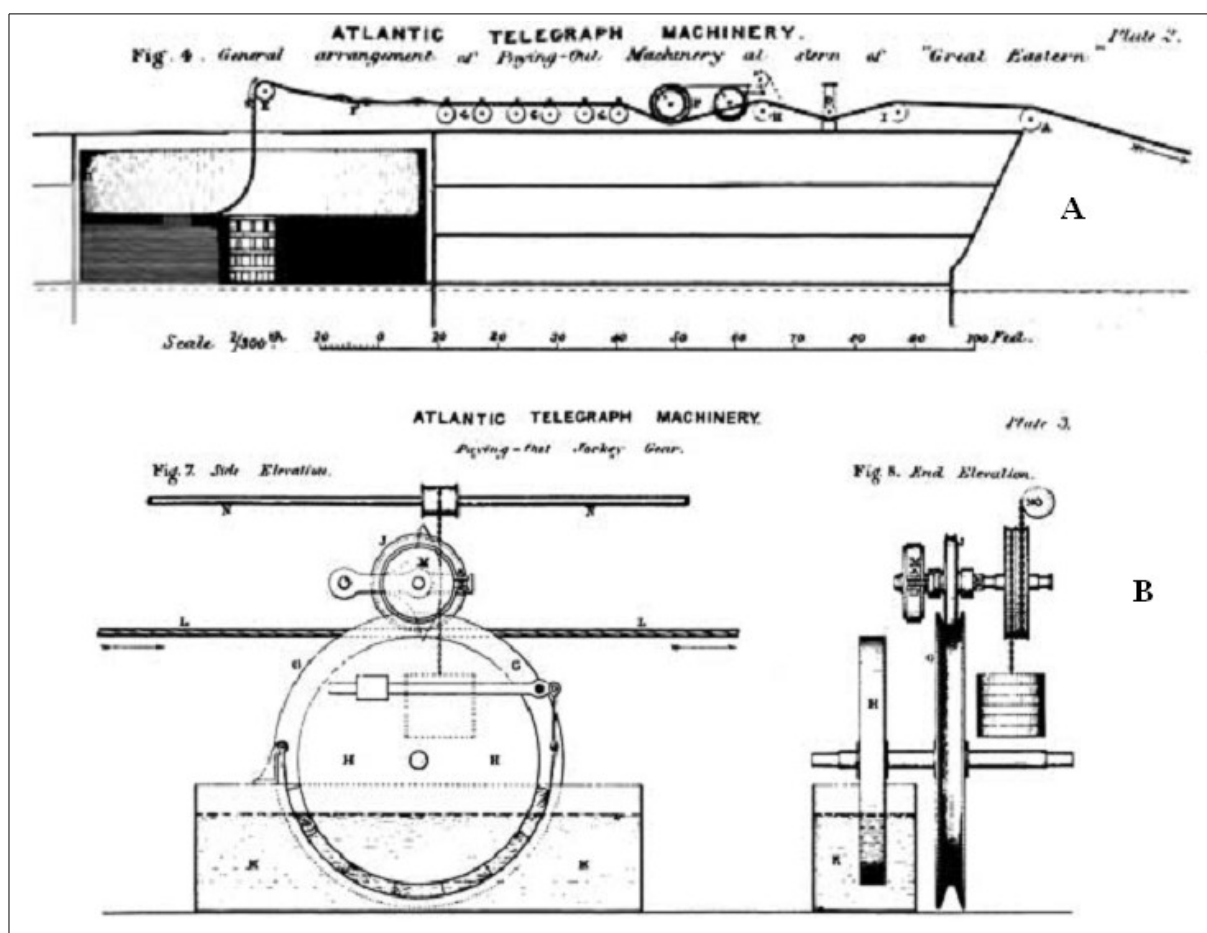


Figura 49 - Sistema de liberação do cabo usado no *Great Eastern*.
 A - Esquema. B - Tambor de liberação do cabo integrado com o freio e reservatório com água para resfriamento. (ELLIOT, 2014)

Nos primeiros lançamentos, o cabo era acondicionado em tambores, onde ficava enrolado como um carretel. Posteriormente, os cabos foram acondicionados em tanques. Nas primeiras tentativas de lançamento, apesar do maquinário de lançamento já ter sido

desenvolvido, era preciso ter um conhecimento mais apurado da taxa de liberação (*paying out*) do cabo das bobinas, que chegavam a pesar milhares de toneladas. O segredo residia em como liberar o cabo de forma suave, com tensão constante, de acordo com a velocidade do navio, de modo a ser assentado no leito marinho. Pouca tensão fazia com que houvesse uma porção de cabo com uma folga excessiva, e muita tensão podia fazer com que o cabo se partisse.

A liberação do cabo era feita por possantes máquinas a vapor acionando um tambor, e o controle era feito através de um dinamômetro que media a tensão mecânica do cabo, que acionava um freio através de fricção. Os equipamentos para recolhimento do cabo (*picking-up*), em caso de problemas com o mesmo, ficavam na proa do navio.

3.3.1.4.3 RECUPERAÇÃO E REPARO

Os trabalhos com cabos submarinos envolviam a necessidade eventual de recuperação de um cabo partido em algum lugar do oceano, que podia ocorrer algumas vezes no assentamento de um cabo. Para isso, foram construídas máquinas e desenvolvidas técnicas apropriadas.

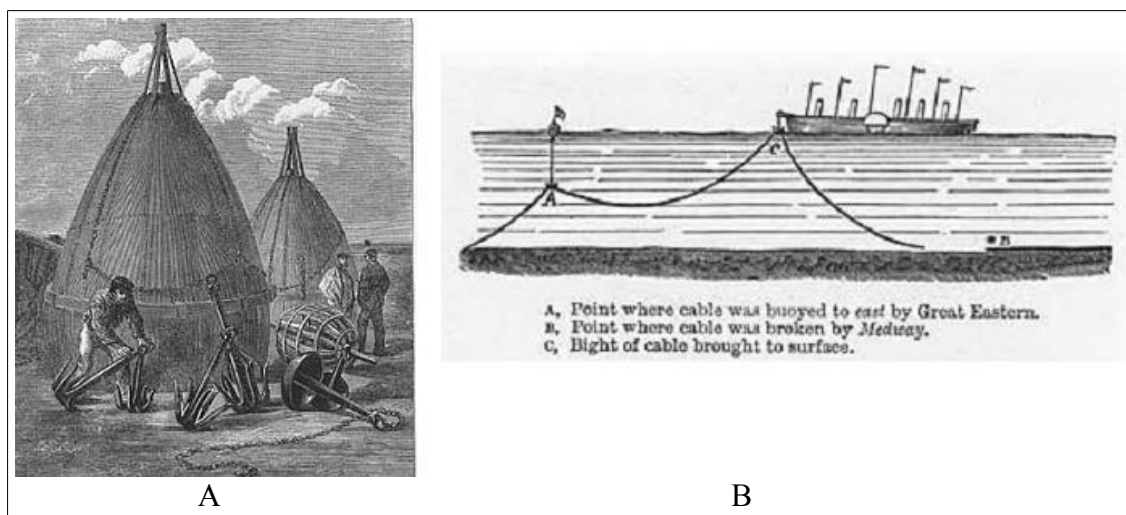


Figura 50 - Recuperação de cabos.

A - Boias e grapnels. B – Técnica de recuperação do cabo (DIBNER, 1963, p. 65, 72).

Com o desenvolvimento das técnicas elétricas, era possível saber a localização exata de um cabo partido ou com funcionamento deficiente. Os mesmos navios que assentavam cabos faziam esse trabalho. Ao chegar no local da falha, o cabo era içado através de ganchos especiais denominados *grapnels*, e suspenso através de boias. Então a parte defeituosa do

cabo era levada ao navio para fazer a emenda (*splíce*) e posteriormente eram realizados testes elétricos.

3.3.1.4.6 INSTRUMENTAÇÃO DE TESTE

Antes de abordar a instrumentação de teste, convém falar sobre dispositivos e circuitos usados em medidas precisas das variáveis dos circuitos elétricos que foram de fundamental importância para o desenvolvimento da eletricidade em geral e da telegrafia em particular.

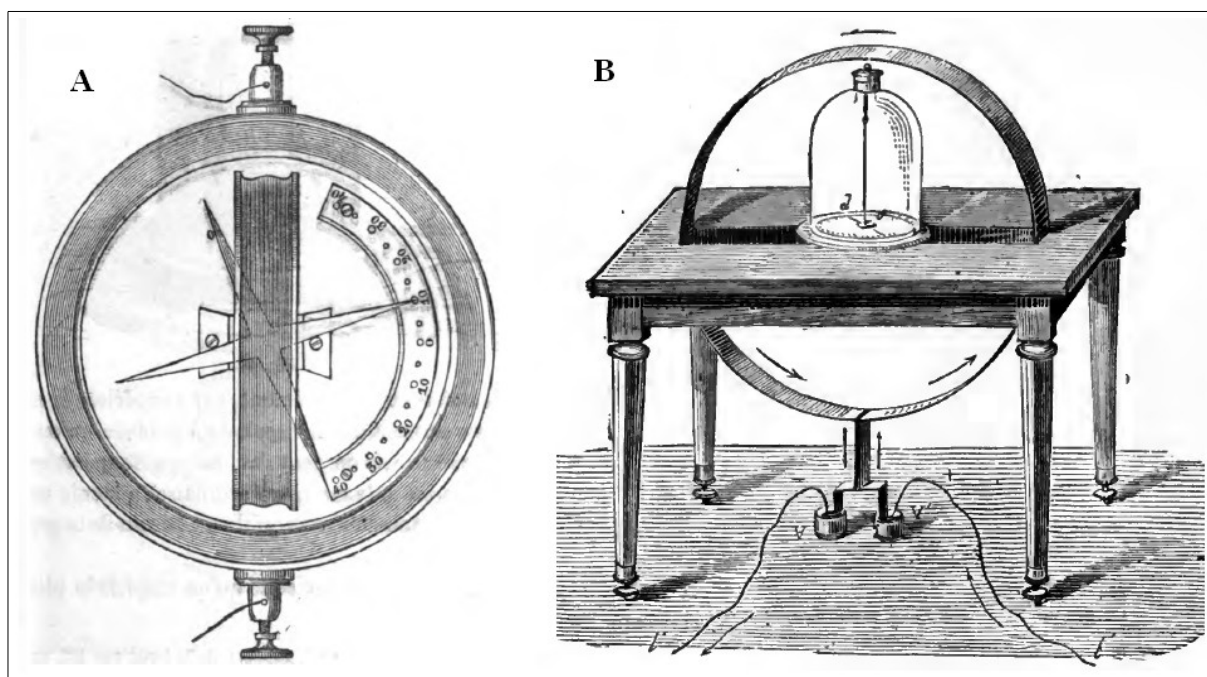


Figura 51 - Estrutura de um galvanômetro.

A - com escala (BLAVIER, 1857 p. 35). B - galvanômetro de tangente; uma bobina percorrida por corrente envolve a campânula de vidro com um ponteiro suspenso; a corrente é aplicada na bobina através de dois recipientes com mercúrio. (PRESCOTT, 1888, p. 136).

Já foi visto que o uso do galvanômetro para as medidas de corrente foi um aprimoramento do aparato de Oersted para a verificação da relação entre eletricidade e magnetismo. É preciso lembrar que, para as medidas feitas em telegrafia, ainda não havia unidades elétricas absolutas: usava-se o galvanômetro com uma escala graduada e avaliava-se a quantidade de corrente baseada na deflexão em graus do instrumento. Outra técnica usada era a da substituição: tomava-se um fio ou um material resistivo considerado como padrão, aplicava-se uma bateria e media-se a quantidade de graus defletidos na escala do galvanômetro; tomava-se o fio ou material que se desejava medir e, se a deflexão alcançada fosse igual, os valores de resistência seriam iguais em ambos materiais; se não fossem iguais,

calculava-se a relação de magnitude de resistências entre elas.

A necessidade sentida pelos físicos de maior precisão das medidas levou à adoção do galvanômetro diferencial e da ponte de Wheatstone. O galvanômetro diferencial difere do galvanômetro comum pelo fato de possuir dois enrolamentos próximos ao ponteiro indicador. O posicionamento do ponteiro será devido à interação dos campos magnéticos criados pela passagem de corrente, em sentidos contrários, pelos dois enrolamentos: um ligado a uma resistência padrão e o outro, à resistência a ser medida. Se as duas correntes que passam são de mesmo valor, o ponteiro não se deflexionará; caso contrário, a deflexão se dará em função da soma algébrica das correntes nos enrolamentos (MAXWELL, 1954).

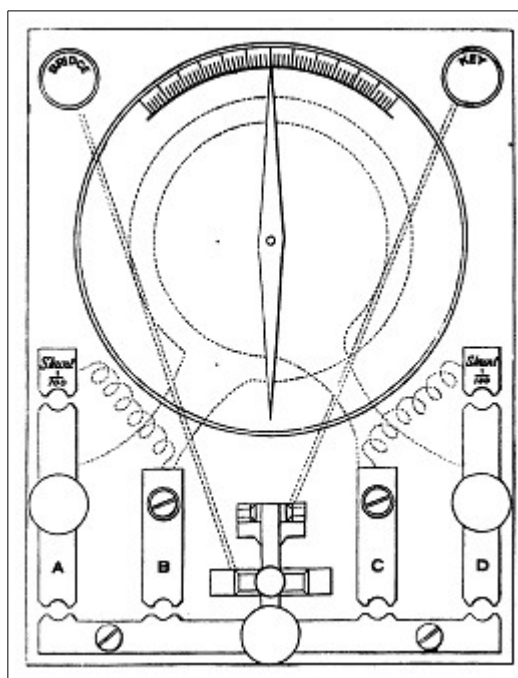


Figura 52 - Galvanômetro diferencial (CLARK, 1868, frontispício)

Ponte de Wheatstone

O circuito da ponte de Wheatstone, foi inventado em 1833 por Samuel Hunter Christie [1784-1865] em suas investigações sobre magnetismo e usada por Charles Wheatstone (1843) em suas pesquisas sobre as leis das correntes elétricas. Embora Wheatstone tenha atribuído corretamente a invenção a Christie, o dispositivo ficou conhecido com o seu nome. É um circuito muito sensível, e prevaleceu sobre o método que usa o galvanômetro diferencial.

O seu funcionamento é baseado na comparação de correntes que passam pelos seus braços: uma variação de milésimos do valor de resistência em um dos braços, causa o desequilíbrio das correntes nos braços, sendo indicada por uma deflexão à direita ou à

esquerda em um galvanômetro de zero central.¹² Na pesquisa dos valores da resistência em um dos braços, um reostato, dispositivo ajustável do valor de resistência, era usado com o objetivo de alcançar o equilíbrio do circuito.

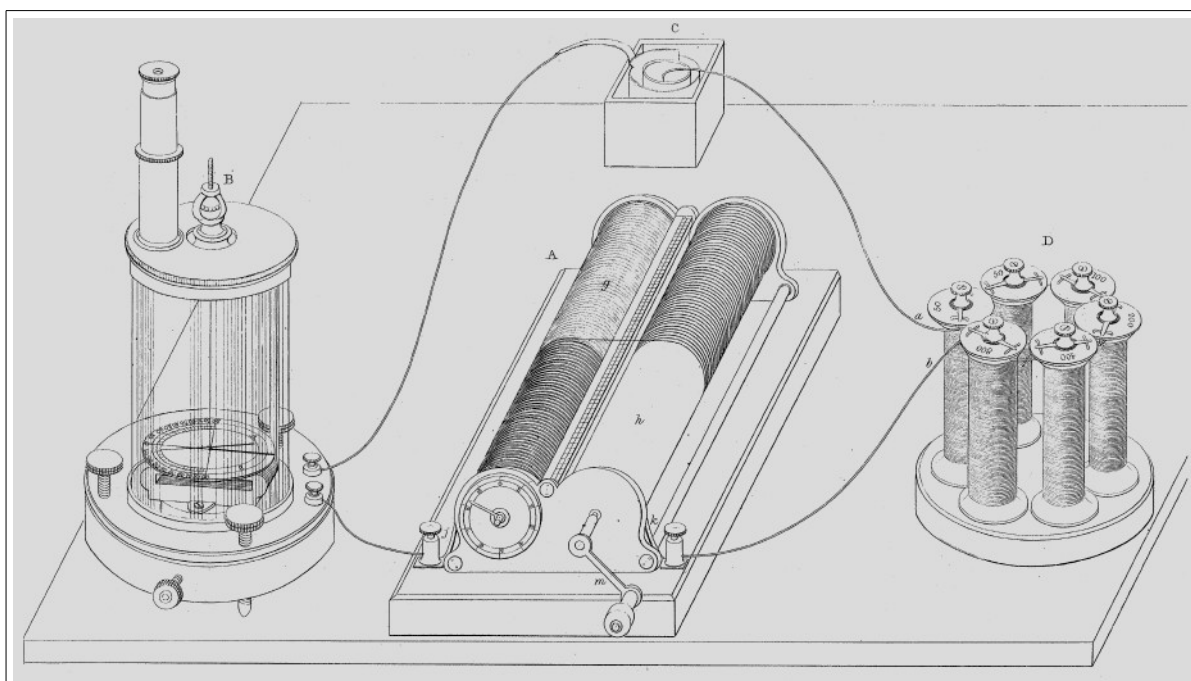


Figura 53 - Experimento original de Wheatstone (CONCEITOS, 2014, p. 206).

Esquerda - galvanômetro com zero central. Centro em cima - célula voltaica. Centro embaixo - reostato para a variação da resistência (no cilindro da esquerda há dois enrolamentos sobrepostos). Direita - conjunto de resistências graduadas.

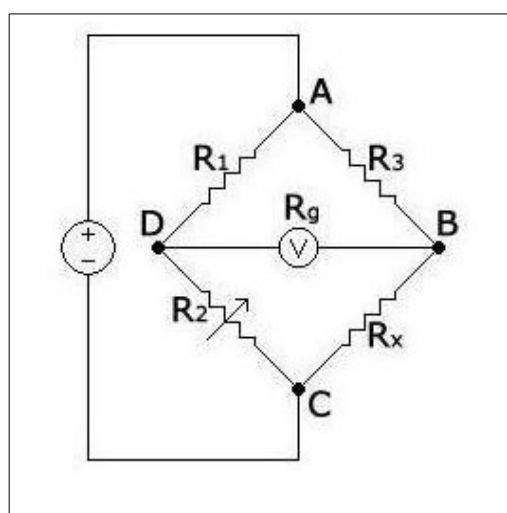


Figura 54 - Circuito da ponte de Wheatstone.

A menção da ponte de Wheatstone é importante porque versões modificadas dela

¹² A ponte está em equilíbrio quando não há diferença de potencial elétrico (ddp) entre os pontos D e B, ou seja o voltímetro V não indica qualquer deflexão no ponteiro. Isso é alcançado quando a relação $R_1.R_x = R_3.R_2$

foram usadas na pesquisa de defeitos e na implementação de circuitos da telegrafia, como será visto posteriormente. Ainda hoje é um circuito largamente empregado em instrumentação eletroeletrônica e telecomunicações.

Localização de defeitos

Os defeitos que comumente ocorriam nos cabos deviam-se à ruptura do condutor ou do revestimento, que podia ser parcial ou total, e causada por problemas como abrasão, impacto ou ação de seres vivos, como o molusco bivalve conhecido como teredo (*Teredo navalis*), que corroía a blindagem e alcançava o núcleo do cabo, ou então o peixe-espada, este, muito encontrado no Brasil (BRIGHT, 1898).

Os métodos de localização dos defeitos foram herdados da telegrafia terrestre e, posteriormente, foram aperfeiçoados por vários inventores. Um tipo de instrumentação muito útil e importante foi a desenvolvida para localizar falhas nos cabos, baseada na ponte de Wheatstone. Testes similares eram feitos medindo a resistência do isolamento, que era inversamente proporcional ao comprimento do cabo. As medições eram complexas e demoradas, pois era necessário fazer duas medições separadas, sendo uma com o potencial da fonte invertida, e cada medição só era registrada quando se obtinha um valor estável. Então era tirada a média das duas medidas para reduzir o efeito das correntes induzidas.

Quando a falha consistia num aterramento parcial por ruptura do isolamento em um ponto, sem fratura do cabo, e as extremidades do cabo estavam acessíveis (como ocorria nos testes na fábrica), ou quando havia um segundo cabo isolado para o retorno, podia ser feito um teste de *loop*: as duas seções do cabo formavam dois lados da ponte de Wheatstone, de modo que a relação entre as resistências da ponte nos braços variáveis em equilíbrio dava a relação entre as resistências das duas seções do cabo e, portanto, seus comprimentos.

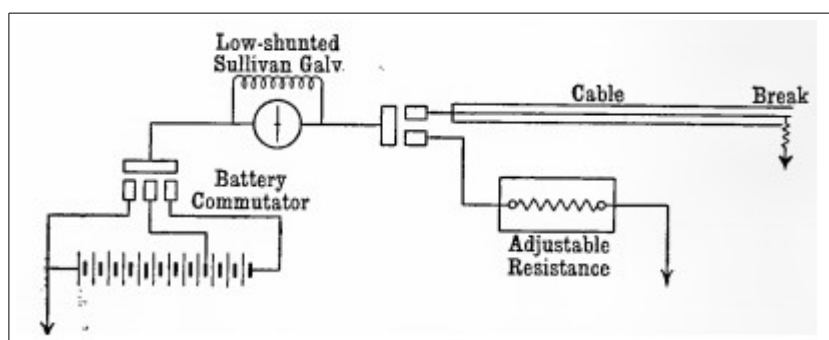


Figura 55 - Método da comparação (WILKINSON, 1908 p. 402)

O método de comparação consistia em aplicar tensão ao cabo fraturado e verificar a deflexão no galvanômetro, depois chavear a fonte, aplicar a tensão a um reostato (resistor variável) e ajustá-lo para obter a mesma medida de corrente no galvanômetro. Como se conhecia o valor de resistência por milha náutica, por simples cálculo, obtinha-se o ponto onde tinha acontecido a fratura.

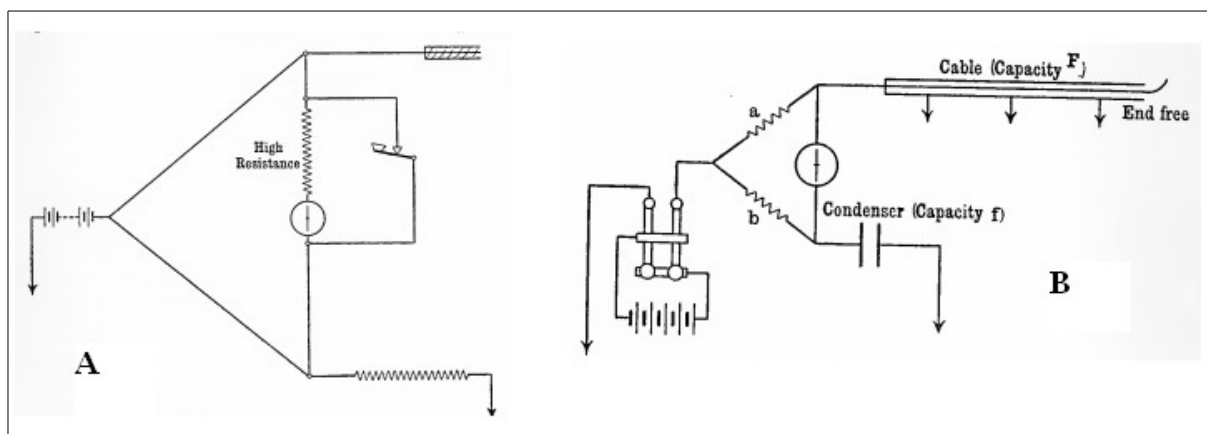


Figura 56 - Busca de falhas no cabo por meio da resistência e de correntes de retorno.
 A - Método usando a Ponte de Wheatstone (WILKINSON, 1908 p. 285). B - Método usando Ponte de Sauty (WILKINSON, 1908 p.480)

Métodos mais usuais de pesquisa de falhas envolviam variações do circuito da ponte de Wheatstone, implementadas por alguns inventores. Esse método, de modo geral, fazia com que o cabo fosse conectado a um braço da ponte, e uma linha artificial, com a mesma medida de resistência do cabo, estivesse presente em uma estação. Um cabo fraturado iria alterar a corrente do galvanômetro. Pelo cálculo da relação de resistências dos braços obtinha-se o ponto da fratura do cabo.

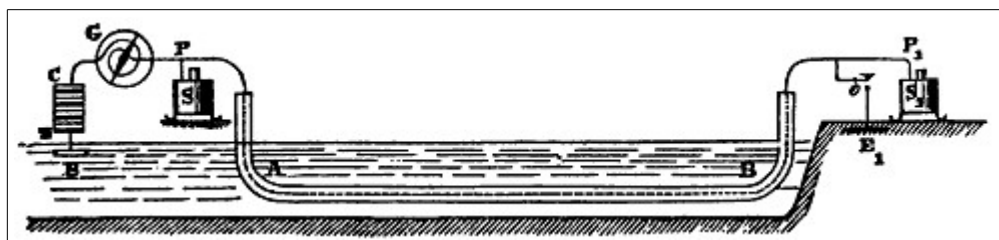


Figura 57 - Esquema de medição contínua. (BRITISH, 1873, p. 246)
 A/B - cabo; C - bateria (no navio); G - galvanômetro; S - eletrômetros; P - placas de medida.

As medidas da capacitância do cabo e da resistência do isolamento, também feitas com a ponte de De Sauty, uma variação da ponte de Wheatstone original, eram necessárias se

ocorresse uma fratura. A capacitância de um cabo íntegro é proporcional ao seu comprimento; então, a relação entre a capacitância total e a da fratura dava o comprimento da porção testada. Esse método era usado para cabos de curto comprimento e foi elogiado por Thomson (WILKINSON, 1908).

Para reduzir o risco de lançar um cabo defeituoso, eram usadas técnicas de teste contínuo do isolamento quando o cabo era passado pela popa do navio. O teste seguia uma rotina estabelecida por Willoughby Smith em 1879. Ele monitorava um sinal enviado continuamente através do cabo de uma estação em terra, conectando um galvanômetro sensível por meio de uma placa que rodeava o cabo no ponto de saída, e que funcionava como uma das placas de um capacitor, formando assim um eletrômetro. A outra placa era o fio central móvel, permitindo fazer uma medição sem conexão direta com o cabo.

3.3.1.4.5 INSTRUMENTOS PARA TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO

Telégrafos para as linhas submarinas

A transmissão de sinais elétricos para o acionamento à distância de um galvanômetro foi o precursor do telégrafo. Mas os dispositivos desenvolvidos com sucesso para as redes telegráficas terrestres, como os magnetos (relés) e as campainhas (*sounders*), não puderam ser aplicados à telegrafia via cabo submarino: eram eficazes em distâncias relativamente menores, enquanto o comprimento do primeiro cabo Atlântico era superior a 3000 km.

Os cabos usavam, como fonte de alimentação do circuito, baterias na ordem de 50 a 80 Volts, e o sinal recebido na extremidade receptora do cabo era da ordem de alguns poucos milésimos de Volt (mV) ou ainda menos, devido à atenuação do sinal. Logo, a recepção dos sinais elétricos deveria ser feita por instrumento sensíveis, capazes de serem acionados por correntes elétricas de valor (amplitude) muito pequeno.

Devido às grandes extensões dos cabos submarinos, que chegavam a milhares de quilômetros, como é o caso do cabo Atlântico, de aproximadamente 3.000 km, começaram a ser percebidos problemas de atraso da propagação do sinal (*retardation*, como eram referidos na época), que não eram graves nos segmentos das linhas terrestres, mesmo nos de extensão apreciável, em torno de 400 km. Esses problemas foram de tal monta, que desafiaram a visão convencional dos fenômenos elétricos dos cientistas e engenheiros, constituindo-se assim em um desafio técnico que teve de ser resolvido. A solução de tais problemas precisou necessariamente ter a ajuda da ciência. Essa é a característica que marcou a fase da industrialização, o que foi bastante pronunciado no caso do relacionamento, no século XIX,

do eletromagnetismo com a indústria de cabos submarinos.

O problema residia no fato de que, quando um sinal era aplicado a uma extremidade do cabo, através do manipulador telegráfico ligando a bateria ao cabo, levava um tempo significativo para ser captado pelo dispositivo registrador na extremidade receptora. Isso era devido ao fato de o cabo apresentar uma capacitância distribuída ao longo dele, ou agir como uma enorme garrafa de Leyden, na explicação de Siemens, que já tinha observado esse fenômeno nos cabos subterrâneos, na Alemanha.

Para resolver esse problema no cabo Atlântico, William Thomson, consultor científico do projeto, decidiu fazer uma abordagem matemática do problema usando a teoria de propagação do calor elaborada por Fourier. A abordagem da eletricidade através da termodinâmica, sempre foi uma característica recorrente em Thomson (SMITH; WISE, 1989).

A abordagem de Thomson contou com um interlocutor matemático na figura de George Gabriel Stokes [1819-1903], que também se interessou pela abordagem matemática da propagação dos sinais telegráficos; a exemplo de Thomson, reconheceu que a propagação tinha uma analogia com a propagação linear do calor em uma barra de metal aquecida. A diferença entre os dois residia em que Thomson considerou o condutor central como aterrado e Stokes considerou o revestimento como aterrado (SMITH; WISE, 1989).

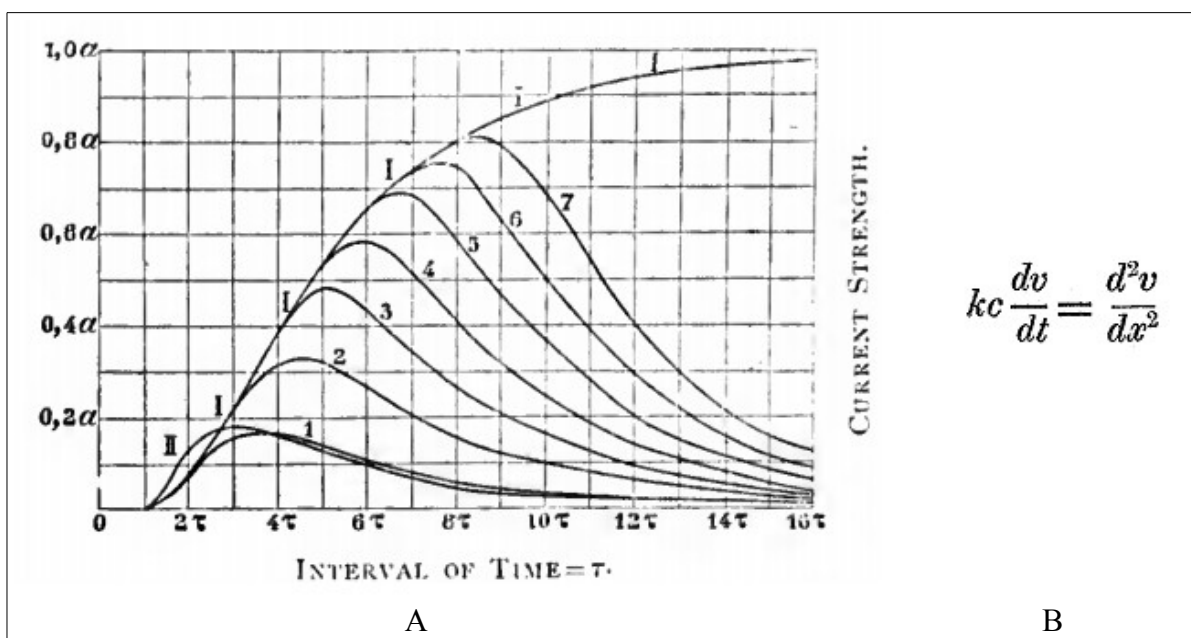


Figura 58 - Teoria do telégrafo elétrico.

A - curvas de carga e descarga da capacitância (constante de tempo $\tau = R.C$). (BRIGTH, 1898, p.531). B - equação original do artigo de Thomson onde: k - resistência; c - capacitância; v - tensão; x - distância (THOMSON, 1855, p. 393).

Thomson estudou o que acontecia com a corrente no receptor quando um pulso era aplicado, como acontece quando são transmitidos sinais do código Morse. A curva de corrente, ou *arrival curve* (BRIGHT, 1898, p. 531), em relação ao intervalo de tempo no receptor foi apresentada por Thomson no artigo *On the theory of the electric telegraph*, de 1855, juntamente com a equação que ficou conhecida como "Lei dos Quadrados".¹³

A curva mostrou que, ao tentar transmitir uma série contínua de sinais do código Morse muito rapidamente, as mudanças elétricas no receptor se superpunham, provocando perda de sinais. Analisando esse efeito para as características de um telégrafo submarino, Thomson calculou que o tempo necessário para que o potencial no fim do cabo atingisse uma dada fração de seu valor máximo deveria ser proporcional a $\mathbf{R.C.x^2}$, onde \mathbf{x} é o comprimento do cabo, \mathbf{C} a capacitância por unidade de comprimento e \mathbf{R} a resistência por unidade de comprimento. Logo, a velocidade de sinalização é inversamente proporcional ao quadrado do comprimento do cabo. Então, para cabos muito longos, as diferenças entre sinais consecutivos ficavam difíceis de distinguir com os métodos de detecção então disponíveis.

O resultado dessa abordagem destacou o fato de que os valores de resistência e capacitância elétricas eram decisivos para a velocidade de propagação dos sinais telegráficos, isto é, sinais binários em que há a presença ou ausência de tensão na linha.

Com esse entendimento, agora era necessário manter os valores de resistência e capacitância dentro de certos limites para o sucesso do funcionamento. Isso significou observar os parâmetros físicos e químicos que pudessem afetar essas variáveis, e o produto da resistência pela capacitância¹⁴ passou a ser parâmetro das discussões dos projetistas sobre a viabilidade de um cabo. Na fabricação dos cabos, era necessário ajustar o maquinário para manter constante a distância entre os condutores internos e a camada isolante porque isso afetava a capacitância.

Como o valor de resistência de um condutor é diretamente proporcional à resistividade do cobre e ao comprimento, e inversamente proporcional à área (diâmetro),¹⁵ era necessário observar o valor do diâmetro dos condutores empregados e assegurar também a qualidade do cobre: isto é, que ele tivesse a menor resistividade possível (ou o seu inverso, a maior condutividade). Esse tratamento, feito de forma científica por Thomson, ficou conhecido

13 Nessa equação, Thomson (1855, p. 382-383) denominou c , a capacidade eletrostática por unidade de comprimento do fio e k , a resistência galvânica do fio em unidades eletrostáticas absolutas.

14 Na literatura técnica posterior, a fórmula usada era $\mathbf{KR(dV/dt) = d^2V/d^2x}$, onde \mathbf{K} é a capacitância e \mathbf{R} a resistência. A fórmula era referida como **lei KR** (MALCON, [1917?], p. 229). Wilkinson (1908, p. 57) informa um valor de KR de $3,8 \times 10^{-6}$ para o projeto de determinado cabo.

15 A resistência de um condutor é dada por $\mathbf{R = \rho \cdot L/A (\Omega)}$, onde $\mathbf{\rho}$ é resistividade e \mathbf{A} , a área. A resistividade depende do material, varia com a temperatura e é o inverso da condutividade ($\mathbf{\sigma}$).

como a Lei dos Quadrados, foi a primeira abordagem teórica da propagação dos sinais nas linhas telegráficas. Heaviside, na década de 1880, partiria dela para mostrar a influência da indutância distribuída nas linhas de transmissão de sinais, que, como foi visto, era uma variável não considerada nessa época nas redes telegráficas.

Nessa linha de raciocínio, foram tomadas algumas providências para amenizar os problemas de propagação do sinal no primeiro cabo Atlântico, o que, por sinal, Siemens já tinha feito no cabo do Mar Vermelho:

- 1- empregar instrumentos registradores sensíveis na recepção;
- 2- para diminuir o tempo de carga e descarga, foi usada a técnica de inverter a polaridade da bateria a cada ponto e traço do código;
- 3- usar um capacitor em série com o cabo, para que somente breves pulsos de corrente fossem enviados na linha.

Para contornar o problema da eletrização do cabo, foi usado um manipulador duplo. Com isso era possível conectar o cabo ora ao polo positivo, ora ao polo negativo da bateria, proporcionando carga e descarga rápidas da linha. A bateria, com valor na ordem de 50 V a 80 V, proporcionava um sinal na extremidade receptora de poucos miliVolts, mas o galvanômetro de espelho de Thomson era suficientemente sensível para funcionar com um sinal tão baixo.

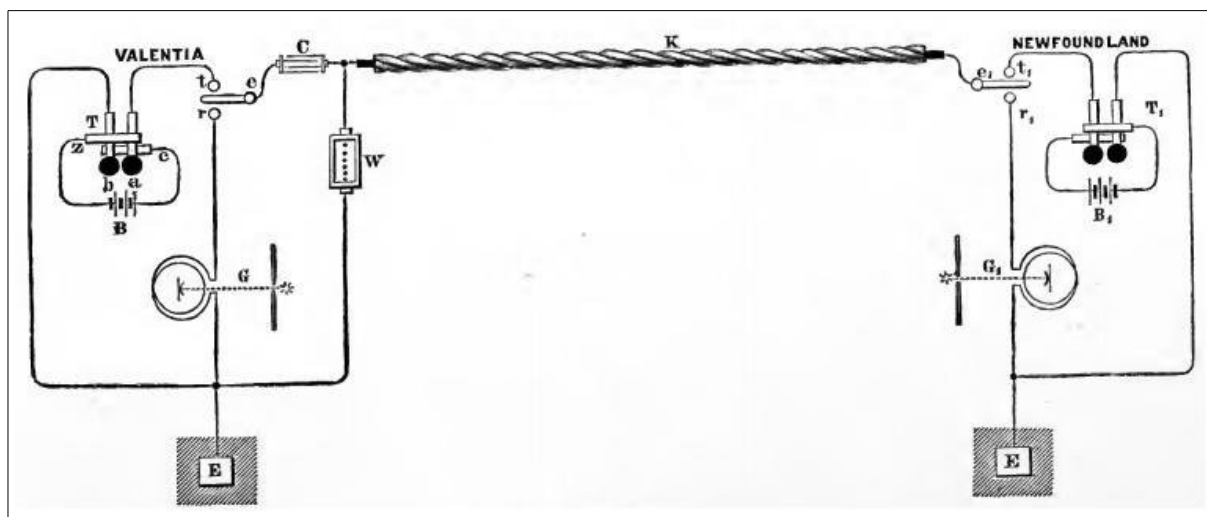


Figura 59 - Equipamento telegráfico do primeiro cabo Atlântico na Irlanda e na Terra Nova. B – bateria; G – Galvanômetro; T – Manipulador duplo; C – capacitor; W – Resistor de grande valor (shunt); E – aterramento; k – cabo; e-t-r / e1-t1-r1 – chaves comutadoras para transmissão e recepção (PRESCOTT 1888, p, 554).

Também foi desenvolvida uma adaptação do código Morse adequada ao cabo submarino. Em vez de usar impulsos de mesma polaridade e duração diferente, a nova versão

representava os pontos e traços por impulsos de mesma duração e polaridade diferente. O novo código, denominado *cable code*, rapidamente se tornou o código universalmente usado pela telegrafia submarina. Vale notar que a dupla polaridade do sinal já era usada em linhas terrestres (PRESCOTT, 1888).

Pesquisa sobre a qualidade do cobre

Por conta dos problemas de retardo, Thomson, em 1857, decidiu fazer um levantamento da qualidade do cobre empregado nos cabos submarinos. Em seu laboratório, em Glasgow, ele e seus alunos compararam a resistência de várias amostras de cobre comercial, usado nos condutores provenientes de fontes diferentes, usando uma ponte de Wheatstone e um galvanômetro. Em um braço da ponte era colocado o componente a ser medido. No outro, era colocado um valor de resistência considerada padrão, por ele. As medidas que Thomson fez eram de caráter comparativo, já que um padrão de unidades elétricas só iria ser criado mais tarde, na década de 1860, como será abordado no capítulo 4.

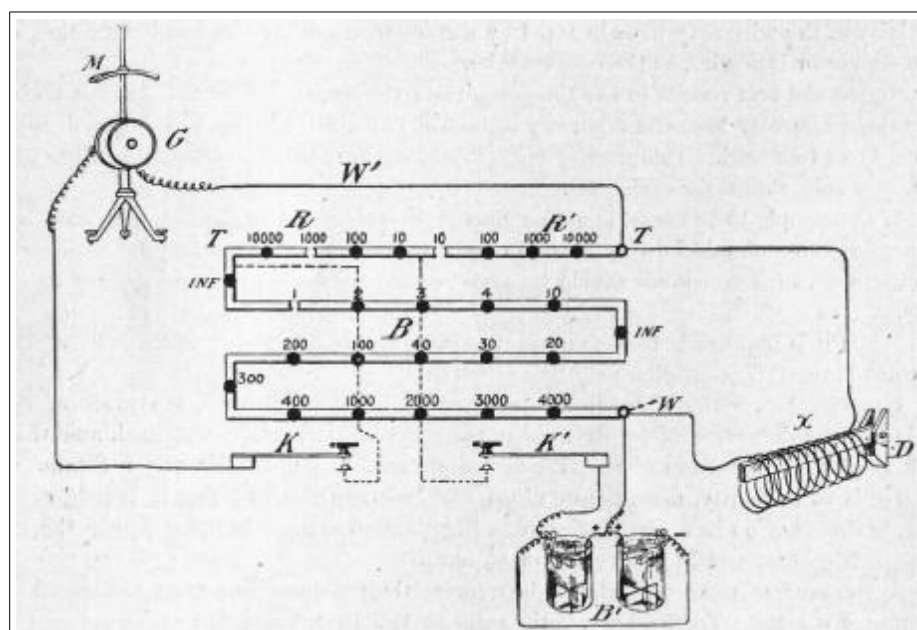


Figura 60 - Experimento para o teste das amostras de cobre feito por Thomson. G – galvanômetro de espelho de Thomson; B' - baterias; x – amostras de cobre a seres medidas; K e K' – chaves interruptoras; R e R' – dispositivo de resistores formando os outros braços da ponte de Wheatstone. (MANVER, 1903, p. 519).

Thomson, após testar 45 amostras de fio, descobriu que o cobre comercial, obtido de fornecedores diferentes, apresentava valores de condutância que variavam de 42 % até 102 % entre as amostras (DIBNER, 1959, p. 17), numa escala de unidades que ele havia criado.

Enviou então essas amostras ao químico e físico inglês Augustus Mathiessen [1831-1870] para que ele fizesse uma análise química. A variação do valor da resistência, concluiu Mathiessen, era devida a diminutas impurezas do cobre, principalmente o arsênico.

Essa descoberta foi de suma importância para a tecnologia dos cabos, porque obter um baixo valor de resistência elétrica proporcionava, como visto, um menor tempo de propagação do sinal elétrico e, por conseguinte, uma maior taxa de palavras transmitidas por minuto. Devido ao achado, a especificação da condutividade dos fios de cobre empregados nos cabos submarinos passou a ser um dos itens vigentes, além do peso e da bitolas dos fios, nos contratos dos mesmos (HUNT, 1994).

Galvanômetro de espelho

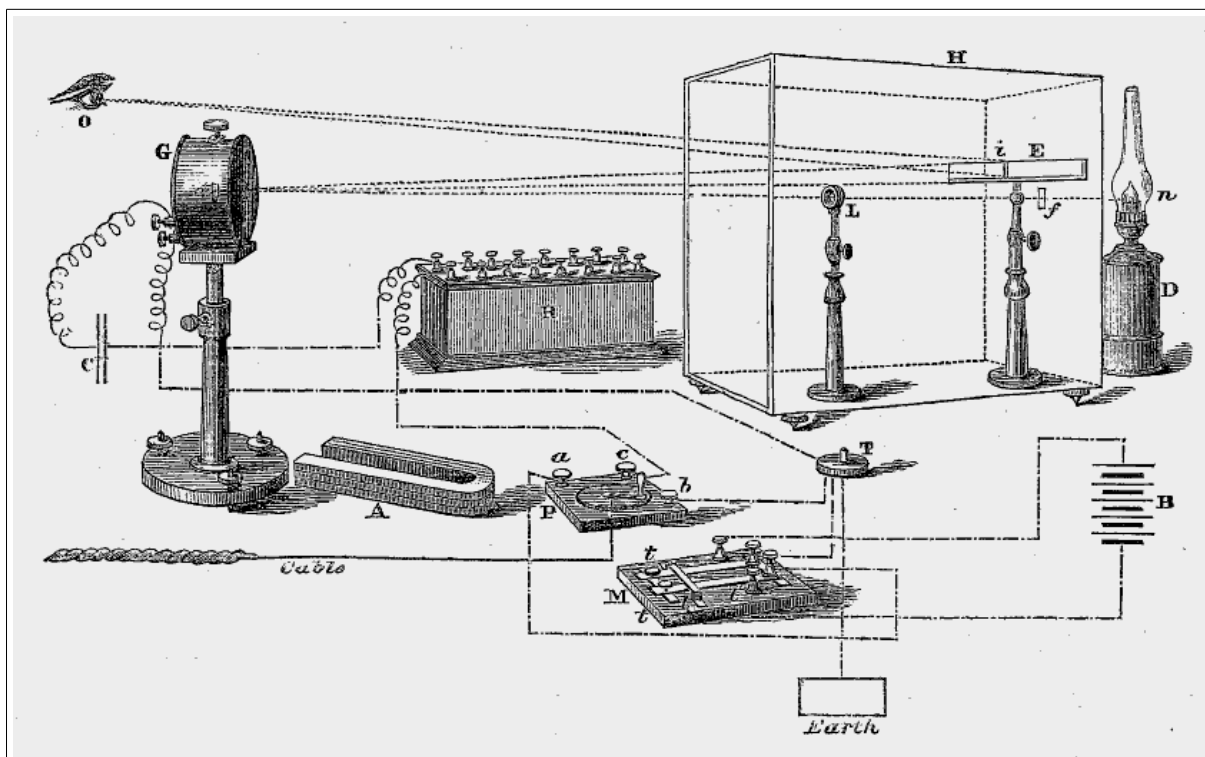


Figura 61 - Receptor do primeiro cabo transatlântico (PREECE, 1876, p. 138).

Galvanômetro de Thomson, bateria, duplo manipulador e chave de comutação: A – imã colocado próximo à bobina do galvanômetro para ajuste da posição do feixe de luz; B – baterias (local e remota); C – capacitor em série com a linha; D – lampião para iluminar o espelho do galvanômetro; E – escala onde as variações do feixe de luz do galvanômetro incidem; G – galvanômetro de espelho; H – caixa de acondicionamento da escala; L – focalizador da luz do lampião; M – duplo manipulador; P – chave comutadora de transmissão e recepção; T – terminal de contato para aterramento do sistema.

Para melhorar a recepção, Thomson desenvolveu um galvanômetro de espelho que, quando percorrido por corrente, saía da sua posição central e movimentava-se ou para a

direita ou para esquerda (dependendo do sentido da corrente), refletindo um feixe de luz sobre uma tela graduada disposta a uma distância conveniente. Os magnetos usados eram pequenos pedaços de mola de relógio, fixados nas costas do espelho, num conjunto que pesava menos de 1,0 g. Um magneto externo podia ser girado sobre um eixo vertical para fornecer uma força controladora que levaria o ponto de luz refletida para uma posição conveniente na escala.

Em 1863, Thomson desenvolveu uma versão astática mais sensível, com quatro bobinas dispostas em pares de cada lado de agulhas magnéticas. Pode-se perceber claramente que o galvanômetro de espelho de Thomson foi desenvolvido a partir do galvanômetro que Weber e Gauss criaram para o seu telégrafo.

Apesar de o galvanômetro de espelho de Thomson apresentar excelente sensibilidade, requeria duas pessoas: uma para ler as variações do sinal e outra para anotar. O custo de empregar duas pessoas e a necessidade de gerar um registro das mensagens levou Thomson a desenvolver um registrador automático cujas informações ficavam gravadas em tiras de papel, conhecido como *siphon recorder* (registrador de sifão). Posteriormente, foram desenvolvidos registradores com tecnologias diferentes, por outros inventores, para executar a mesma função.

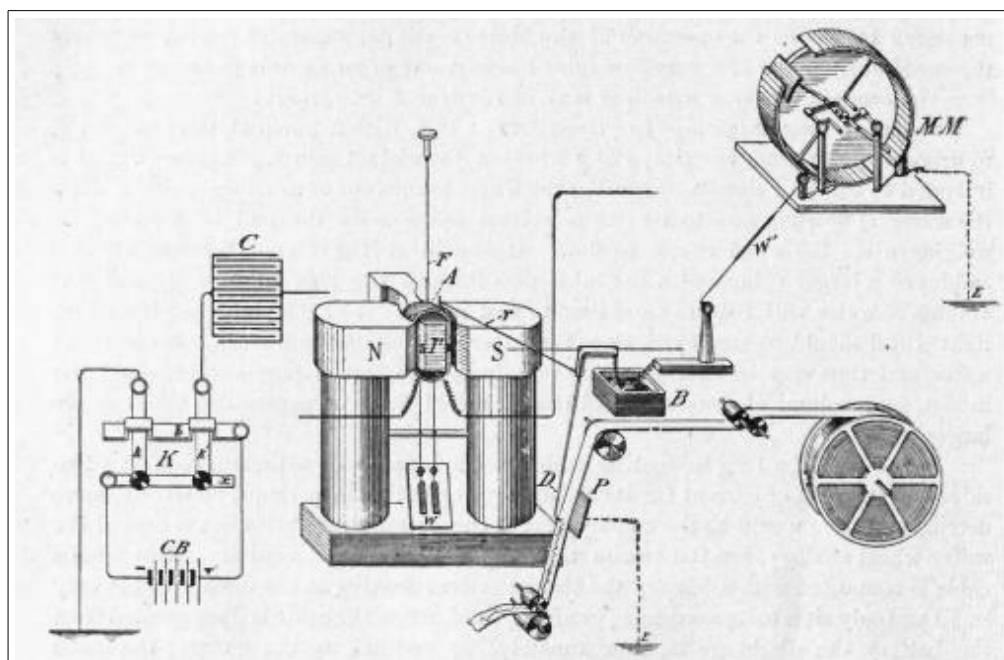


Figura 62 - Princípio de funcionamento do *siphon recorder*.

B – sifão com tinta; *D* – tubo capilar; *MM*- motor para gerar estática (MAVER, 1903, p. 268)

O *siphon recorder* tinha uma bobina suspensa entre os polos de um magneto que se

movia quando a corrente passava. Esse movimento era transmitido a um tubo capilar de vidro. Uma ponta do tubo ficava sobre uma tira móvel de papel, e a outra ponta mergulhava num reservatório de tinta. Enquanto não havia sinal, o dispositivo ia traçando uma linha reta no meio do papel. Quando chegava um impulso positivo ou negativo, a bobina movia o tubo para a esquerda ou para a direita, desenhando picos na linha. Pode-se perceber que o dispositivo foi uma aplicação de outro parecido usado por Steinhel no seu telégrafo.

O *siphon recorder* foi introduzido no cabo transatlântico em 1873. A primeira demonstração pública oficial foi feita em Londres, em 1870, embora o dispositivo já fosse usado há vários anos.

Os primeiros *siphon recorders* permitiram aumentar a velocidade de transmissão, de no máximo dez palavras por minuto, para 15 palavras por minuto. No final do século XIX, com o aperfeiçoamento dos cabos e a introdução da transmissão automática (com fitas perfuradas), essa velocidade alcançou 50 palavras por minuto.

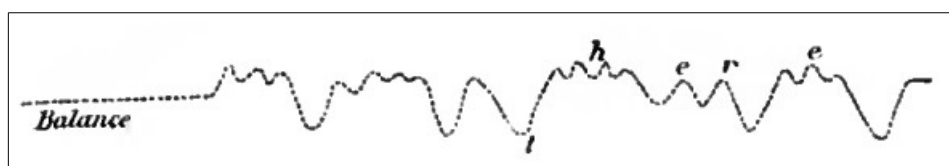


Figura 63 - Sinais gerados no *siphon recorder* (BRIGHT, 1898, p. 605).

3.3.2 Histórico da implantação dos cabos submarinos

3.3.2.1 O início na Europa

A primeira proposta de uso da telegrafia submarina foi feita pelo espanhol Francisco Salvá y Campillo que, em 1797, propôs a instalação de uma linha submarina entre Barcelona e a Ilha de Maiorca. Mas, aparentemente, Salvá não apresentou os detalhes de um projeto específico, e a ideia não foi posta em prática (JOHNSON, 1903).

As linhas telegráficas subfluviais, geralmente usadas como recurso para estender o telégrafo em cidades cortadas ou ladeadas por rios, foram as primeiras experiências práticas de telegrafia subaquática. Foram seguidas pela instalação de linhas curtas nas águas rasas dos portos, para estabelecer conexões pontuais específicas. A experiência acumulada nessas instalações forneceu a base necessária para a criação das linhas transoceânicas.

3.3.2.1.1 CABOS EXPERIMENTAIS

Em 1811, Sömmering, com a assistência de Schilling, experimentou instalar uma linha que passava através do rio Isar, que corta a cidade de Munique (HUUDERMAN, 2003). Em 1838, um dos primeiros registros de telegrafia submarina prática foi feito pelo coronel Pasley, em Medway (importante porto situado na foz do rio Tâmis). Em 1839, O'Shaughnessy, Diretor da *East India Company's Telegraphs*, fez experimentos no rio Hugli, na região de Bengala, no oeste da Índia (BRIGTH, 1898).

Nos Estados Unidos, em 1842, Samuel Morse instalou um cabo submerso no rio Hudson ligando Castle Island e Governor's Island no porto de Nova Iorque (JOHNSON, 1903). Em 1845, também nos EUA, Ezra Cornell, criador da *Western Union* e um dos fundadores da Universidade de Cornell, construiu um cabo submerso no rio Hudson, com uma extensão de aproximadamente 19 km (12 milhas), ligando Fort Lee a Nova Iorque (BRIGTH, 1898).

A segunda fase das experiências com linhas subaquáticas se deu nas águas rasas dos portos. Wheatstone, em 1844, testou o cabo produzido em sua fábrica numa linha entre o porto de Swansea (em Gales) e um farol próximo, mas o resultado não foi animador (BEAUCHAMP, 2001; BRIGHT, 1898). Werner Siemens, em 1848, estendeu cabos submersos no porto de Kiel para ativar minas submarinas por ocasião da invasão daquele porto pelas forças dinamarquesas (SIEMENS, 2008). Em janeiro de 1849, Charles Vincent Walker [1812-1882], *electrician* da *South-Eastern Railway Company*, lançou o primeiro cabo que funcionou de maneira satisfatória. Ele tinha um comprimento de 3,5 km e ligou um navio no canal da Mancha a uma estação temporária, ligada à rede aérea da ferrovia. Foi possível, assim, trocar mensagens entre o navio e Londres, a 134 km de distância (BRIGHT, 1898; BEAUCHAMP, 2001).

3.3.2.1.2 PRIMEIRO CABO COMERCIAL: DOVER-CALAIS

Em 1840, Wheatstone já havia apresentado ao parlamento britânico uma proposta para instalar um cabo submarino entre a França e a Inglaterra, mais exatamente entre Dover e Calais, através do Canal da Mancha. Seus planos, embora não fossem executados, foram importantes porque apontavam para uma concepção dos equipamentos e da logística de lançamento dos futuros cabos (COMMITTEE, 1861).

Em 1845, visando atender a interesses comerciais e interligar as bolsas de Londres e

Paris, os irmãos Jacob Brett [1808-1898] e John Watkins Brett [1805-1863], financistas ingleses, dirigiram-se a Robert Peel [1788-1850], Primeiro Ministro e Primeiro Lorde do Tesouro da Inglaterra, propondo um sistema de telegrafia oceânica (BRIGTH, 1898). Os irmãos Brett já pensavam em estabelecer comunicações telegráficas com o Canadá e os Estados Unidos, porém começaram mais perto de casa. Formaram a empresa *English Channel Submarine Telegraph Company* para lançar um cabo ligando a Inglaterra à França. Encomendaram 40 km (25 milhas) de cabo à empresa *Thomas Bolton & Sons*, tradicional fabricante de fios e metais laminados, e o isolamento foi feito pela *Gutta-Percha Company*, de Londres. O segmento de cabo próximo à costa foi envolvido por uma espessa camada de chumbo. O cabo foi lançado em agosto de 1850 pelo navio *Goliath*, um cargueiro especialmente adaptado, com um tambor montado horizontalmente, com todo o cabo enrolado. Entretanto, após funcionar satisfatoriamente por algumas horas, o cabo foi danificado por um pescador. Então, persistindo no projeto, capitais foram reunidos e um outro cabo, agora blindado, foi lançado em 1851. A blindagem foi fornecida por *R. S. Newall*, que fabricava originalmente cordas metálicas empregadas em minas de carvão, e que se tornaria o principal fornecedor de blindagens para cabos submarinos (BEAUCHAMP, 2001).

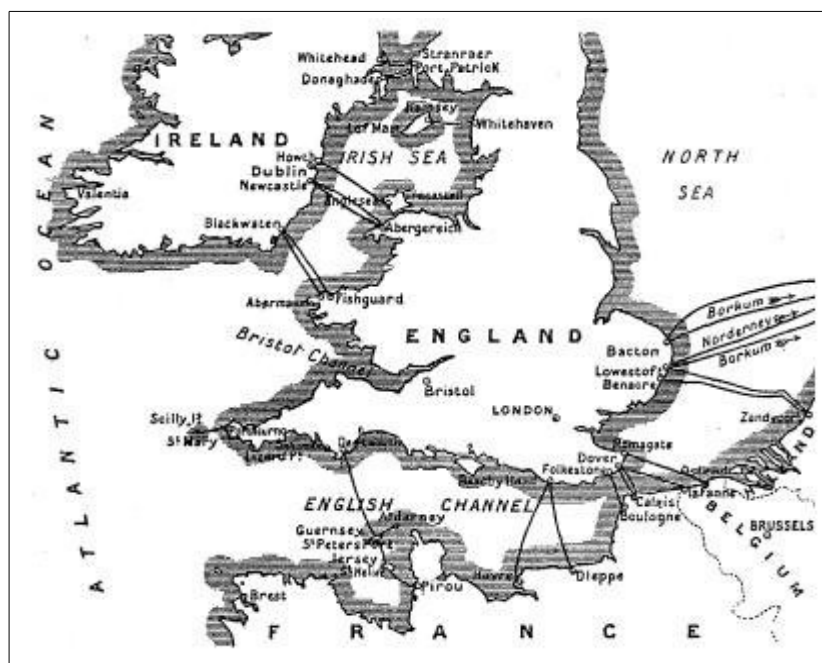


Figura 64 - Ligação entre a Grã-Bretanha e a Europa continental (BEAUCHAMP, 2001, p. 141).

O cabo Dover-Calais tornou-se um sucesso comercial. Permaneceu operacional por trinta anos e incentivou o surgimento de uma era de cabos submarinos, a princípio interligando a Grã-Bretanha com a Europa (HUUDERMAN, 2003).

3.3.2.1.3 A EXPANSÃO PELA EUROPA

Após a ligação com a França, o passo seguinte foi a disseminação dos cabos pelo continente europeu. Em 1852, já haviam sido lançados cabos conectando a Inglaterra com o País de Gales e a Escócia. Em 1854, cabos conectavam a Inglaterra com a Dinamarca, a Bélgica e a Itália. A Inglaterra foi conectada à Alemanha, através do Mar do Norte, em 1858, e também foram feitas conexões diretas com Holanda, Áustria e Rússia (HUUDERMAN, 2003). A França, em 1854, fez a ligação com a sua importante colônia, a Argélia, por um cabo com uma extensão de 175 km.

Após o lançamento e a operação exitosa dos cabos submarinos ligando a Grã-Bretanha ao continente europeu, estava claro para os empresários ligados à indústria de comunicações telegráficas que três desafios deveriam ser vencidos: o estabelecimento de uma rota através do Atlântico para a ligação com os Estados Unidos, uma rota para a Índia e o Extremo Oriente, e outra rota do Extremo Oriente, através do Oceano Pacífico, ligando às Américas (BEAUCHAMP, 2001). No caso da última, a ligação com a América do Norte expressa os interesses políticos e comerciais dos Estados Unidos na região do Pacífico.

3.3.2.2 *As rotas para a Índia*

No século XIX, a Índia era a colônia mais importante do império britânico, que também tinha interesses na China. Por isso, era importante possuir linhas de comunicação eficientes e rápidas para romper o isolamento em que a região ainda permanecia em relação à metrópole. A princípio, o governo decidiu não financiar o projeto de uma linha telegráfica, que ficaria a cargo de particulares. Porém, em 1857, eclodiu na Índia a Revolta dos Cipaios, uma série de levantes contra a ocupação inglesa, e a notícia, só chegou à Grã-Bretanha mais de 40 dias depois do início do conflito. Então, o projeto da linha telegráfica para a Índia tornou-se de alta prioridade.

3.3.2.2.1 A ROTA DO MAR VERMELHO

Em 1857, o engenheiro inglês Lionel Gisborne [1823-1861] fundou a *Red Sea and India Telegraph Company* com o objetivo de estender uma linha telegráfica que ligasse a Inglaterra com a sua principal colônia no Oriente, a Índia, onde estavam as grandes plantações de algodão que serviam à indústria têxtil inglesa. Essa linha foi projetada para aproveitar rotas

terrestres já existentes. Assim, após atravessar o Canal da Mancha, utilizava as redes da França e da Itália, que já tinha um cabo ligando a Sicília ao continente.

A *Red Sea* precisava lançar uma linha submarina através do Mediterrâneo. Para isso, foi lançado um cabo da Sicília até a ilha de Malta, que era, na época, o quartel-general da frota inglesa no Mediterrâneo. De Malta, o cabo foi lançado até Alexandria, no Egito. Na África, a rota aproveitava a linha terrestre de Alexandria a Suez, de que a *Red Sea* tinha o monopólio (BEAUCHAMP, 2001). A partir daí, foi lançado outro cabo submarino que passava pelo Mar Vermelho e pelo Oceano Índico, acompanhando o litoral da Península Arábica, até chegar à Índia. Esta linha tinha uma extensão total de 3.499 milhas (5.600 km), e era dividida em duas partes, com três segmentos cada: a primeira de Suez a Aden e a segunda de Aden a Karachi (COMMITTEE, 1861, p.6). O cabo foi assentado pela *Newall Company*, que contratou a *Siemens & Halske* para a supervisão elétrica do projeto e o fornecimento de equipamentos de sinalização. Siemens foi auxiliado nessa tarefa pelo engenheiro elétrico inglês Fleeming Jenkin [1833-1885], que posteriormente trabalhou com Maxwell no comitê que estabeleceu as unidades de medidas elétricas, como será visto no capítulo 4.

Como já foi comentado, do ponto de vista técnico, Siemens antecipou soluções para os problemas de eletrização que iriam se manifestar de maneira aguda, mais tarde, no primeiro cabo Atlântico. Recorrendo à sua experiência com redes telegráficas subterrâneas, Siemens usou um sistema de envio de mensagens em que, ao final de cada palavra enviada, a polarização da bateria era revertida através de um relé, mudando o sentido da corrente enviada pelo cabo e causando a descarga da estática acumulada pelo mesmo. Após algum tempo de uso, Siemens percebeu que a própria resistência interna da bateria poderia prejudicar o acionamento do relé; para corrigir isso, usou um pedaço de cabo de 270 km que estava disponível, fazendo o papel de um capacitor em série com a linha. A introdução dessa capacitância permitia breves impulsos de corrente na linha. Como foi visto, essa técnica foi adotada posteriormente na comunicação de cabos através da introdução de um capacitor feito de folhas de estanho intercalados com camadas de papel ou mica (SIEMENS, 2008).

A rota apresentou um desempenho muito deficiente: todas as seções apresentaram problemas. Uma das causas do mau funcionamento da rota foi uma folga do cabo muito estreita, de 0,1 % do total do comprimento, o que ocasionou puxamentos no cabo submerso, fazendo com que surgissem rapidamente problemas na blindagem (BRIGHT, 1898). A outra causa técnica foi a alta temperatura do Mar Vermelho, que amoleceu a guta-percha, dando margem ao surgimento de falhas (SIEMENS, 2008).

A linha como um todo nunca funcionou, o que levou ao seu abandono em 1861. Com

o desastre do cabo do Mar Vermelho, o tesouro britânico teve um prejuízo muito grande porque, por força de contrato, teve de garantir um dividendo de 4,5 % sobre um capital de £ 800.000 durante 50 anos, o que fez com que o governo hesitasse em financiar outros projetos do mesmo tipo (SOLYMAR, 1999, p. 70). Entretanto, como a ligação telegráfica com a Índia era uma prioridade para a Grã-Bretanha, foram feitas, nos anos seguintes, duas tentativas de estabelecer essa conexão através de linhas terrestres.

3.3.2.2 UMA ROTA TODA INGLESA, TODA PELO MAR

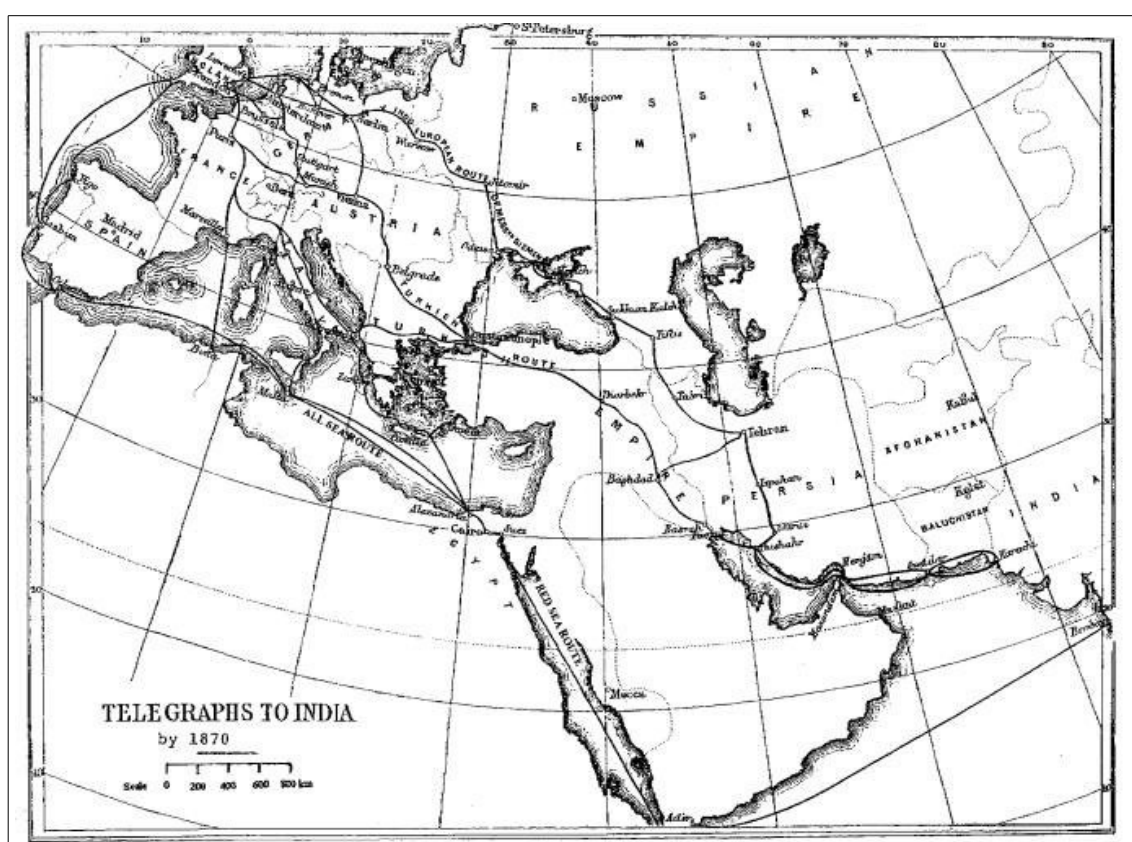


Figura 65 - Rotas telegráficas para a Índia (BEAUCHAMP, 2001, p. 163)

Em meados da década de 1860, foi retomado na Inglaterra o projeto de estabelecer a ligação telegráfica marítima com a Índia, reativando a linha do Mar Vermelho. Uma diferença importante é que, agora, a rota não iria aproveitar as linhas terrestres através da Itália e da França, mas seria totalmente marítima, com exceção do pequeno segmento terrestre no Egito, pois a Inglaterra se dera conta de que as rotas terrestres ofereciam o risco de passar por territórios de adversários potenciais da Inglaterra. A decisão de estabelecer essa nova rota pode ter sido influenciada também pela perspectiva de aumento do comércio com a Ásia após

a abertura do Canal de Suez, que era então iminente (ocorreu em 1869). Assim, convinha à Inglaterra ter uma linha de comunicação independente para a Ásia.

John Pender [1816-1896], mercador inglês e dono da *Telcon*, assumiu a tarefa. Em 1868, foi lançado pela *Anglo-Mediterranean Telegraph Company*, um novo cabo entre Malta e Alexandria, com 1.500 km. Daí a linha seguia por terra até Suez. Faltava instalar uma seção entre Malta e a Inglaterra, e John Pender fundou a *Falmouth, Gibraltar & Malta Telegraph Company* para realizar o projeto. Em 1869, o cabo foi lançado de Malta até Gibraltar, que também era uma importante base naval inglesa. Daí, contornando Portugal e com uma conexão em Lisboa, a linha foi diretamente até Porthcurno, na Cornualha. Também foi encomendado à Telcon um cabo para duplicar a linha entre Suez e Bombaim, via Aden, que foi lançado com sucesso entre 1869 e 1870. Com todos os segmentos instalados, a linha submarina para a Índia ficou pronta em 1870 (HUUDERMAN, 2003).

3.3.2.3 A rota transatlântica

A ideia de unir os continentes através de um cabo submarino envolveu investidores interessados tanto nos Estados Unidos como na Grã Bretanha. O projeto do cabo transatlântico tinha por base interesses comerciais: proporcionar comunicações adequadas, possibilitando ligar as Bolsas de Nova Iorque e Londres, e, com isso, saber das cotações de algodão e grãos.

3.3.2.3.1 PRIMEIRO CABO ATLÂNTICO

O primeiro cabo, proposto para ser lançado entre a Escócia e a Terra Nova, no Canadá, foi implementado por partes. Serão abordados os fatos mais relevantes que levaram ao assentamento desse cabo, que pode ser considerado o marco inaugural dos cabos submarinos de longa distância pelos problemas e soluções que aconteceram no projeto.

Os investidores

Frederick Newton Gisborne [1824-1892], engenheiro telegráfico inglês, radicado no Canadá, criou a *Electric Telegraph Company* que, em 1852, lançou o primeiro cabo bem sucedido da América do Norte, ligando Halifax e a Terra Nova, ponto onde os navios chegavam da Europa. Assim, as novidades importantes que eles traziam eram prontamente telegrafadas a Nova Iorque, ganhando-se três dias sobre o movimento dos navios. Gisborne

tinha a intenção de estender um cabo ligando Nova Iorque à Terra Nova, porém, por falta de recursos, transferiu os seus direitos a Cyrus Field (BEAUCHAMP, 2001).

Cyrus West Field [1819-1892] foi um mercador americano que atuou no comércio de papel, herdando os negócios da família. Devido à ideia de ligar os dois continentes, começou a estudar seriamente a possibilidade de lançar um cabo através do Atlântico juntamente com Samuel Morse e o tenente Matthew Fontaine Maury [1806-1873] da Marinha dos Estados Unidos. Para isso fundou, em 1854, a *Newfoundland & London Electric Telegraph Company*, atraindo para ela, entre outros, Marshall Roberts, fundador da *Erie Railroad Company*, e nomeou Morse para o cargo de *electrician* honorário. A ligação direta entre Nova Iorque e a Terra Nova, através do Golfo de São Lourenço, foi completada em 1856 pela empresa de Field. O cabo, encomendado à *Glass, Eliot & Company* da Inglaterra, tinha somente um condutor e uma extensão de 150 km.

Field viajou então à Inglaterra para convencer John Brett, que já tinha experiência por ter lançado o primeiro cabo submarino no Canal da Mancha e que também podia dar apoio financeiro, e Charles Tilston Bright [1832-1888], pela experiência técnica em telegrafia terrestre. O empreendimento foi estimulado pela *British and Irish Magnetic*, cujo dono, John Pender, iria desempenhar um papel destacado na indústria de cabos nas próximas décadas. Outro que incentivou o projeto desde o começo foi William Thomson, que ocupou o papel de consultor técnico, fundamental para o bom desempenho do projeto, e que continuou trabalhando na indústria de cabos até o final da sua vida.

Em 1856, foi formada a *Atlantic Telegraph Company* (ATC). A nova companhia foi capitalizada através de 350 ações vendidas a £1000 cada, sendo que só na Inglaterra foram vendidas 250 ações (DIBNER, 1959). Do ponto de vista estratégico, o governo britânico viu a possibilidade de estender as comunicações com o Canadá, a América Britânica. Devido à perda financeira no caso da rota do Mar Vermelho, seu incentivo se deu através do empréstimo de navios para o assentamento do cabo e da promessa de remuneração de £14.000 ao ano enquanto o cabo estivesse funcionando (BRIGHT, 1898, p. 31).

A escolha da rota

O levantamento dos leitos dos oceanos começou a ser realizado sistematicamente pela Marinha dos Estados Unidos desde a década de 1830, para formar um corpo de conhecimento sobre os mares frequentados por embarcações americanas (ROZWADOWSKI, 2005). Essa tarefa foi coordenada por Matthew Fontaine Maury [1806-1873], superintendente do Observatório Naval dos Estados Unidos.

Entre 1851 e 1853, o USS *Dolphin* cruzou o Atlântico. Em viagem de ida e volta, realizou ao todo 32 sondagens do fundo do oceano, registrando a profundidade e coletando amostras de solo (formadas por restos fósseis, sem areia). Nesse mesmo período, outros navios realizaram sondagens similares na região. Segundo Roswadowsky (2005, p. 78), ao analisar todas as informações coletadas, Maury percebeu que a maioria das medidas ficava entre aproximadamente 2.000 e 3.000 braças (3.660 e 5.500 m), mas havia valores de até 8.000 braças (14.600 m). Então, ao desenhar a carta batimétrica do Atlântico, em 1854, Maury decidiu omitir as profundidades maiores encontradas, supondo que seriam erros de medição.

Ainda em 1854, Morse procurou Maury, pedindo informações sobre a viabilidade do lançamento de um cabo submarino no Atlântico. Maury respondeu, por carta, que as sondagens feitas pelo *Dolphin* em 1853 tinham obtido todas as informações sobre o fundo do mar entre os Estados Unidos e a Inglaterra que uma companhia de telegrafia submarina poderia desejar; que a distância entre Terra Nova e Irlanda era de 1.600 milhas náuticas (2.963 km); que o fundo do mar entre esses dois lugares era um platô que parecia ter sido feito para a instalação de cabos submarinos; e que as características do fundo atestavam a viabilidade do projeto. Aparentemente, Maury não tinha interesse direto nos negócios ligados ao cabo submarino: sua motivação seria apenas o orgulho de ver a afirmação do poder marítimo e da liderança científica dos Estados Unidos. Entretanto, recebida por investidores altamente mobilizados, sua opinião bastou para que as empresas empenhadas na corrida pelo cabo transatlântico se pusessem em movimento. É digno de nota o fato de que, nesse primeiro momento, não existia a ideia de um caminho submarino relativamente plano, adequado ao assentamento de cabos submarinos, que veio a ser denominado posteriormente "platô telegráfico". Maury, depois da carta a Morse, continuou afirmando a existência de um platô entre Terra Nova e Irlanda, registrando essa ideia desde a primeira edição de *The physical geography of sea, and its meteorology*, publicado em 1855 (MAURY, 1861; BRIGHT, 1898; ROZWADOWSKI, 2005; BURNS, 2014; THEBERGE, 2014).

Em 1856, talvez por ordem de Maury, o tenente americano Berryman, no USS *Arctic*, fez sondagens num grande arco entre St. John's, em Newfoundland, e Valentia, na Irlanda, já tendo em vista o lançamento do cabo. Esta foi a primeira sondagem feita ao longo de um trajeto determinado, para determinar as características do fundo, ao contrário das sondagens das expedições anteriores, que eram feitas mais ou menos ao acaso (como pode ser visto nas cartas batimétricas). Mas, ao chegar à Irlanda, Berryman divulgou por conta própria o perfil do fundo do mar para as empresas telegráficas e a imprensa. De qualquer forma, Maury pediu ao governo inglês o envio de outro navio para refazer o trabalho, o que foi feito pelo tenente

inglês Dayman, no HMS *Cyclop*, em 1857. Este encontrou profundidades de 1.700 a 2.400 braças (3.110 a 4.400 m), enquanto ao sul elas variavam aproximadamente de 6.000 a 7.000 braças (11.000 a 12.800 m) e, no perfil de Berryman, atingiam a faixa de 3.000 braças (5.490 m). Ao publicar *Explanations and sailing directions*, em 1854, Maury procurou mostrar que os dados do *Arctic* estavam errados, alegando que os perfis encontrados tinham muitas variações. Aparentemente, não lhe ocorreu que a extensão pesquisada era suficientemente grande para apresentar essas diferenças de profundidade. Deixando esse detalhe de lado, Maury consagrou nessa obra o termo "Telegraphic Plateau", que acrescentou à nova versão da sua carta batimétrica do Atlântico Norte, no trajeto seguido pelas duas expedições (BRIGHT, 1998; THEBERGE, 2014).

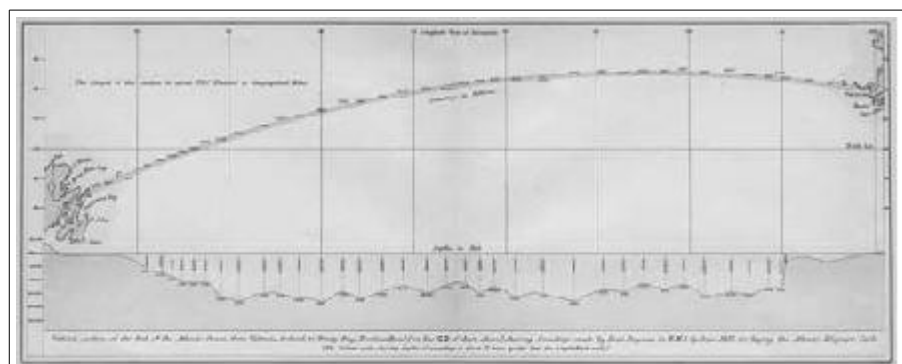


Figura 66 - Seção vertical do leito do Oceano Atlântico entre Valentia e Trinity Bay. Sondagem feita pelo tenente Dayman no H.M.S. Cyclop, em 1857, para o lançamento do cabo (SUBMARINE, 2014)

No curso das pesquisas para o presente trabalho, foi encontrado um fato envolvendo Maury e o Brasil. No começo da década de 1850, o tenente Maury, após uma viagem pelo rio Amazonas, decidiu fazer uma campanha nos Estados Unidos para que a Amazônia fosse colonizada pelos escravos negros do Sul daquele país. A primeira medida estratégica, nesse sentido, seria a abertura do rio Amazonas à navegação internacional. O governo brasileiro, para contornar as pressões diplomáticas daquele país, convenceu o Barão de Mauá a criar a Companhia de Navegação e Comércio do Amazonas, o que ocorreu em 1852. Além de oferecer o serviço de navegação, a companhia se comprometia a fundar 60 colônias na região, formadas por estrangeiros ou índios (RIBEIRO, p.153-155; CALDERA, 1995).

Problemas e soluções

Os primeiros cabos submarinos, notadamente o primeiro cabo Atlântico, foram um laboratório para o teste de tecnologias e concepções sobre a natureza da propagação da

eletricidade. Já foi visto o modo como Siemens e Thomson perceberam e deram soluções para os problemas de propagação do sinal. Será visto aqui como esses acontecimentos se sucederam e quais foram as consequências para a ciência e a técnica.

George Biddell Airy [1801-1892], astrônomo real inglês, usou o telégrafo para as medições da latitude. No final de 1853, Airy encontrou um retardo de 0,1 s do sinal quando fazia testes de medição de longitude com linhas submarinas e subterrâneas que ligavam os observatórios de Bruxelas e Greenwich. Latimer Clark [1822-1898], engenheiro telegráfico que havia assessorado Airy, fez testes interligando em série oito linhas subterrâneas que ligavam Londres a Manchester, numa extensão de 2.576 km (1.600 milhas) de fios. A cada segmento da linha era ligado um galvanômetro. Com um sinal aplicado em Londres, foi verificado o retardo em cada um dos galvanômetros de retorno de cada segmento: à medida que a distância aumentava, os galvanômetros demoravam mais a defletir, o que foi confirmado quando os galvanômetros foram substituídos por telégrafos químicos de Bain. Latimer tentou chamar a atenção para os problemas que poderiam acontecer em cabos submarinos de longa distância que estavam sendo cogitados. Para isso, mostrou o problema a Faraday em um cabo submarino que ia ser lançado, nas oficinas da *Gutta-Percha Company*. Faraday então, declarou que esse fenômeno confirmava de modo contundente aquilo que já havia afirmado em 1838 sobre as relações entre condução da eletricidade, indução eletrostática e isolamento dos cabos. Isso fez com que a empreitada de um cabo através do Atlântico fosse uma interrogação (HUNT, 1991b).

Após os fatos descritos, por conta do projeto de lançamento do cabo Atlântico, houve um embate técnico entre o inglês Edward Orange Wilman Whitehouse [1816-1890], cirurgião de profissão e *electrician* amador, e Thomson. Consultor científico do projeto, Thomson, como já foi visto, resolveu abordar o problema de forma matemática, lançando assim a primeira explicação teórica da telegrafia em que levava em conta o comportamento dos parâmetros elétricos dos cabos. Chegou à conclusão de que a taxa de transmissão seria muito baixa. Whitehouse, que era *electrician* oficial e não tinha formação científica, realizou alguns testes de laboratório e afirmou que o cabo era economicamente viável e que a Lei dos Quadrados de Thomson era apenas uma teoria.

Faraday apoiou o projeto, para a alegria de Cyrus Field e da *Atlantic Cable Company*: estavam felizes pelo apoio de Faraday, ainda que cauteloso, à proposta de usar um cabo fino. A escolha de um cabo de espessura fina significava um custo menor para os financiadores, porém uma resistência maior, que implicava em uma taxa de transmissão menor. Thomson, então, reviu os seus cálculos e chegou à conclusão de que o cabo era viável, ainda que com

uma moderada taxa de transmissão. Thomson acompanhou a decisão de lançar o cabo, considerando que era o melhor que poderia ser financiado na época (HUNT, 1991b).

Confecção do cabo

Para o primeiro cabo submarino, lançado em 1856, a *Atlantic Telegraph Company* encomendou 2.500 milhas náuticas (4.630 km) de cabo, apesar de a distância ser de 1.640 milhas náuticas (3.037 km). A diferença de comprimentos era devida à folga necessária de cabo por causa das irregularidades encontradas no leito oceânico. Bright (1892, p. 47) relata uma folga dos primeiros cabos de 17 %.

O núcleo do cabo foi fabricado pela *Gutta-Percha Company*, enquanto que a confecção da blindagem foi dividida em duas metades, encomendadas às firmas *Glass, Elliot & Co.* e *R. S. Newall & Co.*, ambas originalmente fabricantes de cabos metálicos para minas. Apesar da dificuldade de confecção da blindagem, pois o cabo tinha dimensões maiores do que tudo que tinha sido feito até então, o serviço de blindagem ficou pronto em seis meses (BRIGHT, 1898, p.33).

O cabo foi fabricado a partir de 1.200 segmentos isolados, que depois foram sendo soldados e juntados em oito partes de aproximadamente 300 milhas náuticas (556 km) cada. O núcleo era constituído por sete condutores de cobre com bitola 22 B.W.G., recobertos com três camadas de guta-percha, com um diâmetro total de 3/8 da polegada. Ao redor desse núcleo foi aplicado cânhamo saturado com alcatrão, piche, óleo de linhaça e cera, e a blindagem sobreposta a esse núcleo era composta por dezoito tranças de fios de ferro número 22 B.W.G. enrolados de forma helicoidal. Após a blindagem estar pronta, foi aplicada a ela uma mistura de alcatrão, piche e óleo de linhaça. O cabo completo pesava 2.000 libras por milha náutica (490 kg/km) no ar e 1.340 libras por milha náutica (328 kg/km) quando submerso (DIBNER, 1959, p. 17).

Para os segmentos próximos à costa foram usados 46,3 km de cabo, sendo 10 milhas náuticas (18,5 km) para Valentia e 15 milhas náuticas (27,8 km) para a Baía de Trinity. A blindagem era constituída por 12 fios de ferro número 0 B.W.G. e o cabo pesava aproximadamente 4.500 kg/km (DIBNER, 1959). Testes mecânicos mostraram que o cabo suportava uma tensão ao estiramento inferior a três toneladas e, para o teste de isolamento do revestimento, o conjunto foi testado na fábrica por uma bateria constituída por 500 células voltaicas (DIBNER, 1959, p.17).

Para fins de uma futura discussão do impacto ambiental causado devido ao uso da guta-percha como isolante, é interessante ter em mente as quantidades de material que foram

empregados somente na confecção desse cabo: 300 toneladas de guta percha, 119,5 toneladas de cobre e 1.687 toneladas de ferro (BRIGHT, 1892, 34-35).

Lançamento

Para a primeira tentativa, em 1857, o cabo foi colocado a bordo do USS *Niagara* e começou a ser assentado a partir da baía de Valentia, na Irlanda. Porém, depois de 550 km de cabo assentado, ele se partiu, e os esforços foram abandonados (PRESCOTT, 1882, p. 184).

Novamente foram levantados capitais e, no ano seguinte, foi feita uma segunda tentativa. Uma metade do cabo foi transportada pelo navio HMS *Agamemnon* e a outra metade foi transportada pela fragata USS *Niagara*. Na expedição estavam William Thomson (substituindo o *electrician* chefe Whitehouse, que não viajou) e Charles Bright (como supervisor geral), viajando no *Agamemnon*, e Cyrus Field, no *Niagara*. Como Bright conta em seu diário de bordo (ISAAC, 2014), os dois navios se encontraram na latitude 52° N 08' e longitude 22° W 27', a 815 milhas náuticas (1.467 km) de White Strand Bay, Valentia (Irlanda). Nesse ponto foi feita a emenda dos cabos em 18 de julho de 1858. Depois que o meio do cabo desceu até assentar no fundo do mar, a 2.030 braças (3.713 m), os navios foram seguindo devagar, cada um para a sua respectiva costa, e lançando o cabo lentamente. Enquanto ocorria o assentamento, os navios se intercomunicavam através do cabo para que cada um pudesse acompanhar a tarefa do outro. Chegando aos respectivos destinos, cada uma das extremidades foi interligada à respectiva rede telegráfica terrestre de cada país.

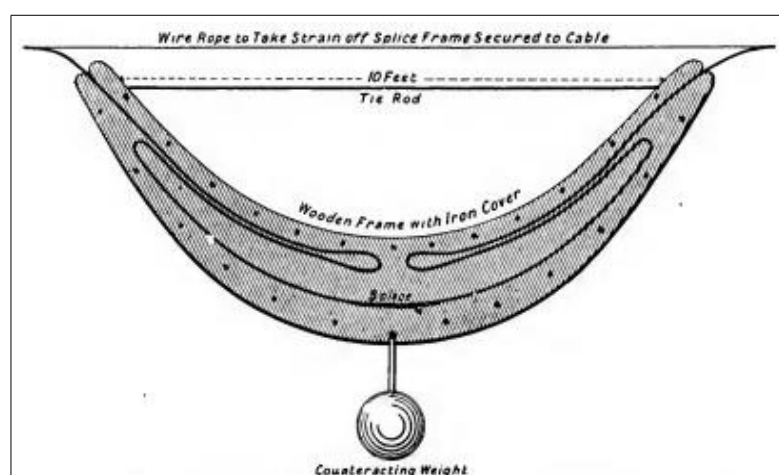


Figura 67 - Dispositivo para junção usado no primeiro cabo atlântico (DIBNER, 1959, p. 28).

Por falta de especificação e coordenação de projeto da parte contratante, as blindagens das metades do cabo foram confeccionadas em sentidos opostos: o cabo da *Elliot and Glass*

foi fabricado com a blindagem enrolada no sentido anti-horário, enquanto a metade fabricada na *Newall* foi enrolada no sentido horário. Esse fato poderia comprometer mecanicamente o cabo, mas o problema foi resolvido engenhosamente pelos engenheiros a bordo dos navios, que desenvolveram uma solução para fazer a emenda (*splice*). Pode-se considerar que esse fato revelou a falta de maturidade da indústria nascente.

O cabo começou a operar em 8 de agosto de 1858, e foi motivo de regozijo dos dois lados do Atlântico. Já haviam sido despachadas mais de 700 mensagens pelo cabo, inclusive uma contra-ordem de embarque de tropas do Canadá para a Grã Bretanha, economizando £50.000 libras de transporte. Porém, após poucas semanas, o cabo parou de funcionar: em parte devido às técnicas inadequadas de confecção e armazenagem (havia um problema no revestimento a aproximadamente 270 milhas, cerca de 370 km, da Baía de Valência) e em parte devido aos altíssimos valores de tensão aplicados ao cabo.

Na Terra Nova havia um registrador desenvolvido por Morse, cujo relé consumia uma apreciável corrente de linha e em Trinity, foi usado o galvanômetro óptico de Thomson, que para ser ativado consumia uma corrente muito pequena, portanto era muito sensível. As mensagens que iam da Grã-Bretanha para a Terra Nova, demoravam muito para serem completamente despachadas porque chegavam irreconhecíveis e tinham que ser repetidas: foi o caso da mensagem da rainha Vitória para o presidente dos Estados Unidos que demorou mais de 16 horas para ser enviada. As mensagens que vinham da Terra Nova eram recebidas rapidamente pelo galvanômetro de Thomson. Depois soube-se que elas eram repetidas manualmente para um telégrafo de Morse na própria estação de Valentia de modo a serem registradas em fita, e daí eram enviadas para os diretores da empresa, que pensavam que as duas extremidades estavam sendo operadas com o telégrafo comum (DIBNER, 1959).

Whitehouse tinha a crença de que era necessário usar altos valores de tensão para melhorar o recebimento do sinal (para ativar o relé) na Terra Nova; com um conjunto de 500 células e uma bobina de indução maior que 1,5 m, ele foi aumentando a tensão dos pulsos enviados até atingir aproximadamente 2.000 volts, ao invés dos usuais 70-80 volts. Isso causou danos irreversíveis ao isolamento de guta-percha. Thomson ainda conseguiu usar o cabo com o seu sensível galvanômetro durante pouco tempo, mas o cabo parou de funcionar (DIBNER, 1959, p. 44). Após esse incidente, Whitehouse foi afastado e Thomson tornou-se diretor técnico da companhia.

Whitehouse, *electrician* amador, não tinha a formação matemática sólida que era a característica de Thomson. Suas polêmicas com Thomson acerca de detalhes de construção do

cabo e as previsões erradas do seu desempenho mostram a falta de amadurecimento dos conhecimentos necessários para essa indústria. A indústria do cabo teria que se basear, daí por diante, em sólidos conhecimentos científicos para poder prosperar. Não se podia trabalhar nesse tipo de empreendimento de maneira *ad hoc* e não era atividade para amadores.

3.3.2.3.2 O *COMMITTEE OF INQUIRY*

Seria a telegrafia submarina uma tecnologia falida?

A série de falhas de lançamento do primeiros cabo Atlântico, da rota do Mar Vermelho para a Índia e de algumas rotas no Mediterrâneo, no meio da década de 1850, causou perdas financeiras significativas, tanto para os investidores particulares quanto para o tesouro britânico. Com isso, começou a se desenvolver uma sensação de que a tecnologia por cabo submarino não tinha futuro, era uma tecnologia falida. Esse sentimento foi expresso, por exemplo, em uma carta publicada na primeira página da *Scientific American* de março de 1858, com o título *Will the Atlantic Telegraphic Cable operate?* (PORTER, 1858).

Entretanto, poderosos interesses econômicos e políticos britânicos perceberam o potencial da tecnologia. Já estava havia mais de 18.000 km de cabos submarinos instalados, sendo que mais de 80 % dessa extensão total pertencia às empresas britânicas e aos governos coloniais australiano e indiano. A rede começava a ser espalhar pelo planeta e era necessário o reforço dos laços econômicos e políticos em regiões distantes - no caso da Inglaterra, com a Austrália, a Índia e a China -, bem como do comércio com os países das Américas.

Para levantar os problemas e as soluções relativas à tecnologia de cabos, foi criado o *Committee of Inquiry*, que atuou no período de 1859 a 1860. Esse comitê foi formado a pedido do *Privy Council for Trade* e da *Atlantic Telegraph Company* (ATC), empresa responsável pelo primeiro cabo Atlântico. Foi presidido pelo capitão Douglas Strutt Galton [1822-1899] e teve representantes das duas partes.

Em 1861, foi publicado o *Report of the Joint Committee appointed to the Lords of Commons of the Privy Council for Trade and the Atlantic Telegraph Company to inquire into the Construction of Submarine Telegraph Cables*, um relatório (*Blue Book*) de mais de quinhentas páginas, que fazia um levantamento dos principais problemas e apontava as soluções. Devido à sua importância para a história das técnicas, vale a pena descrever alguns aspectos desse relatório, que foi dividido em três partes (COMMITTEE, 1861, p.v):

- I. Um breve levantamento das principais linhas telegráficas que já foram lançadas;
- II. A construção e o lançamento dos cabos submarinos;

III. Um sumário dos princípios os quais nós consideramos devem governar esses empreendimentos no futuro.

O documento começa com um pequeno histórico sobre o desenvolvimento e a situação operacional de todos os cabos submarinos então existentes; de acordo com o levantamento feito pelo *Committee*: constata que, de um total de 11.364 milhas (18.296 km) de cabos submarinos em todo o mundo, somente 3.000 milhas (4.830 km) efetivamente funcionavam, ou seja, cerca de um quarto do total (COMMITTEE, 1861, p. v).

O relatório continua com entrevistas de 43 especialistas, telegrafistas e outros envolvidos nas várias atividades relativas aos cabos submarinos, como Cromwell Fleetwood Varley [1828-1883], Latimer Clark, William Thomson, Charles Wheatstone, Charles William Siemens e Werner Siemens, Charles Brigh [1832-1888], Fleeming Jenkin, Willoughby Smith [1828-1891] e Edward Whitehouse. Essas entrevistas foram realizadas por outros membros do próprio comitê, sobre suas respectivas participações, experiências e opiniões acerca dos problemas que então assolavam os cabos submarinos. Por exemplo, a entrevista de Thomson foi feita pelo capitão Galton, Varley, Wheatstone e Seward.

O relatório era profusamente ilustrado, com gráficos, tabelas e desenhos demonstrativos e a descrição detalhada dos aparatos e os testes que foram implementados com as partes constituintes dos cabos. Na última parte apresentava 18 apêndices listados a seguir.

1. Descarga indutiva nos cabos, Charles Wheatstone
2. Condições físicas elétricas do isolamento dos cabos, Lattimer Clark
3. Variação da condutividade do cobre comercial, A. Matthiessen
4. Investigação química sobre o decaimento da guta percha, Allen Miller
5. Permeabilidade dos isolantes usados nos cabos, William Fairbain
6. Experimentos para determinar a influência da temperatura e pressão dos materiais isolantes, C. G. Bartholomew e Owen Rowland
7. Experimentos sobre as características elétricas dos materiais isolantes, Werner Siemens e William Siemens
8. Experimentos com a guta percha como isolante, John Chatterton e Willoughby Smith
9. Experimentos com as características mecânicas dos cabos, a pedido do Committee (sem autoria)
10. Teste de rigidez mecânica, Siemens e outros
11. Manufatura e teste, Vários
12. Princípios e práticas envolvidos para se lidar com cabos submarinos, Siemens e Siemens
13. Condições elétricas do cabo do Mar Vermelho, Siemens e Halske

14. Propriedades isolantes da guta-percha, Jenkin
15. Carta de requisitos dos cabos de grande comprimento, Charles Bright
16. Técnicas bem sucedidas de lançamento do cabo Atlântico, Charles Bright
17. Relato de experimentos do cabo mediterrâneo, Vários
18. Tabela com as várias particularidades dos cabos submarinos

As conclusões do relatório foram as seguintes (BEAUCHAMP, 2001):

- a) as variações na condutividade foram causadas pelas impurezas do cobre usado;
- b) o processo de manufatura do cabo foi responsável pela porosidade no revestimento da guta-percha;
- c) as juntas (*splices*) dos vários segmentos dos cabos não haviam sido bem feitas;
- d) pequenas perfurações na blindagem permitiram que a água do mar penetrasse no revestimento de guta-percha, anulando suas propriedades isolantes;
- e) a excentricidade dos condutores foi causada pela alta temperaturas a que o cabo foi submetido durante o armazenamento, tanto na fábrica (da *Glass & Elliot*), como nas docas de Plymouth e também nos navios.

A experiência mostrou que os cabos deveriam ser testados em todas as fases do processo: desde a manufatura até o seu lançamento, sob água e sob pressão.

A importância histórica do *Committe* reside em que ele fez um levantamento dos problemas existentes de forma científica; assentou em bases racionais todos os procedimentos e o controle de qualidade que envolviam as fases de manufatura, incluindo testes elétricos e mecânicos, armazenamento, transporte e assentamento dos cabos. Isso iria influenciar a engenharia das indústrias telefônica e elétrica que surgiram depois. Deste *Comittee* surgiu também a necessidade do estabelecimento das unidades elétricas absolutas, que será tratado em outra seção.

3.3.2.3.3 SEGUNDO CABO ATLÂNTICO

Rotas alternativas

Após a falha do cabo Atlântico em 1858, foram sugeridos dois esquemas alternativos para a interligação da Grã-Bretanha com os Estados Unidos. O primeiro esquema foi apresentado em 1860 e propunha uma rota ligando a Irlanda até as ilhas Faroe, na América do Norte, passando pela Islândia e a Groenlândia. Seria feito em quatro segmentos, sendo que um deles seria terrestre, na Islândia. Mas devido ao gelo e às dificuldades de manter as estações terrestres, o projeto foi descartado.

O segundo esquema propunha uma rota entre o sul da Espanha, a costa do Brasil e a Guiana, passando pelas colônias inglesas do Caribe e daí, para os Estados Unidos. Porém, devido à grande extensão da rota, o esquema recebeu pouco suporte e foi descartado (BRIGHT, 1898). Assim, foi mantida a rota original.

Confecção do cabo

Diante da falha do primeiro cabo, um novo cabo foi projetado. Em termos financeiros, a perda do primeiro cabo dificultou a atração de capitais para a *Atlantic Telegraph Company* (ATC). Do lado americano, havia dificuldade em levantar os capitais necessários, devido à Guerra de Secessão (1861-1865). No lado britânico, a questão foi resolvida em 1864 com a fusão da *Gutta-Percha Company* com a *Glass Elliot & Co.*, ambas com interesses de John Pender, que formou então a *Telegraph Construction and Maintenance Company*, Telcon, tornando-se seu presidente (HUUDERMAN, 2003).

Para a confecção desse segundo cabo, foi formado um comitê científico, composto por Wheatstone e Thomson, para fazer recomendações das suas especificações. Eles recomendaram aplicar quatro camadas de guta-percha e reforçar a armadura, proporcionando um cabo bem mais robusto do que o de 1858. Ao invés de ser feito em duas metades, foi confeccionado uma única peça. Com um cabo mais pesado, foi necessário reforçar os equipamentos de lançamento no navio.

Instalação

Na primeira tentativa, para acomodar tamanho peso, foi usado o maior navio da época, o *Great Eastern*. O navio partiu da Inglaterra, em 1865, porém, a dois terços do caminho, o cabo perdeu-se.

Em 1866 foi feita a segunda tentativa. Um novo cabo foi manufaturado e colocado a bordo do *Great Eastern*. Ele partiu da Grã-Bretanha e completou com sucesso a missão de lançamento até a Terra Nova, em julho do mesmo ano. No caminho de volta, conseguiu recuperar o cabo perdido no ano anterior e fazer os reparos com sucesso. Com isso, ao invés de um cabo, a ligação através do Atlântico tinha agora dois cabos. O cabo começou a operar com uma velocidade média de cinco palavras por minuto (HUUDERMAN, 2003).

3.3.2.3.4 TERCEIRO CABO ATLÂNTICO

Em 1868, foi lançado um cabo unindo Brest, na França, à ilha de Saint Pierre, ao sul

da Terra Nova, com um comprimento de 4.785 km, também usando o navio *Great Eastern*, sendo que o navio *Chiltern* estendeu o cabo de Saint Pierre a Duxburry, no estado americano de Massachussets. Esse cabo não teve vida longa porque foi atacado pelo teredo (um molusco), que destruiu o seu núcleo.

Os responsáveis pelo financiamento eram o empreendedor de origem alemã e dono de agência de notícias Julius Reuter [1816-1889] e o banqueiro francês de origem alemã Emil d'Erlanger [1832-1911], que fundaram a *French Atlantic Cable Company*. Era uma tentativa dos interesses franceses de contornarem o monopólio da companhia de cabos inglesa, a *Atlantic Telegraph Company* (ATC), e se conectarem diretamente com a América do Norte. Porém dois fatos marcaram o domínio inglês: a confecção do cabo foi feita pelas firmas Telcon e W. T. Henley, e a ATC tinha os direitos de exclusividade dos cabos que chegavam aos EUA. Em 1872, a ATC absorveu a *French Atlantic Company* (HUUDERMAN, 2003).

3.3.2.3.5 QUARTO CABO ATLÂNTICO

A partir de 1871, a *Siemens Brothers Telegraph Works* começou a fabricar cabos submarinos. Além do domínio do processo de confecção de cabos, Charles Williams Siemens também mandou construir um navio especialmente adaptado para a tarefa de lançamento, um *cablesip* batizado de *Michael Faraday* e mais conhecido somente como *Faraday*. A *Siemens Brothers* lançou um cabo transatlântico, ligando os Estados Unidos diretamente à Grã-Bretanha, entre 1874 e 1875. O financiamento do projeto foi feito pelo *Deutsche Bank* e intermediado por George Siemens, parente distante dos Siemens (HUUDERMAN, 2003).

3.3.3 Difusão dos cabos submarinos

O domínio da tecnologia dos cabos submarinos permitiu uma rápida expansão da rede telegráfica por todo o planeta. Após a implantação de linhas para a América do Norte, uma intensa atividade de lançamento de cabos ocorreu na década de 1870, similar à febre das ferrovias que já havia acontecido na Inglaterra. Cabos submarinos começaram a ser estendidos a partir da Europa para a interligação com a Ásia, a África, a Austrália e a América do Sul. A lógica dessa difusão seguiu a lógica dos interesses comerciais e geopolíticos da Grã-Bretanha, potência hegemônica da época, que continuou sustentando essa hegemonia no plano internacional até o começo da Primeira Guerra Mundial.

3.3.3.1 Europa e América do Norte

Em 1854, John Brett fundou a *Mediterranean Extension Telegraph Company*. Usando cabos da *Newall & Co.*, em 1855, lançou uma linha entre a ilha da Sardenha e a Argélia. Nos anos seguintes, outros cabos ligaram a Itália às ilhas do Mediterrâneo e à África, que assim ficaram conectadas à rede terrestre europeia. No fim de 1873, havia cinco cabos entre a Inglaterra e o Canadá. Daí até os Estados Unidos, a ligação era por linha terrestre. Como a situação não agradava às autoridades americanas, ainda nesse ano foi criada a *Direct United States Cable Company*, associada à *Siemens & Halske Company*, para lançar um cabo direto entre os Estados Unidos e a Inglaterra. Como a extensão total seria de 4.927 km, o cabo foi dividido em duas seções: da Inglaterra para Tor Bay, em Nova Scotia (Canadá), e daí até Rye Beach em New Hampshire. O cabo começou a operar em 1875 mas dois anos depois, quando os cabos da ATC, de 1865, falharam, foi comprado por esta empresa. A *Siemens Brothers* também lançou o primeiro cabo transatlântico francês, que começou a operar em 1879, mas este também foi comprado pela ATC.

A primeira tentativa para quebrar o monopólio da ATC foi do americano Jay Gould [1836-1892], dono de estradas de ferro, que criou a *American Telegraph and Cable Company* e contratou a *Siemens Brothers* para instalar dois cabos entre Penzance (Cornualha) e Canso (Nova Scotia). Os cabos foram lançados pelo *Faraday*. Quando ficaram prontos, em 1882, Gould alugou os cabos à *Western Union*, mas esta logo se uniu à ATC, restaurando o monopólio. A primeira competição verdadeira pela rota transatlântica começou em 1884, quando James Gordon Bennett [1841-1902], proprietário do jornal *New York Herald*, convenceu o industrial e dono de minas de ouro e prata americano, de origem irlandesa, John William Mackay [1831-1902] a criar uma empresa competidora (COGAN; BALDWIN, 2013).

É importante salientar que o que ocorreu em termos de monopólio nos serviços e na tarifação dos cabos, ocorreu também no mercado de divulgação de notícias: em 1870, houve uma divisão do mercado mundial de notícias entre essas agências, que durou aproximadamente 50 anos (SOLYMAR, 1999, p. 61).

3.3.3.2 Ásia, África e Austrália

Depois da instalação do cabo submarino para a Índia, em 1870, era conveniente estender as linhas asiáticas, pois o comércio com o Extremo Oriente estava crescendo. Para

isso foi aproveitada a rede terrestre indiana, conectada à Europa pela linha submarina. Assim, foram lançados cabos para ligar Madras, no leste da Índia, com Singapura e com Penang, na Malásia (HUUDERMAN, 2003). Essa linha se estendeu depois até Hong Kong, ligando a China ao circuito internacional e permitindo a criação de uma rede em todo o Extremo Oriente. Em 1903, a *American Pacific Cable Company* lançou um cabo através do Oceano Pacífico, ligando a China aos Estados Unidos (BEAUCHAMP, 2001, HUUDERMAN, 2003).

Em 1880, uma linha submarina que partia de Aden, pertencente à Telcon, interligou Zanzibar, Moçambique e Durban (na Colônia do Cabo), conectando a costa leste da África à rede telegráfica internacional. As costas norte e oeste foram contornadas por cabos interligando as principais cidades das terras dominadas pelas potências europeias.

O primeiro cabo submarino para a Austrália foi lançado de Java e começou a operar em 1872, para atender à necessidade das empresas inglesas de se comunicar com os produtores de lã. O cabo transoceânico para a Austrália e a Nova Zelândia foi um grande desafio: seria o mais longo de todos, com 11.000 km de extensão, cruzando o Oceano Pacífico até a América do Norte. Sua instalação foi resultado de uma parceria entre o Canadá, a Inglaterra, os Estados Unidos, a Austrália e a Nova Zelândia. O planejamento começou em 1887 e a linha começou a operar em 1902 (BEAUCHAMP, 2001, HUUDERMAN, 2003).

3.3.3.3 *Américas e Caribe*

Em 1866, o empreendedor americano James Scrymser [1839-1918] fundou a *International Ocean Telegraph Company* que, até 1867, instalou cabos ligando a Flórida a Cuba. Em 1869, a *West India and Panama Telegraph Company* lançou um cabo entre Cuba e o Panamá. Entre 1870 e 1872, empresas inglesas instalaram uma rede de cabos interligando as ilhas do Caribe e a Guiana (na época, colônia inglesa). Em 1879, Scrymser fundou a *Mexico Telegraph Company*, que lançou um cabo entre o Texas e portos no México. No mesmo ano, Scrymser criou a *Central and South America Telegraph Company*, que lançou um cabo submarino da costa oeste do México, ligando El Salvador, Nicarágua, Panamá, Colômbia, Equador, Peru e Chile; a linha ficou pronta em 1882 e fechou a conexão com as linhas terrestres que vinham do leste do continente. A importância dessa linha foi garantir a comunicação entre as Américas do Norte, Central e do Sul sem usar os serviços ingleses.

Ainda durante a década de 1880, foram lançados cabos ligando as ilhas do Caribe e a América do Sul à Europa. Aos poucos, as empresas concessionárias dessas linhas foram sendo reorganizadas de modo a assegurar aos Estados Unidos o controle total das comunicações

telegráficas nas Américas (BEAUCHAMP, 2001, HUUDERMAN, 2003).

A *Société Française des Télégraphes Sous-Marins* instalou em 1896 uma linha entre Nova Iorque e Haiti, e outra entre as Índias Ocidentais e a Venezuela. Com o cabo entre Brest e Terra Nova, de 1869, a França ficou com uma linha de operação própria para suas possessões no Caribe, mesmo que através da linha entre Terra Nova e Nova Iorque.

3.3.3.4 Brasil

Em 1872, o Barão de Mauá recebeu uma concessão para lançar e operar um cabo submarino que iria do Rio Grande do Norte, via Cabo Verde e Madeira, até Lisboa. Mas em 1873, Mauá transferiu a concessão para a *Brazilian Submarine Telegraph Company*, criada por John Pender para essa finalidade. Essa empresa, junto com a *Telegraph Construction and Maintenance Company*, instalou um cabo costeiro, que começou a operar em julho de 1874, interligando o Rio de Janeiro, Salvador, Recife e Belém. A linha que ligava Recife, João Pessoa e Natal, foi lançada em 1875.

A primeira ligação internacional por cabo foi feita nesse mesmo ano, com Portugal, tendo sido concluída por meio de contrato com a *British Eastern Telegraph Company*. Em 1886, foi feita a conexão com os Estados Unidos por um cabo submarino que ligava Belém à rede do Caribe. Em 1893, a companhia inglesa *South American Cables Ltd.* instalou um cabo submarino em Fernando de Noronha, cuja concessão foi transferida para a França em 1914. Um segundo cabo submarino em Fernando de Noronha foi lançado pela italiana *Italcable* em 1925. (BERTHOLD, 1922; DUNLOP, 1955; TELECO, 2013).

3.3.3.5 O mundo interligado pela telegrafia elétrica

No final da década de 1870, já havia uma rede de cabos ligando todos os continentes habitados, interligados com a rede terrestre, formando uma rede mundial (HEADRICK, 1988). Havia entre 90.000 e 100.000 telégrafos em operação, dos quais cerca de 80.000 eram do tipo Morse e os restantes eram dos tipos Hughes, Cooke e Wheatstone, Siemens, Breguet, Baudot e outros. Por volta de 1876, a rede telegráfica mundial possuía mais de 1.000.000 km de fios, dos quais 50.000 km eram cabos submarinos interligando 20.000 localidades (HUUDERMAN, 2003, p. 89). Em 1895, a rede mundial somava um comprimento total de 2.066.496 km de linhas e, no ano anterior, tivera um trânsito total de cerca de 350 milhões de telegramas (HUUDERMAN, 2003, p. 140-141).

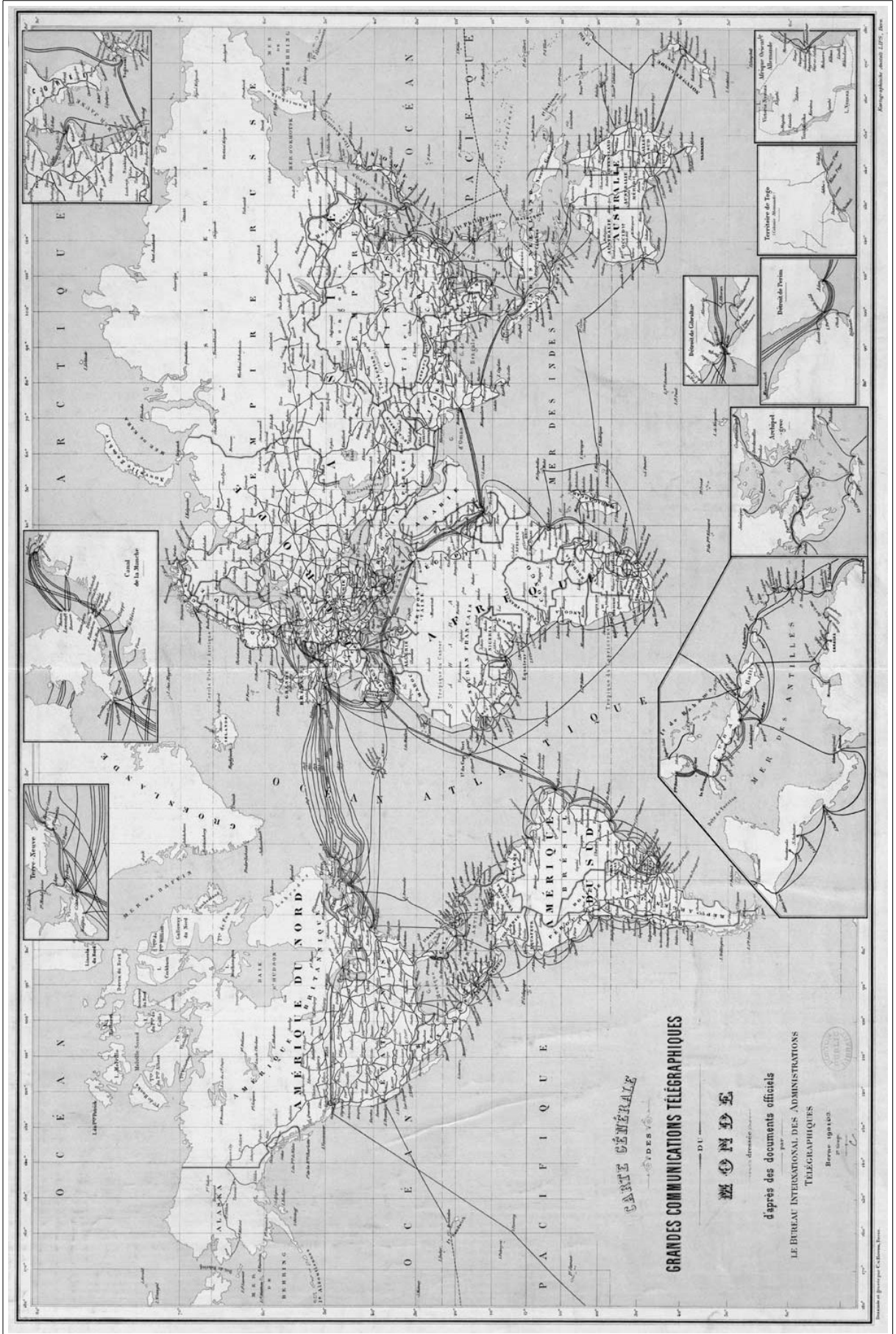


Figura 68 - Rede mundial de telegrafia em 1901 (HOVEN, 1901).

4 INTERRELAÇÕES

Os capítulos anteriores descreveram os contextos histórico e científico em que se deu o desenvolvimento da telegrafia. Também foi descrita a tecnologia da telegrafia: como ela surgiu, como se desenvolveu e como foi utilizada. Este capítulo pretende relacionar esses três planos, destacando pontos que demonstram como ciência e tecnologia se relacionaram entre si e com a dinâmica social, no caso do desenvolvimento da telegrafia.

4.1 INTERRELAÇÕES TÉCNICAS E CIENTÍFICAS

4.1.1 Na indústria

Houve uma grande evolução técnica desde o tempo em que, por ocasião do lançamento do primeiro cabo ligando a França à Inglaterra, em 1851, o engenheiro Charlton Wollaston verificava a presença ou ausência de sinal, colocando o condutor na língua e sentindo se levava um pequeno choque, ou quando os defeitos nas linhas terrestres eram corrigidos por tentativa e erro, pela simples substituição de condutores. Após duas décadas, com a introdução de um sistema de unidades elétricas, tornou-se possível adotar melhores práticas de manutenção das redes telegráficas, bem como controlar a uniformidade e registrar de maneira precisa as características elétricas dos materiais isolantes e condutores.

A adoção de testes mecânicos e elétricos, ao longo do processo de manufatura e por ocasião do assentamento dos cabos, melhorou o desempenho da indústria no sentido de que ela pôde perseguir metas de qualidade de produtos, como a diminuição das perdas dos cabos e o aumento da velocidade de transmissão. Pela década de 1880, a indústria telegráfica em geral, e a de cabos submarinos em particular, podiam ser consideradas maduras. A indústria de cabos, por suas práticas e seus laboratórios, era então considerada uma indústria de alta tecnologia. Thomson reconheceu que os engenheiros de cabo (*electricians*) estavam à frente dos físicos, devido à sua capacidade de fazer medições precisas desde a década de 1860 (HUNT, 1994).

A indústria telegráfica ajudou a criar um novo campo de trabalho para os engenheiros com adequada formação científica: o ramo de patentes e consultoria. Após o lançamento dos primeiros cabos, Thomson e seus sócios começaram a receber, das companhias de cabos, os direitos das patentes referentes aos dispositivos inventados e às soluções desenvolvidas que

começaram a dar dividendos. Por exemplo, ele e Varley receberam os direitos pela colocação do capacitor em série nos cabos submarinos. Em 1869, os dois atuaram como consultores no cabo Atlântico francês.

A experiência acumulada na confecção de cabos submarinos e a resolução dos inesperados fenômenos elétricos encontrados foram importantes para a implantação posterior da indústria elétrica, para a construção de geradores e de cabos de transmissão de energia elétrica. Além disso, muitos dos que trabalharam na telegrafia foram atuar posteriormente nessa indústria. Um caso exemplar foi o de Werner Siemens, que começou na telegrafia e depois atuou na indústria elétrica, criando dínamos e motores usados para tração elétrica. Thomson, que atuou na indústria telegráfica submarina desde o seu começo e nela se manteve até o final da vida, também se dedicou à pesquisa da produção de lâmpadas e da distribuição de energia elétrica, chegando a desenvolver instrumentos elétricos, entre os quais um alternador elétrico e um voltímetro eletrostático (SMITH; WISE, 1989).

Cabe ressaltar que, além de Thomson, também Faraday e Wheatstone, pela abrangência de seus interesses e participação nos assuntos tecnológicos da época, foram pesquisadores que fizeram a sobreposição dos interesses da indústria com a ciência na Inglaterra (FOX; GUANINI, 1999).

4.1.2 Na ciência

Como os capítulos anteriores permitiram perceber, a relação entre ciência e tecnologia, no caso da telegrafia, foi uma via de mão dupla. Se a tecnologia do telégrafo se desenvolveu a partir dos avanços da Física, os problemas colocados por essa tecnologia impulsionaram a ciência por novos caminhos. O objetivo dessa seção é apresentar algumas interações resultantes entre a ciência e a tecnologia da telegrafia, mostrando que o desenvolvimento tecnológico dos ramos da indústria que tinham como base a Eletricidade tiveram que criar técnicas de medição e avançar no estabelecimento das unidades de medidas, bem como modificar o sistema de ensino de engenharia, e que esse avanço teve como protagonistas, em muitos casos, os mesmos participantes da indústria de telegrafia terrestre e submarina.

4.1.2.1 Unidades de medida

No período inicial dos estudos de eletricidade e magnetismo, não existiam unidades de

medida para esses fenômenos. Os eventos observados e os resultados dos experimentos eram descritos qualitativamente ou por comparação. O deslocamento das partes móveis de um eletroscópio, por exemplo, era no início avaliado apenas visualmente: se as partes móveis haviam se deslocado e qual foi a amplitude do deslocamento. Mais tarde, num esboço de quantificação feita por meio dos eletrômetros, o deslocamento passou a ser comparado com uma escala dividida em graus angulares. Essa situação se manteve até aproximadamente a década de 1840, quando a complexidade crescente dos conhecimentos científicos e das aplicações práticas da eletricidade foi tornando cada vez mais urgente a necessidade de existir um padrão de medidas para a área, como já fora feito para outros campos de conhecimento com a criação do sistema métrico em 1799.

Medidas precisas de eletricidade faziam parte da tradição dos físicos franceses, como foi o caso do exame sistemático das forças eletrostáticas feito por Coulomb no final do século XVIII. A terminologia teve o físico e químico francês Henri Victor Regnault [1810-1878], um pesquisador que fez cuidadosas medidas das propriedades térmicas dos gases, e que trabalhou na obtenção de dados sobre a pressão e na medição do calor específico dos materiais para otimizar o consumo de combustível de máquinas a vapor, a pedido do governo francês.

Thomson, no início da sua carreira, decidiu ganhar experiência e, em 1845, foi trabalhar com Regnault. No final da década de 1850, trabalhou com James Prescott Joule, filho de um rico fabricante de cerveja, em experimentos de gases e calor dentro de um ambiente industrial. Essas experiências influenciaram o seu trabalho posterior com cuidadosas medidas elétricas e métodos elaborados por ele para achar o valor de resistência padrão que será visto mais adiante.

4.1.2.1.1 A NECESSIDADE DE UM PADRÃO DE RESISTÊNCIA

Se nas primeiras décadas do século XX já era possível usar o multímetro, aparelho capaz de fazer medidas de resistência, de voltagem e de corrente, com unidades definidas, na década de 1860 as medições ainda eram pouco precisas. Para mudar esse quadro, que não era nada bom para os negócios, um caminho de evolução científica e tecnológica teve que ser percorrido.

No campo tecnológico, a área em que havia urgência de medidas precisas era a telegrafia. Devido à necessidade de localizar falhas nas redes terrestres e nos cabos, todos os que trabalhavam em telegrafia, em geral, ficaram convencidos da importância do estabelecimento de um sistema racional de unidades elétricas para as variáveis de tensão,

corrente e resistência. Com isso, os engenheiros poderiam fazer comparações adequadas das unidades dessas variáveis. Assim como na química, a precisão também se tornou um requisito essencial no campo dos fenômenos elétricos e magnéticos. Mais uma vez, a indústria telegráfica, notadamente a submarina, fez com que a necessidade de medições precisas desenvolvesse a ciência do eletromagnetismo; e a adoção de um padrão de unidades elétricas de todas as variáveis envolvidas no processo ajudou a especificar, inclusive, contratos e o comércio de materiais e de aparelhos.

No início vigorava uma certa confusão. Na falta de um padrão aceito por todos, os físicos (para levar a cabo experimentos com eletricidade) e os engenheiros telegráficos acabaram criando padrões próprios de resistência: usaram fios de cobre, de ouro, de prata ou de ligas, com determinado comprimento e seção reta. Wheatstone, por exemplo, em 1840, construiu um instrumento no qual podia adicionar ou subtrair valores de resistência. Usou, como resistência padrão, uma peça de cobre medindo 1 pé (33,3 cm) de comprimento e pesando cem gramas (PRESCOTT, 1888, p. 169). O engenheiro e físico alemão radicado na Rússia, Emil Moritz von Jacobi [1801-1874], criou um padrão de resistência que enviou para vários físicos e outros pesquisadores, recomendando seu uso. Consistia em um fio de certo tipo de cobre medindo 25 pés (7,62 m), com um diâmetro de 0,667 mm e pesando 22,49 g (MAXWELL, 1954, p. 466).

Os métodos de reparo até então usados nas redes aéreas, de substituição de condutores, para a medição da corrente da linha, eram simples, porém não tinham muita precisão. Medições precisas de corrente, e notadamente de resistência, passaram a ser necessárias para a localização de falhas. Foram empregadas nos primeiros cabos submarinos, mas a falta de um sistema de unidades elétricas racional mostrou ser um empecilho para o desenvolvimento tanto da ciência eletromagnética quanto da indústria baseada nas tecnologias que tinham como base esses conhecimentos.

Para poder fazer manutenção nas suas redes, as administrações telegráficas também criaram seus padrões de resistência próprios. Por exemplo, por volta de 1860, as administrações da França e da Suíça adotaram como padrão a resistência de um fio de ferro de 1 km de comprimento e 4 mm de diâmetro (PRESCOTT, 1888, p. 169).

4.1.2.1.2 CAIXA DE RESISTORES PADRÃO

Seguindo a prática da época de criar padrões de resistência próprios, Siemens (2008), nas suas memórias, diz que a sua empresa, a *Siemens & Halske*, produziu um dispositivo com

valores de resistência padrão para serem usados pela administração do telégrafo prussiano, mas não deu detalhes da sua composição. Prescott (1888, p. 169) informou sobre um padrão de resistência usado pelo telégrafo prussiano desde 1848, que posteriormente foi substituído pelo padrão, à base de mercúrio, criado também por Siemens. Era baseado na milha alemã, composto por um fio de cobre medindo 8.238 jardas (7.530 m) e com 1/12 de polegada de diâmetro.

Maxwell (1954), no *Treatise*, descreveu o funcionamento de um dispositivo padrão de resistência implementado por Siemens, podendo-se supor que fosse o mesmo fabricado pela *Siemens & Halske*. O padrão consistia em um conjunto de bobinas de resistência de fio de cobre, cujo valor total desejado de resistência podia ser obtido inserindo-se pinos de latão na barra entre as bobinas. A seleção era feita usando o sistema binário.

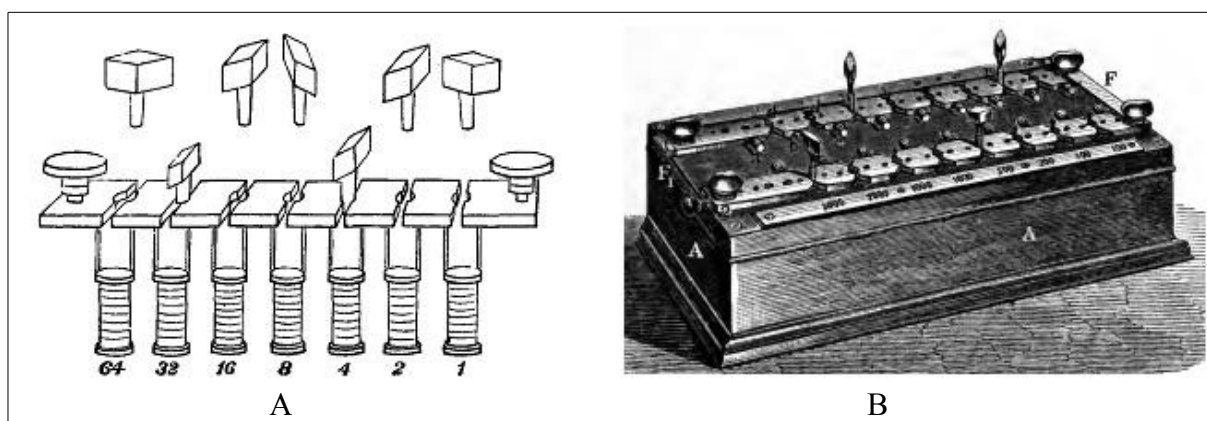


Figura 69 - Caixa de resistências.

A - Arranjo de bobinas de resistências usado por Siemens: as ligações da figura proporcionam 91 unidades de resistência (MAXWELL, 1954, p. 344). B - Aspecto de uma caixa de resistências usada no final do século XIX (PRESCOTT, 1888, p. 181)

A necessidade da variação da resistência para fins de medidas precisas levou à construção de caixas de bobinas de resistores com valores graduados de resistência, que eram usadas desde a década de 1840 (HUNT, 1994).

4.1.2.1.3 O PADRÃO DE RESISTÊNCIA DE SIEMENS

Estava claro que um padrão de resistência, para ser reproduzido, precisava levar em conta as dimensões físicas, a resistência específica do material (resistividade) e o modo como a temperatura afetava a mesma. Algo já era sabido desde Ohm (1827), mas esse conhecimento ainda era pouco utilizado.

Siemens (2008) constatou que o padrão metálico não era confiável porque, mesmo usando cobre com alto grau de pureza, o valor da resistência era passível de variação. Siemens percebeu que o mercúrio, por ser o único metal em estado líquido na temperatura ambiente, não era afetado na sua estrutura molecular da mesma maneira que os outros metais, e então recorreu ao mercúrio como padrão. Criou, desta maneira, um padrão de resistência que consistia em um tubo de vidro com 1 m de comprimento e 1 mm^2 de área, preenchido com mercúrio a uma temperatura de $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Posteriormente, para facilitar o manuseio, o tubo reto foi modificado para uma montagem helicoidal dentro de um vidro em que, através de um furo na tampa, era colocado um termômetro para medir a temperatura do gelo (SIEMENS, 1892).

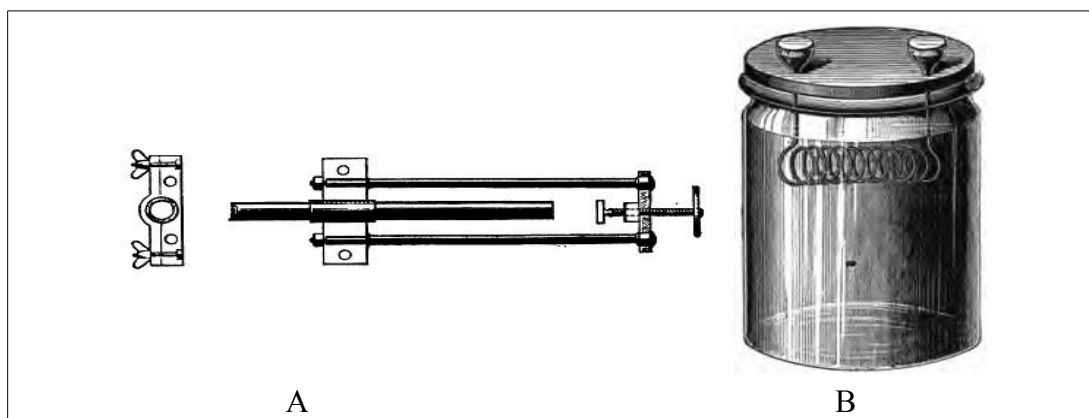


Figura 70 - Padrão de resistência de Siemens.

A - Dispositivo criado por Halske para manipular o tubo de vidro. B - Padrão de resistência de Siemens modificado por Geissler (SIEMENS, 1892, p.167, 174)

O padrão foi usado por Siemens em 1859, por ocasião do assentamento do cabo Suez-Aden, na primeira rota do Mar Vermelho para a Índia e, em 1860, publicou um artigo em que propôs um padrão de resistência elétrica reproduzível (SIEMENS, 1892, p.162).

O padrão empírico de resistência de Siemens começou a ter grande aceitação na Europa continental, tanto que, em 1868, foi adotado, na Conferência Telegráfica Internacional de Viena, como unidade legal de telegrafia, apesar da decidida oposição dos britânicos na pessoa de Mathiessen (SIEMENS, 2008). Os valores de resistência eram referenciados como Unidades de Siemens (SU, Siemens Units), e era assim que Siemens indicava os dados elétricos dos cabos submarinos produzidos pela Siemens Brothers na Inglaterra. Pelo tom com que Siemens se refere a essa oposição britânica, percebe-se que ela não era meramente científica ou tecnológica, mas significava também que a adoção de um padrão alemão por administrações telegráficas europeias favoreceria a aceitação da técnica alemã, e isso significava poder político e financeiro aos participantes.

4.1.2.1.4 O COMITÊ DE UNIDADES ELÉTRICAS DA BRITISH ASSOCIATION

Em 1861, ano da divulgação do relatório (*Blue Book*) sobre a situação e as soluções propostas em relação aos problemas dos cabos submarinos, apareceu também um artigo em que Latimer Clark e Charles Bright propunham a criação de um sistema de unidades baseado no sistema métrico. Nesse mesmo ano, Thomson sugeriu à *British Association for Advancement of Science* (B.A.) que ela promovesse a criação de um sistema racional de medidas elétricas absolutas. A *British Association*, então, criou o *Committee on Standards of Electrical Resistance*, composto originalmente por A. Williamson, Charles Wheatstone, William Thomson, Charles Hockin, A. Mathiessen e pelo engenheiro escocês Henry Charles Fleeming Jenkin. Posteriormente foi reforçado por nomes como James Clerk Maxwell, Charles Williams Siemens, James Prescott Joule, os engenheiros telegráficos ingleses Charles Bright e Cromwell Fleetwood Varley [1828-1883], o físico escocês Balfour Stewart [1828-1887] e o engenheiro elétrico inglês Josiah Latimer Clark [1822-1898]. Pelos nomes citados, pode-se constatar que esse comitê era composto por engenheiros, químicos e físicos, personagens de ponta no campo científico e tecnológico que ainda hoje são muito lembrados, sendo que alguns já tinham atuado no *Committee of Enquiry* de 1861.

O *Committee on Standards* tinha a tarefa prioritária de determinar a unidade padrão de resistência elétrica. Ele atuou durante muitos anos, prolongando os seus trabalhos até o início do século XX. Porém, de 1862 a 1870, foram realizadas as principais contribuições quanto às unidades elétricas. Os subcomitês criados trataram dos seguintes pontos (BRITISH, 1913):

- a) determinação da unidade de resistência, que foi estabelecida por Maxwell, Jenkin e Balfour Stewart;
- b) determinação do efeito térmico da corrente, que foi estabelecido por James Prescott Joule;
- c) determinação da unidade de capacitância, que foi estabelecida por Mathiessen, Hockin, pelo químico e físico inglês Carey Foster [1835-1919] e Jenkin;
- d) determinação da relação entre as unidades eletromagnéticas e eletrostáticas, que foi estabelecida por Maxwell e Thomson.

Em 1863, apareceu o relatório (*Report*) sobre o padrão de resistência elétrica, tarefa prioritária do *Committee on Standards* estabelecido pela *British Association*.

O *Committee on Standards* adotou o sistema de unidades absolutas que já fora proposto em 1851, na Alemanha, por Weber. A justificativa apresentada por Thomson foi que, para a determinação da unidade de resistência e das outras quantidades elétricas, bastava observar as relações encontradas entre elas, e que elas fossem referenciadas às unidades

mecânicas fundamentais de comprimento, massa e tempo, dadas respectivamente em metro, grama e segundo, não dependendo assim das características dos materiais usados para determinar os parâmetros elétricos dos circuitos. Assim, as três equações trabalhadas foram a lei de Ohm ($\mathbf{I} = \mathbf{E}/\mathbf{R}$) [1], a relação de Faraday ($\mathbf{Q} = \mathbf{I.t}$) [2] e a lei de Joule ($\mathbf{W} = \mathbf{I}^2.\mathbf{R.t}$) [3]. Weber adicionou uma quarta relação envolvendo força, a lei de Coulomb ($\mathbf{F} = \mathbf{Q}/\mathbf{d}^2$) [4].¹⁶

Weber denominou essas quatro equações "sistema absoluto de unidades eletrostáticas de medidas". Para associar as quantidades elétricas e magnéticas, Weber considerou a influência que um campo magnético próximo exerce sobre o polo de um ímã, o que é um fenômeno mecânico. Para isso trabalhou com a equação: $\mathbf{F} = \mathbf{I.L.m} / \mathbf{k}^2$ [5].¹⁷ Juntando esta relação com as equações [1], [2] e [3], Weber denominou o conjunto "sistema absoluto de unidades de medidas eletromagnéticas".

O *Committee on Standards*, através do seu relatório, explicou que as unidades elétricas poderiam ser obtidas através do sistema eletromagnético de unidades de Weber, sendo que o primeiro passo seria obter a corrente através da movimentação de um fio horizontalmente cruzando as linhas de força do campo magnético. A relação obtida seria $\mathbf{I} = \mathbf{H.k}^2/\mathbf{L.tan d}$ [6].¹⁸ Portanto, a resistência poderia ser expressa em termos da velocidade com que um condutor com determinado comprimento cruzasse as linhas de força de um campo magnético, produzindo determinada quantidade de corrente. Isso já havia sido feito por Weber, usando um determinado comprimento de fio que se movimentava sobre trilhos, sem muita precisão devido à inconstância do campo magnético terrestre.

A resistência absoluta, expressa por 1 m/s (no sistema eletromagnético, comprimento/tempo - L/T e no sistema eletrostático, tempo/comprimento - T/L),¹⁹ seria tal, que a corrente gerada em um circuito apresentaria uma resistência devido a uma força eletromotriz produzida nos extremos de uma barra ereta de 1 metro de comprimento, movendo-se perpendicularmente ao longo das linhas de força de um campo magnético, produzindo uma quantidade de trabalho suficiente para elevar a temperatura de 0,0002405 gramas de água em 1 °C. Como esse valor, expresso em unidades absolutas, era muito baixo, o *Committee on Standards* decidiu que o valor absoluto da resistência fosse expresso por 10⁷ m/s. Com isso, a unidade podia ser expressa em termos do trabalho necessário para elevar de

16 I - corrente elétrica (constante); R - resistência elétrica; E - tensão elétrica; W - energia; t - tempo; F - força elétrica ou força eletrostática; Q - quantidade de carga; d - distância. A força resultante entre duas cargas individuais é expressa por $F = k_c.q_a.q_b/d^2$, onde k_c - constante de Coulomb; q_a e q_b - cargas elétricas.

17 Onde: I - corrente elétrica; L - comprimento do fio; m - intensidade magnética do polo do ímã (medido em unidades mecânicas); k - raio do condutor colocado em um círculo em torno de um ímã.

18 Onde H - campo magnético terrestre e tan d é correspondente à deflexão obtida pelo galvanômetro.

19 Ver Apêndice E.

1 °C a temperatura de 2.405 gramas de água. Cabe ressaltar que o *Committe on Standards* decidiu adotar as unidades do sistema métrico (metro, grama e segundo) com vistas a facilitar a adoção do seu sistema no continente europeu (BRITISH, 1913).

4.1.2.1.5 O OHM DA B.A.

Em fevereiro de 1865, o comitê de medidas publicou o seu padrão de resistência e adotou o nome *ohm* para a unidade, que ficou sendo conhecida, a partir de então, como *British Association ohm*, *B.A. ohm* ou *ohmad*, este último nome proposto por Latimer Clark. Uma homenagem e reconhecimento ao trabalho de Georg Ohm, que por muito tempo tinha sido marginalizado nos meios acadêmicos, e que, em 1827, encontrou empiricamente uma relação entre área, comprimento e resistividade de um fio, estabelecendo desta forma o valor da resistência do referido fio.

Para tornar mais precisa a medição da resistência absoluta foi construído um aparato, por sugestão de Thomson, usando o sistema eletromagnético de Weber, em que a ideia era obter uma velocidade angular de rotação que gerasse uma determinada corrente nas bobinas quando elas cruzassem as linhas de força do campo magnético terrestre no sentido vertical (WISE; SMITH, 1989, p. 693-694). O valor teórico da resistência era obtida através da manipulação das equações [1], [3] e [5], vistas na seção anterior. Com isso, obtinha-se a equação $R = L^2 \cdot v / 4 \cdot k^2 \cdot \tan \alpha$, onde v expressa a velocidade angular. Logo, pelo ângulo de deflexão do magneto, pelas dimensões da bobina e pela velocidade de rotação, era possível determinar a resistência da bobina em unidades eletromagnéticas.

O aparato foi construído por *Elliot Brothers*, tradicional fabricante de instrumentos científicos, e as medições foram feitas no *Kings College* no ano de 1863. Consistia de duas bobinas com aproximadamente 1 pé (33,3 cm) de diâmetro ligadas em série, lado a lado, que juntas tinham 307 espiras de fio de cobre. Um magneto (imã), com um pequeno espelho colado, era suspenso através de um fio de seda no centro do conjunto de bobinas. Sua posição angular era observada pela diferença entre os valores em uma escala iluminada pela luz que incidia no espelho, distante aproximadamente três metros do aparato, quando estava em repouso e quando a bobina girava à velocidade angular de 350 revoluções por minuto. Essa velocidade era mantida constante através de um regulador especialmente desenvolvido para tal fim. Essa velocidade angular era medida com a ajuda de um cronômetro: uma roda dentada de 100 dentes rodava solidária com o conjunto de bobinas; quando o conjunto dava uma volta completa, um batente no centésimo dente ativava uma haste que fazia soar um campainha.

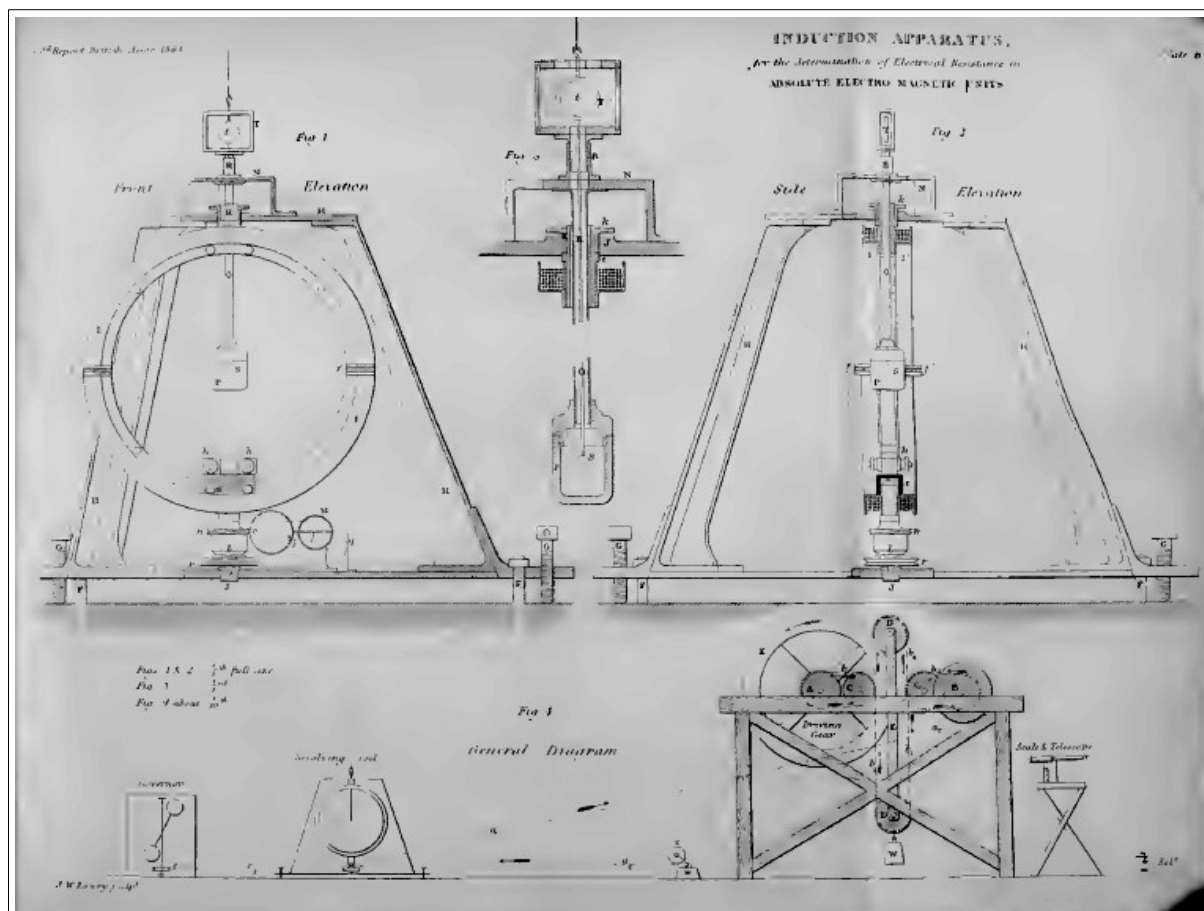


Figura 71 - Aparato de medição da resistência do Committee on Standards. Esquerda - vista frontal. Direita - vista lateral. Embaixo - controlador de velocidade. (BRITISH, 1864, Pl 6, p. 164).

Para comparação do valor medido de resistência, os extremos do conjunto das bobinas do aparato foram ligadas a uma Ponte de Wheatstone (Figura 72). As extremidades do conjunto das bobinas rotativas de cobre do aparato (R) eram comparadas com um padrão de prata alemã²⁰ (S). A e C eram bobinas de resistência proporcionando 100 unidades arbitrárias. A temperatura alterava de forma diferente os valores de R e S. Para compensar isso, adicionavam-se bobinas confeccionadas também com prata alemã: uma, colocada em série com A, na barras L'M', e as outras, nas barras HH' e JJ', representando 1, 2, 4, 8 até 512 unidades arbitrárias que podiam ser ligadas em paralelo, podendo atingir valores que eram centésimos dos valores de A ou C, proporcionando grande precisão à medida encontrada.

A ideia de usar bobinas grandes com bobinas pequenas foi sugerida por Thomson (BRITISH, 1913). Pode-se notar a semelhança do conjunto de seleção de bobinas com a caixa de resistência de Siemens, vista anteriormente.

20 A prata alemã é uma liga formada por 50 a 61% de cobre, 17 a 19% de zinco e 21 a 30% de níquel.

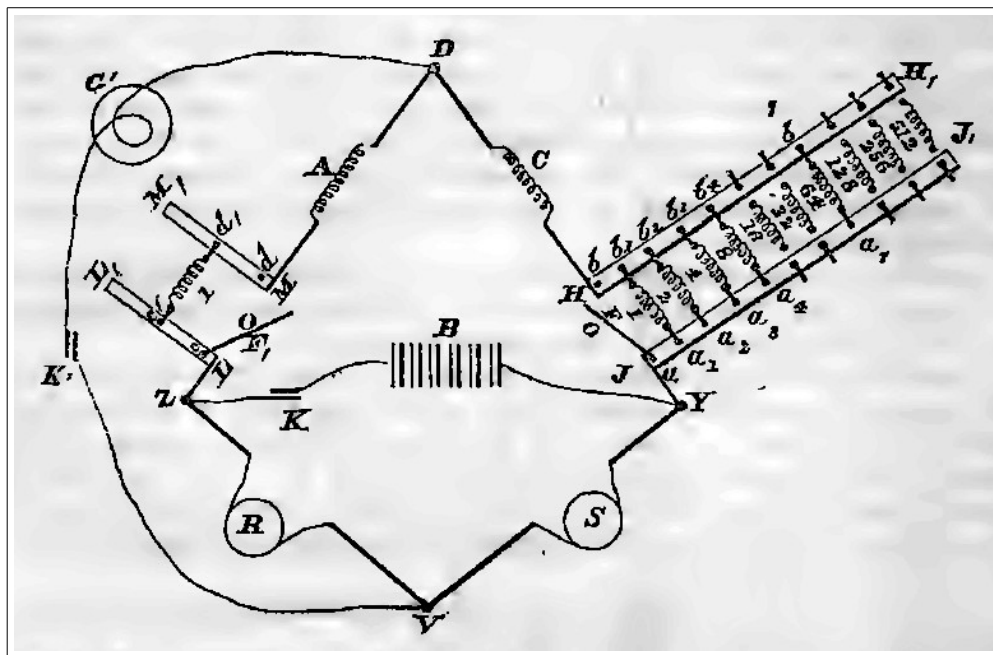


Figura 72 - Circuito para comparação do valor de resistência do aparato do Committee on Standards (BRITISH, 1864, p. 166)

O valor obtido de resistência era replicado por meio de um fio de 1 m a 2 m de comprimento, feito de uma liga de platina e prata, com diâmetro variando de 5 a 8 mm, e enrolado em forma de bobina. O fio era recoberto por seda, o conjunto era lacrado com parafina e então encapsulado com uma folha de latão (MAXWELL, 1954, p. 467).

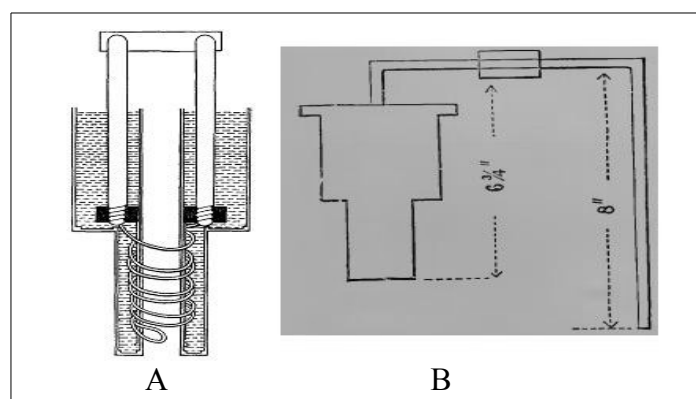


Figura 73 - Vistas do padrão de resistência da B.A.
A- vista de frente (MAXWELL, 1954, p. 467). B- vista lateral (BRITISH, 1891, p. 27)

Na época, a criação do dispositivo de resistência padrão da B.A. teve um imenso impacto não somente na indústria elétrica, mas também na Física, permitindo medições mais precisas, tanto que Jenkin afirmou que o padrão de resistência da B.A. era tão necessário ao *electrician* quanto a balança para o químico. Em 1865, a B.A. mandou cópias certificadas do

ohm padrão para físicos da Grã Bretanha e da Alemanha, e para companhias de cabos e fabricantes de instrumentos ao redor do mundo. O sucesso desse dispositivo deveu-se muito à sua pronta adoção pelas empresas de cabos britânicas, principalmente após o lançamento do segundo cabo Atlântico (HUNT, 2010).

4.1.2.1.6 O CONGRESSO DE PARIS

A ciência, e mais ainda as indústrias baseadas na tecnologia elétrica, precisavam de um sistema de unidades elétricas que fosse de reconhecimento internacional para poder progredir. É bom lembrar que a indústria telegráfica foi consolidada antes que houvesse um sistema de unidades elétricas padrão; a indústria elétrica começou a construir usinas geradoras de energia e a indústria de lâmpadas começou a se sobressair, com padrões, se não estabelecidos, ao menos prestes a se consolidar. Mais uma vez, os personagens que tiveram destaque foram aqueles que trabalhavam diretamente na telegrafia.

Em 1881, foi convocado pelo governo francês o *Congrès International des Électriciens*, em Paris, para tratar de questões referentes à eletricidade. O trabalho foi dividido em três comissões: uma para tratar das unidades elétricas, outra para tratar da eletricidade atmosférica e das correntes telúricas, e uma terceira para tratar do padrão de luz.

Planejado para coincidir com a Exposição Elétrica Internacional, o congresso foi patrocinado por Adolphe Cochery, superintendente geral dos telégrafos da França, e presidido pelo químico Jean-Baptiste Dumas [1800-1884]. Apresentaram-se 250 delegados de vários países e foram reunidos eminentes pesquisadores da ciência e da técnica dos ramos da eletricidade. Pelos nomes a seguir pode-se avaliar a importância do evento e identificar aqueles ligados à indústria telegráfica. A Grã-Bretanha estava representada por nomes como William Thomson, John Tyndall [1820-1893], William Crookes [1832-1919], John William Strutt (Barão de Rayleigh) [1842-1919], o superintendente do *General Post Office* William Preece [1834-1913], Cromwell Varley, Charles Williams Siemens, Fleeming Jenkin e Latimer Clark. Representando a Alemanha estavam nomes como Werner Siemens, Gustav Kirchoff, Hermann von Helmholtz, Ernst March [1838-1916] e Rudolf Clausius [1822-1888]. Representando a França, sobressaem o inspetor de linhas telegráficas E. E. Blavier, Louis Breguet, Gaston Planté [1834-1889], Hippolyte Fizeau [1819-1896] e Henri Becquerel. Thomson e Helmholtz foram escolhidos vice-presidentes.

Conforme o relatório desse Congresso, o Brasil foi representado, não por um enviado brasileiro, mas, por Jamin, membro do Instituto, de Paris, agindo como ministro

plenipotenciário (MINISTÈRE, 1882, p. 19). Entre os representantes dos Estados Unidos estava o físico Henry Augustus Rowland [1848-1901].

No congresso, era clara a oposição entre o sistema absoluto de medidas adotado pela *British Association* e os alemães, que adotaram o padrão de resistência de Siemens e propugnavam por um sistema prático de medidas (SIEMENS, 2008). Na ocasião, Thomson teve um papel político importante na adoção das unidades elétricas baseadas no sistema de Weber, por dois motivos: tinha o peso da sua autoridade científica e, de certa forma, era o porta-voz da indústria de cabos britânica. Por isso pode-se ver o embate entre os interesses das indústrias elétricas britânica e alemã, através dos seus respectivos representantes. Além disso, enquanto Siemens propôs a adoção de um padrão prático de resistência, a *British Association* oferecia um sistema de unidades. Nesse debate, nota-se a ausência dos Estados Unidos: a adoção de um sistema de unidades elétricas naquela época ainda era um problema primordialmente europeu.

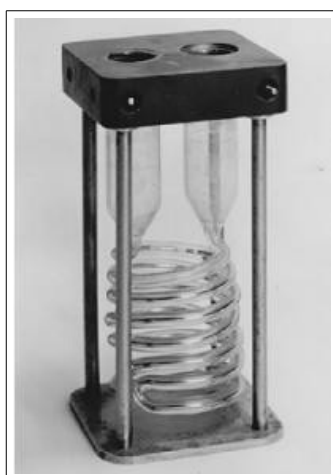


Figura 74 - O Ohm padrão adotado pelo Congresso de Paris (SIEMENS, 2008, p. 215).

O Congresso encomendou a Rayleigh um dispositivo que fosse capaz de apresentar as características da unidade de resistência adotada. Rayleigh, em 1884, apresentou um dispositivo padrão baseado na coluna de mercúrio usada por Siemens. Era formado por um tubo de vidro de 106,3 cm, com 1 mm² de seção, enrolado de forma helicoidal, a uma temperatura de 0 °C. Esse dispositivo apresentava um padrão de resistência denominado "Ohm legal", com uma concepção de construção e um resultado muito próximos daqueles do usado por Siemens, para a satisfação deste (SIEMENS, 2008). Esta parece ter sido uma solução de compromisso entre britânicos e alemães. Vale lembrar que o padrão de resistência de Siemens valia 1,040 do valor do ohmad da *British Association* (JENKIN, 1865).

O congresso, além do padrão de resistência, também estabeleceu os padrões para as unidades de corrente (ampère), de força eletromotriz (volt), de carga (coulomb) e de capacitância (farad) (MINISTÈRE, 1882). Homenageou dessa forma os grandes personagens responsáveis por fundar a ciência da eletricidade e do magnetismo: Alessandro Volta, André Marie Ampère, Michael Faraday e Charles Coulomb. Posteriormente, em 1935, Weber foi homenageado, sendo seu nome dado à unidade de fluxo magnético. Antes do Congresso, curiosamente, *weber* era usado como unidade para expressar a corrente pelo *Committee on electric units*.

A adoção do sistema de medidas elétricas mostrou os elos entre ciência, técnica, economia e política. No caso, pode-se perceber, com mais visibilidade, a força da indústria de cabos submarinos britânica, ratificando, assim, o sistema proposto, e já em uso, das unidades criado pela *British Association*.

4.1.2.2 Profissionalização do conhecimento

No contexto da industrialização do século XIX, a ciência deixou de ser uma atividade de amadores como fora até o século XVIII. Foi dentro desse contexto que começam a ser criadas associações científicas com fins específicos, como por exemplo a já citada *British Association for the Advancement of Science*, em 1831. Devido às necessidades da própria indústria como um todo, começou a haver uma profissionalização cada vez maior dos cientistas, dos engenheiros e dos técnicos, com uma formação universitária cada vez mais específica e exigente: alguns dos que foram trabalhar em telegrafia eram originalmente engenheiros civis. Tal formação foi supervisionada pelo Estado, pelas empresas e pelos próprios pesquisadores.

Antes da década de 1840, existiam na Grã-Bretanha poucos cursos superiores de engenharia e alguns colégios técnicos. Os engenheiros definiam-se como pessoas práticas que agiam mais como aprendizes do que estudantes, e não consideravam a pesquisa como característica da profissão. O advento das ferrovias e da máquina a vapor veio mudar esse quadro (SMITH; WISE, 1989). Percebeu-se que havia necessidade de profissionais com treinamento e habilidades um pouco diferentes do que predominava na época, e que rapidamente seriam absorvidos pelas empresas de telegrafia. Os físicos então seguiram o caminho que já havia sido trilhado pelos químicos e começaram a investir em laboratórios caros, porque sabiam que o retorno compensaria.

A partir da década de 1860, a Universidade de Cambridge passou a ser pressionada

para modernizar o seu ensino de ciência, de modo que pudesse atender às necessidades da indústria britânica. Entre 1866 e 1874, dez laboratórios de ensino e pesquisa foram criados, inclusive o laboratório Cavendish. Maxwell, como seu primeiro diretor, levou para lá o espírito científico do comitê de medidas elétricas: queria que, ao invés de centelhas e choques, fossem medidas e calculadas correntes e resistências. A adoção de instrumentos modernos nos laboratórios proporcionou uma base mais precisa para a medição das variáveis elétricas: a concepção era de que assim poderia haver uma formação com bases científicas, o que aconteceu na Inglaterra e no resto do mundo (HUNT, 1994, 2010).

Foi dentro também desse contexto que começaram a surgir publicações dedicadas aos avanços da engenharia na Inglaterra: *The Engineer*, que abordava assuntos da engenharia civil, mecânica, etc., foi fundado em 1856. Em suas páginas, ao longo do tempo, foram abordados assuntos específicos da telegrafia elétrica submarina. Uma outra publicação mais específica foi o *Electrician*, que apareceu em 1861, abordando especificamente assuntos relativos a todo tipo de telegrafia e vários tópicos da eletricidade, e sendo descontinuada após três anos e meio. Em 1878, a *Electrician* reapareceu, cujos proprietários então passaram a ser James Anderson, capitão do navio *Great Eastern* por ocasião da segunda missão do assentamento do cabo Atlântico, e John Pender, o poderoso empresário de cabos, já comentado. Outra publicação de destaque, na época, foi *The Telegraphic Journal & Monthly Illustrated Review of Electrical Science*, tornando-se uma publicação mensal e que passou a se denominar *Telegraphic Journal and Electrical Review* em 1872 e somente *Electrical Review* em 1891 (STRANGE, 2013).

4.1.2.3 Aceitação da ideia de campos eletromagnéticos

No capítulo 2 foi visto que a ideia de campo proposta por Faraday, a princípio, foi mal recebida pelos engenheiros, que concebiam a eletricidade como um fluido, e pelos físicos, que esperavam uma explicação em termos matemáticos da mesma. O desenvolvimento teórico feito por Maxwell das ideias de Faraday, em que o meio tinha um papel importante na propagação dos campos eletromagnéticos, competia com a eletrodinâmica da ação à distância de Weber, que era plenamente aceita na Alemanha por nomes como Bernhard Riemann [1826-1866], Gauss e outros (MAXWELL, 1954). Do que pode ser depreendido dos seus escritos, Siemens, que procurou abordar cientificamente o problema da eletrização das linhas telegráficas subterrâneas antes mesmo de Faraday, não levou em consideração o campo como entidade que influenciava a propagação da corrente nos condutores (SIEMENS, 1892).

A ideia de campo só recebeu uma importante confirmação com o desenvolvimento da tecnologia dos cabos submarinos na Grã-Bretanha. Foi através dessa tecnologia, ou melhor, dos problemas que ela começou a apresentar nos primeiros cabos, que a ideia de campo não só teve aceitação, como também pôde se desenvolver teoricamente.

A simplificação do sistema de equações originais de Maxwell por Heaviside e a confirmação da geração, da propagação e da recepção das ondas eletromagnéticas, através do experimento de Heinrich Hertz entre 1887 e 1888, na Alemanha, fizeram com que o eletromagnetismo enveredasse, nessa época, por uma reformulação. Hertz não só confirmou o comportamento das ondas eletromagnéticas como também mediu a sua velocidade de propagação. A confirmação da existência de campos e a sua reformulação teórica foram possíveis graças à influência da tecnologia dos cabos submarinos, sendo que os que propunham a ação à distância não tiveram uma área de experimentação similar para testar suas teorias (HUNT, 1991a). Esses avanços teóricos facilitaram o desenvolvimento das indústrias de energia elétrica, telecomunicações, telefonia e rádio, que começaram a despontar na última década do século XIX, sendo que a última surgiu com o desenvolvimento da telegrafia sem fio.

4.1.2.4 Maxwell, o Comitê de medidas elétricas e o Treatise

Um efeito colateral dos trabalhos do Comitê de medidas elétricas foi a contribuição para o desenvolvimento conceitual do eletromagnetismo enquanto saber teórico amadurecido. O período 1863-1864 foi de intensa atividade para Maxwell, que, juntamente com Jenkin, devotou grande atenção às medições que levaram ao estabelecimento da unidade absoluta de resistência. Como já foi dito, Jenkin era um destacado engenheiro telegráfico, com larga experiência nos trabalhos de medição elétrica em cabos submarinos, tendo inclusive trabalhado com Werner Siemens nos testes elétricos do cabo Malta-Corfu e no cabo do Mar Vermelho, e contribuindo para o *Committee on Enquiry* de 1861 com um trabalho sobre o isolamento elétrico pela guta-percha (COMITEE, 1861).

Nessa época, Maxwell estava elaborando suas ideias sobre a propagação dos campos eletromagnéticos, que em 1873 iria publicar no seu *Treatise*. Por isso, ficou muito interessado nos trabalhos que envolviam as relações das unidades absolutas. Como foi visto acima, no subcomitê em que trabalhou com Thomson, Maxwell mediu a relação entre as unidades eletromagnéticas e eletrostáticas. Esse fato teve especial importância na história da teoria eletromagnética, desenvolvida por Maxwell a partir de Faraday, pois essa relação era a única

prova experimental das suas ideias quanto à velocidade de propagação da luz.²¹

Usando o método de medidas utilizado por Jenkin, Balfour Stewart e pelo próprio Maxwell para medir a resistência, o valor encontrado para a relação entre as unidades magnéticas e elétricas foi de 288.000 km/s, o que era aproximadamente 3% abaixo do valor das medições encontradas para a velocidade da luz na época. Apesar dessa imprecisão, que pode-se atribuir à técnica de medida então usada, o fato levou à confirmação da teoria eletromagnética da luz. Posteriormente, métodos de medida mais precisos apontaram para o valor de 299.800 km/s (HUNT, 2010).

Com o trabalho no comitê de medidas elétricas, Maxwell reformulou a sua teoria de modo a não depender de mecanismos como o éter, assumindo que os campos eletromagnéticos formassem um sistema mecânico sujeito às leis gerais da dinâmica (HUNT, 2010). Quanto à interação entre a telegrafia e o eletromagnetismo, Maxwell reconheceu claramente esse vínculo quando na introdução do *Treatise* diz que

As importantes aplicações do eletromagnetismo para a telegrafia também reagiram sobre a ciência pura proporcionando um valor comercial às medidas elétricas acuradas, e oferecendo aos *electricians* o uso de aparatos em uma escala que transcende em muito aquela de um laboratório comum. As consequências dessa demanda para o conhecimento elétrico, e das oportunidades experimentais para adquiri-lo, têm sido muito grandes, tanto estimulando as energias dos *electricians* avançados quanto difundindo, entre os homens práticos, um conhecimento acurado que é provável que conduza ao progresso científico de toda a profissão da engenharia (MAXWELL, 1954, p. vii-viii, tradução nossa).

4.1.2.5 Incorporação e apropriação dos conhecimentos

Já foi visto que a compreensão dos fenômenos elétricos desafiou vários eminentes pesquisadores ao longo dos séculos XVIII e XIX. A tecnologia da telegrafia elétrica só conseguiu se desenvolver com o casamento da ciência com a técnica, pois, afinal, foi a primeira indústria de larga escala, no campo elétrico, que precisou de uma abordagem científica. A necessidade desses conhecimentos científicos fizeram com que Cooke e Morse, com o perfil de empreendedores e visando, antes de qualquer coisa, oportunidades de negócios, procurassem essa ajuda.

4.1.2.5.1 INCORPORAÇÃO DOS CONHECIMENTOS E EXPERIÊNCIAS

Já no meio do século XIX, era claro, para alguns, que a telegrafia era um

²¹ A velocidade da luz é expressa por $c = \sqrt{1/\mu_0 \epsilon_0}$, onde μ_0 é permeabilidade magnética do espaço livre e ϵ_0 é a constante dielétrica do espaço livre (SERWAY; JEWETT, 2010).

empreendimento científico e técnico que tinha um longa história de contribuições feitas por vários pesquisadores e inventores. Não havia, a rigor, invenções, mas aplicações de princípios e adaptações feitas por experimentadores dos fenômenos elétricos (HIGHTON, 1852; FAHIE, 1884). O histórico dos primeiros telégrafos comerciais mostrou como os conceitos, componentes e materiais foram aproveitados dos que desenvolveram os primeiros telégrafos eletromagnéticos experimentais, que por sua vez aproveitaram a experiência dos que desenvolveram ou conceberam os primeiros telégrafos eletrostáticos, e assim por diante. Foi visto também que a gênese da tecnologia dos telégrafos elétricos não se deu apenas pelo conhecimento herdado ao longo do tempo, mas que esse desenvolvimento se deu aproveitando a ciência da própria época em que se dava o avanço da tecnologia dos respectivos telégrafos. A simultaneidade das descobertas e dos desenvolvimentos foi acontecimento frequente, em função de determinadas necessidades políticas, econômicas ou até mesmo pessoais.

Como exemplo de incorporação de ideias e desenvolvimentos, podemos citar o primeiro sistema de cinco agulhas de Cooke e Wheatstone, no qual podem-se ver claramente as contribuições de Weber, Gauss e Schilling; no sistema de Morse podem-se ver claramente as contribuições de Steinheil; nos dois sistemas, as contribuições de Henry, e assim por diante. O mesmo pode ser dito para a telegrafia submarina: o galvanômetro óptico de Thomson, fundamental para a implementação dos primeiros cabos atlânticos, foi um desenvolvimento do galvanômetro de Gauss e Weber; o capacitor em série com o cabo e a reversão da polaridade do sinal aplicado ao cabo, já tinham sido empregados por Siemens.

4.1.2.5.2 APROPRIAÇÃO DE CONHECIMENTOS

Na época em que Cooke e Wheatstone patentaram seu primeiro telégrafo, havia na Europa diversas outras patentes que tinham relação com a telegrafia elétrica. Nos Estados Unidos, também havia várias tecnologias de telégrafos disputando espaço com o sistema de Morse. Um estudo das patentes dos primeiros telégrafos mostrava, de uma maneira geral, que a maioria delas tratava de melhoramentos de dispositivos e sistemas anteriormente inventados (HIGHTON, 1852; PRESCOTT, 1860).

A questão da prioridade da descoberta é a pedra de toque do sistema de patentes. Já era suposto naquela época, e a ideia é partilhada ainda hoje, que uma patente assegurava ao proponente a propriedade intelectual sobre o que foi inventado, seja algum componente, maquinismo, sistema ou processo. Havia uma crença de que, assim, se faria justiça ao

inventor e se estimularia o avanço científico e tecnológico. Porém, na história das invenções da tecnologia dos telégrafos, foi visto que aquele que primeiro patenteou, geralmente especificava os componentes e a utilização de seu sistema de forma tão abrangente, que acabou criando a condição de virtual monopólio no mercado do país em que foi feito o registro. Foi o caso dos sistemas telegráficos de Wheatstone e Cooke na Grã-Bretanha e do sistema de Morse nos Estados Unidos.

As patentes tinham validade nacional, sendo que, por exemplo, as patentes do telégrafo de Morse não foram reconhecidas na França; e na Alemanha, mesmo sendo reconhecidas, não foram implementadas (HUUDERMAN, 2003). Essa era uma maneira de os governos defenderem as suas indústrias nacionais.

4.1.2.5.3 PRIORIDADE DA INVENÇÃO: WHEATSTONE X COOKE E MORSE X HENRY

Uma questão interessante, que ilustra o que aqui está sendo discutido, ocorreu nos Estados Unidos, sobre a disputa da prioridade em torno do sistema telegráfico de Morse, envolvendo Morse e, de maneira relutante, Joseph Henry, que adotava a crença, partilhada pelos cientistas da época, de que o conhecimento devia ser compartilhado, sendo patrimônio de toda a humanidade.

Já foi visto que Henry teve um papel muito importante, ainda que nem sempre lembrado, na história da telegrafia, tendo dado uma contribuição significativa para o desenvolvimento dos dois primeiros sistemas telegráficos comerciais. Pode-se talvez considerar que Henry não desenvolveu um sistema telegráfico porque, como cientista, estava mais preocupado com os princípios gerais de funcionamento dos fenômenos eletromagnéticos do que com as suas aplicações comerciais. Entretanto, os dispositivos que Morse usou extensivamente em seu sistema basearam-se nos fundamentos assentados por Henry. Além disso, em 1837, numa viagem à Inglaterra, Henry explicou a Wheatstone como, através de uma bateria, um eletromagneto e um dispositivo inversor de polaridade, conseguia soar um badalo, o que veio a ser um dos componentes do telégrafo de agulhas de Cooke e Wheatstone.

As partes constituintes do sistema de Morse (e em boa proporção do de Cooke e Wheatstone) eram a bateria, os condutores, o eletromagneto (relé), o galvanômetro e o modo de interligá-los. Como vimos no capítulo 3, essas partes já tinham sido todas desenvolvidas por outros. Até mesmo o código que leva o seu nome, foi um desenvolvimento dos códigos usados em telégrafos anteriores. Entre 1849 e 1852, houve um litígio judicial promovido por Morse que, em três processos, acusava outros inventores de telégrafos por violação de

patentes. Henry foi intimado a depor como testemunha pelos réus com a intenção de que, com as suas colocações, enfraquecesse ou invalidasse a abrangência das patentes de Morse. Henry fez questão de não tomar partido, procurando fazer um relato científico, e enfatizou que Morse usara dispositivos baseados nos fenômenos eletromagnéticos que ele e outros cientistas haviam pesquisado. Entretanto, seu depoimento foi considerado de importância tal que, em 1854, a Suprema Corte daquele país decidiu derrubar os argumentos de Morse quanto à abrangência de sua invenção, embora preservando suas patentes (HOCHFELDER, 2013).

Posteriormente, Morse atacou Henry, afirmando ser sua a prioridade da invenção do telégrafo. Henry então se defendeu, explicando seu trabalho científico e revelando que, já em 1831, tinha publicado o resumo de suas pesquisas e, em 1832, tinha demonstrado a transmissão de força à distância usando eletromagnetos e seu possível uso na telegrafia, e que isso fora comunicado a Morse através do seu conselheiro científico, o doutor Gale, quando Morse divulgou a ideia de um telégrafo. Em 1837, Henry pessoalmente forneceu, de forma generosa, informações sobre os princípios de funcionamento do seus dispositivos, e continuou a se comunicar com Morse até 1845. Todos esses fatos foram omitidos quando Vail escreveu uma história sobre a telegrafia (FAHIE, 1884, p. 495-515).

Por essa mesma época, na Grã-Bretanha, surgiu uma disputa similar entre Cooke e Wheatstone, sobre qual dos dois inventou o telégrafo. Já foi visto no capítulo 3 que Cooke montou uma cópia do telégrafo de Schilling. Depois, diante das dificuldades que encontrou na implementação do projeto, procurou a ajuda de Wheatstone, um pesquisador de renome. Anos mais tarde, em um panfleto, Cooke contestou a prioridade da descoberta do telégrafo de Wheatstone (COOKE, 1854). Wheatstone, em outro panfleto (WHEATSTONE, 1855), deu a sua versão do que tinha ocorrido. Esse fato consolidou o rompimento comercial entre os dois.

Pode-se considerar, assim, que Morse e Cooke foram na verdade os empreendedores que tiveram a visão sistêmica e o tino comercial para usar as invenções de modo a implementar o que se tornou os primeiros sistemas telegráficos elétricos comerciais.

As disputas sobre a prioridade de quem inventou a telegrafia estavam muito marcadas pelo orgulho nacional, mas essa era a face aparente. A outra face desse processo envolve a disputa de poder entre as nações: como serão utilizadas comercialmente essas invenções, e como elas concorrem para o reforço político dos seus respectivos Estados. Isso é o que marcou o processo de disseminação dessas tecnologias nos próprios países de origem e proporeceu a sua entrada em outros países. Esse processo não pode ser destacado das disputas econômicas dessas nações.

Como características da técnica, pode-se constatar, através dos exemplos da telegrafia,

que ela apresenta as etapas de gênese, de simultaneidade da descoberta, de evolução e de difusão. No caso da gênese, deve ser observado um trabalho social, cultural, de caráter universal. A gênese e a simultaneidade de uma descoberta, seja científica ou tecnológica, podem ser uma resposta a uma demanda social. No caso da telegrafia terrestre e submarina, se estabeleceu a tecnologia que melhor atendeu às necessidades de comunicação do comércio e da valorização do capital, sendo um dos motores de sua evolução.

Todo esse trabalho coletivo, que foi usado para a construção teórica e prática da telegrafia, ficou oculto com esse tipo de sistema de patentes, em que a prioridade da descoberta é o principal. Nenhum centavo foi pago a nenhum dos que contribuíram para a formação desse corpo de conhecimentos, sejam eles teóricos ou práticos. O que houve foi uma apropriação desses conhecimentos, incorporados às suas respectivas invenções, para uma posterior cobrança de direitos autorais.

4.2 INTERRELAÇÕES POLÍTICAS, ECONÔMICAS E SOCIAIS

Para os europeus do século XIX, navios a vapor, ferrovias, e telégrafos, eram temas de grande admiração e autocongratulação. De todas essas inovações nada contribuiu para encolher o mundo de maneira mais óbvia que o cabo submarino telegráfico. Como outras invenções, ele também foi um instrumento de poder, portanto não é surpresa encontrá-lo interligado com as lutas de poder da época: empresa privada e governos; o domínio das nações não ocidentais pelo mundo ocidental [...]. (HEADRICK, 1988, p. 98, tradução nossa)

A indústria de cabos submarinos progrediu da sua infância à maturidade em apenas 15 anos: de 1851, quando foi lançado o primeiro cabo submarino entre a Inglaterra e a França, a 1866, quando foi lançado com sucesso o primeiro cabo transatlântico. Com isso foi possível interligar as redes terrestres regionais à rede de cabos em nível mundial (BURNS, 2013).

Após o lançamento de cabos para a América do Norte, uma intensa atividade de lançamento de cabos ocorreu na década de 1870. Cabos submarinos começaram a ser estendidos a partir da Europa para a interligação com a Ásia, a África, a Austrália e a América do Sul. A lógica dessa difusão seguiu a lógica dos interesses comerciais e geopolíticos da Grã-Bretanha, sendo que continuou sustentando a sua hegemonia no plano internacional até o começo da Primeira Guerra Mundial e também teve um papel de maior integração das relações do capitalismo em nível mundial.

A Inglaterra, além de pioneira e detentora dessa tecnologia, monopolizou a produção, o assentamento e, em muitos casos, a operação de cabos submarinos. Em termos geopolíticos,

houve uma consolidação do poder da Inglaterra graças ao fato de que a grande maioria dos cabos mundiais eram lançados e mantidos por firmas inglesas, cuja tecnologia de fabricação e as fontes de guta-percha para o revestimento eram também de dominação inglesa.

A rede de cabos submarinos cresceu de 5.000 milhas náuticas (9.260 km), na década de 1850, para mais de 200.000 milhas náuticas (370.040 km) em 1900 (HUNT, 1998). Grande parte dessa rede era britânica e controlada por poucas empresas, nas quais, como veremos adiante, a figura de John Pender sempre aparece. Isso significou poder econômico e político em nível internacional. Veremos a seguir algumas causas e consequências dessa supremacia britânica no cenário internacional e como alguns países reagiram a isso.

4.2.1 Aspectos econômicos

No final da década de 1890, haviam sido lançados 300.000 km de cabos submarinos, representando um investimento de £50.000.000, sendo que 90% do total pertenciam a particulares e os 10% restantes, aos governos. Desses 300.000 km de cabos submarinos produzidos até o final da década de 1890, cerca de 220.000 km foram manufacturados pela *Telegraph Construction and Maintenance* (Telcon), incluindo nove cabos atlânticos, redes do Oriente Médio, do Extremo Oriente e da África (BRIGHT, 1898, p. 154). Na década de 1880, havia uma frota de 42 *cable ships*: sete deles pertenciam a governos e o resto, a companhias particulares, sendo que a maioria pertencia à *Eastern* e sua companhias coligadas, de John Pender. (BRIGHT, 1898).

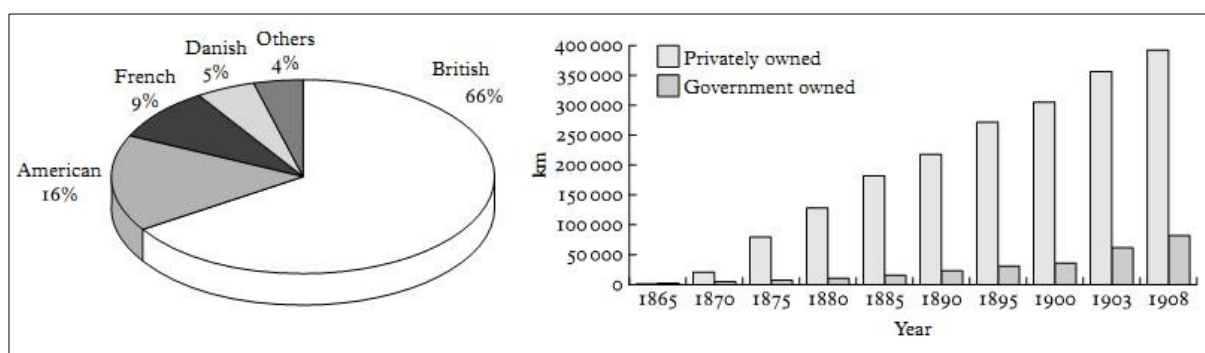


Figura 75 - Evolução da extensão dos cabos entre 1865 e 1908 (SOLYMAR, 1999, p.82).

4.2.1.1 John Pender

Em 1847, o *Manchester Exchange Directory* considerava John Pender, que fazia a

conexão de empreendedores locais com o mercado internacional, um dos mais importantes mercados de algodão daquela cidade. No meio do século XIX, o algodão era uma das mercadorias mais importantes, num negócio dominado pelo grande capital: grandes plantadores, representantes comerciais americanos, corretores e grandes banqueiros europeus, cujas transações eram feitas entre Liverpool e Nova Iorque.

Começava a se configurar um quadro em que esse negócio, baseado no sistema de *plantations*, estava com os dias contados, o que ocorreu com a Guerra Civil Americana. Houve então um deslocamento das fontes de algodão, dos Estados Unidos para a Índia e o Egito (COGAN; BALDWIN, 2013). Portanto, outras rotas teriam que ser lançadas.

Pender começou no negócio de telegrafia quando a empresa *English and Irish Magnetic Telegraph Company* estava procurando investidores para o assentamento do cabo submarino entre a Inglaterra e a Irlanda. Essa aproximação fez com que ele se tornasse diretor da empresa, além de investidor. Sua experiência no negócio de algodão, que era uma das principais atividades da Inglaterra, o fez ver as oportunidades que as comunicações rápidas com os Estados Unidos proporcionariam, já que, na época, as viagens por navio entre Nova Iorque e Liverpool duravam 14 dias.

Foi nas dependências da *Magnetic* que ocorreram as reuniões em que o mercador americano Cyrus Field lançou as ações do empreendimento do primeiro cabo Atlântico. Pender foi um dos 345 investidores britânicos a investir £1000 no negócio. Em 1856, tornou-se diretor da *Atlantic Telegraph Company* e fundiu empresas produtoras de cabos para formar a empresa que teria um papel importante na produção de cabos: a Telcon.

Daí por diante, Pender teve a habilidade de criar outras empresas de assentamento e de operação de cabos, depois fundi-las e, quando necessário, criar empresas de linhas terrestres. Estabelecida a rota para a América do Norte, Pender começou a se interessar pela disseminação dos cabos para outras regiões, sempre de acordo com os interesses globais do Império Britânico. Em 1869, estendeu cabos para a Índia, visando o comércio de algodão; para a China, de acordo com os interesses britânicos lá estabelecidos; para a Austrália, visando o comércio da lã; para a América do Sul, onde a Grã Bretanha tinha interesses econômicos, especialmente no Brasil e na Argentina; e para a África, onde o seu interesse especial era a África do Sul.

Em 1872, foi formada a *Eastern Telegraph Company*, através da fusão da *British-Indian Submarine Telegraph Company*, a *Anglo-Mediterranean Telegraph Company*, a *Falmouth, Gibraltar and Malta Telegraph Company* e a *Marseilles, Algiers and Malta Telegraph Company*. A *Eastern* fez aumentar a extensão total de cabos de 8.860 para 22.400

milhas (16.409 para 48.485 km) de cabos até os primeiros anos do século XX.

De 1870 a 1896, ano de sua morte, Pender efetivamente controlava tanto a manufatura quanto a operação da maioria dos cabos submarinos de longa distância do mundo, sendo que o capital de suas empresas representava algo em torno de £30.000.000 (BRIGHT, 1903, p. 42) Ele foi membro do parlamento inglês e manteve uma relação simbiótica com os vários governos britânicos na promoção dos interesses da indústria de cabos, que proporcionava um sistema de comunicações internacional para o Império (HUNT, 1998). Tamanha concentração de poder levou Pender a ser apelidado de *cable king*.

4.2.1.2 Werner Siemens

Outra personalidade que se destacou na indústria telegráfica terrestre e submarina foi Werner Siemens, que começou a se voltar para aplicações industriais da eletricidade ainda quando era oficial do exército prussiano. De certa maneira, Werner Siemens (von Siemens, após 1888), foi a contraparte alemã de Thomson na Inglaterra. Diferentemente de Morse e de Cooke, Werner tinha uma sólida formação científica. Frequentou a escola de artilharia de Berlim, de 1835 a 1838, estudando matemática com Martin Ohm [1792-1872], irmão de Georg Simon Ohm, e física com Heinrich Gustav Magnus [1802-1870]. Werner tinha pronunciada habilidade comercial, sendo a liderança por trás tanto da *Siemens & Halske*, na Alemanha, como da *Siemens Brothers*, que se tornou um negócio independente em 1858, na Inglaterra. Nesta última, Werner trabalhou em parceria com o irmão Charles Williams, que emigrou para a Inglaterra e lá se tornou um respeitado engenheiro telegráfico.

A *Siemens & Halske*, que começou a fabricar sistemas de sinalização sonora (badalos) para ferrovias, isolamento de guta-percha para fios e especialmente telégrafos, atuava internacionalmente e não produzia diretamente para o mercado, evitando assim as flutuações econômicas. Até a década de 1880, era líder no segmento elétrico na Alemanha, pois não havia quem competisse com ela em tamanho, capitais, variedade de produtos e conhecimento técnico (SIEMENS, 2008).

A atuação das empresas de Siemens, no caso da construção da rota indoeuropeia para a Índia e principalmente da construção de linhas aéreas e subterrâneas na Rússia, demonstra a atuação dos interesses do capitalismo alemão em direção ao Leste europeu e ao Oriente Médio. A construção de uma fábrica de equipamentos telegráficos e cabos submarinos em Woolwich, na Inglaterra, demonstra a possibilidade da abertura do mercado britânico aos interesses alemães. Porém, diante do domínio das empresas de Pender e de outros, Siemens

teve dificuldades de participar nesse mercado, atuando em escala menor, embora não desprezível (SIEMENS, 2008).

4.2.1.3 Retorno financeiro

Chama a atenção o fato de que enormes capitais fossem sempre mobilizados, diante das repetidas falhas que acometeram os cabos. Já foi visto que as necessidades de comunicações, a princípio, entre a Grã-Bretanha e suas colônias, e também de seu comércio com o resto do mundo, eram poderosas o bastante para incentivar o desenvolvimento dessa tecnologia. Porém, deve ser levada em conta uma outra variável: o retorno monetário desse empreendimento. William Thomson, citado várias vezes por sua participação científica no projeto, em uma comunicação à *Royal Society* de Edimburgo, em 1865, fornece informações muito interessantes sobre o retorno financeiro estimado do assentamento de cabos.

Explicava ele que, se um cabo fosse usado 300 dias por ano, trabalhando 24 horas por dia à velocidade de cinco palavras por minuto, a cinco shillings por palavra, proporcionava um retorno de £540.000. Prevendo o sucesso do segundo cabo atlântico, que ocorreu um ano depois, esse valor dobrava para £1.080.000, a ser distribuído principalmente entre a *Atlantic Telegraph Company* e a *Anglo-American Telegraph Company* (THOMSON, 1866).

4.2.1.3.1 TARIFAÇÃO E TRÁFEGO

Uma verificação das tarifas e dos principais usuários da telegrafia é capaz também de identificar as motivações do desenvolvimento da tecnologia da telegrafia e da forma como ela se deu. Para a tarifação do cabo, foi adotada a mesma prática da telegrafia terrestre, que cobrava por número de palavras. Começou com £20 para mensagens de 20 palavras com 5 letras, sendo que a primeira mensagem comercial foi trocada entre Londres e Nova Iorque, pelo banco Speyer. Logo os promotores do cabo Atlântico perceberam o potencial do seu uso pela imprensa, e por isso houve uma diminuição da tarifa para £10 com uma mensagem de 10 palavras. A partir de então, houve uma progressiva redução de tarifas: £10 em 1866, £5.25 em 1867, £3.37 em 1868.

O avanço da tecnologia, com as máquinas de transmissão automática e a telegrafia duplex, permitiu uma diminuição da tarifa e o conseqüente aumento do tráfego. O importante era a massificação do serviço, de modo a aumentar o lucro. A diminuição da tarifa não significou uma diminuição no lucro porque, com o avanço da tecnologia, foi possível

transportar um tráfego maior a um custo menor.

Anderson (1872), ao fazer uma análise das estatísticas da indústria telegráfica como um todo após a nacionalização das empresas de telegrafia terrestre na Grã-Bretanha, fornece dados interessantes sobre a utilização dos serviços telegráficos na Bélgica (estranhamente, não sobre a Inglaterra), de 1861 a 1869, tanto nacionais quanto internacionais. Esses dados permitem ter uma ideia de quais atividades usavam mais os serviços telegráficos: o mercado de ações respondia por 5 % dos telegramas nacionais e 12,5 % dos internacionais, e as transações comerciais respondiam por 34 % dos nacionais e 56 % dos internacionais.

No comércio, os bancos tinham um papel especial pela suas transações de arbitragem, ou seja, um volumoso negócio internacional de compra e venda de moedas e ações com pequenas margens de lucro. Esse negócio foi alavancado com a disponibilidade das linhas telegráficas internacionais, que agora permitiam fazer transações transcontinentais. Ainda quanto ao tráfego internacional, o seu volume era afetado pelo comércio de algodão e também pelas épocas das colheitas de grãos (COGAN; BALDWIN, 2013).

4.2.2 Aspectos políticos

A escolha de rotas e de parceiros comerciais e políticos das empresas que assentavam e operavam os cabos do Atlântico Norte e do Atlântico Sul, denota uma preocupação do comércio entre a Europa e as Américas. Colaboração e desentendimentos entre governos ocorreram por motivos estratégicos de assentamento e operação das rotas dos cabos porque, por conta da supremacia inglesa no negócio de cabos, países como a França e a Alemanha, que usavam os cabos britânicos para se comunicar com os Estados Unidos e com as próprias colônias, tinham suas mensagens comerciais e diplomáticas sob escrutínio do governo inglês, o que causava grande desconforto (SOLYMAR, 1999).

4.2.2.1 Brasil e Portugal

No caso do Brasil, foi visto que Pender formou, em 1873, três empresas: uma para a operação de cabos submarinos, outra para ligação à Europa e outra para operação das linhas terrestres. O objetivo era o domínio britânico do tráfego entre a Europa e a América do Sul. A ligação dos principais portos do Brasil entre si (Santos, Rio de Janeiro, Salvador, Pernambuco, Fortaleza, São Luís e Belém) e daí à Europa, via Fernando de Noronha, mostrava a maneira como o Brasil, exportador de produtos primários e possuidor de uma

economia baseada na escravidão, se inseria no cenário internacional. As tensões entre o governo brasileiro, através da Repartição Geral dos Correios, e as empresas de Pender pelo controle do tráfego telegráfico, ressaltam as características de um país periférico que procura articular um projeto nacional autônomo, no qual a telegrafia teve um papel estratégico para a ocupação do território, o que ocorreria no começo do século XX (SILVA, M., 2008).

A difusão da rede de cabos britânica, desde a década de 1850, fez com que Portugal, um país na periferia de outros industrializados e mais poderosos, adquirisse uma importância política e econômica inesperada devido à posição estratégica, não só de seu território, como também das suas colônias e possessões. Açores, Cabo Verde e Ilha da Madeira formavam o que posteriormente se denominou “Triângulo Estratégico”: cabos que vinham do Mediterrâneo, do Brasil, da África e dos Estados Unidos passavam por territórios portugueses para alcançar Porthcurno, na Grã-Bretanha. Com isso, Portugal passou a exercer a função de concentrador de cabos (*hub*), para seu benefício político e técnico (SILVA, A., 2013).

4.2.2.2 A Grã-Bretanha

Os aspectos principais da supremacia da Grã-Bretanha, obtida com o seu pioneirismo através do processo de industrialização, podem ser creditados à capacidade de reunir capitais, à liderança tecnológica na produção de máquinas e instrumentos, e ao acesso às matérias-primas. Havia a necessidade de grande massa de capitais para investimento e operação das redes telegráficas e, com o tempo, ocorreu um processo de concentração, fazendo diminuir a concorrência. Isso levou à prática de preços monopolistas, em que as empresas jornalísticas e de notícias eram prejudicadas. Portanto, nesse caso, é interessante o fato de cabos lançados da França para os Estados Unidos e dos Estados Unidos para Europa serem patrocinados por essas empresas. É necessário lembrar também que, no século XIX, a Inglaterra, além do domínio das telecomunicações mundiais através das redes de cabos submarinos, tinha o domínio, de maneira quase absoluta, dos serviços de transportes, dos seguros marítimos e da intermediação financeira (SZMRECSÁNYI, 2001).

4.2.2.2.1 A GUTA-PERCHA E A CATÁSTROFE ECOLÓGICA VITORIANA

Além de dominar todos os aspectos das técnicas de fabricação, lançamento e operação, e de possuir a organização necessária para manter a vasta rede telegráfica funcionando para o seu império, a Grã-Bretanha tinha o controle das áreas de extração do produto essencial para

uso nos revestimentos de cabos: a guta-percha, cuja produção era completamente controlada por firmas britânicas. Isso ajudou a manter a sua primazia da construção de cabos e fez com que um produto primário servisse a uma indústria de alta tecnologia, que por sua vez proporcionaria um maior controle do seu império colonial. A importação de guta-percha cresceu de maneira acentuada ao longo dos anos devido principalmente ao seu uso nos cabos submarinos: 200 libras (90 kg) em 1844, 700 toneladas em 1848, 1.500 toneladas em 1865, mais de 2.700 toneladas em 1873, e alcançou o pico em 1882 com 3.600 toneladas, o que dava uma média de 1.800 toneladas por ano entre 1850 e 1900 (HUNT, 1998).

A exploração colonial da guta-percha também foi responsável por um desastre ecológico nas áreas de plantação. A extração da guta-percha é feita como a da borracha, por meio de incisões diagonais na casca da árvore e posterior coleta do látex. Porém, o método mais comum, para aumentar a produtividade de extração da seiva, era a derrubada da árvore, método esse que não era desencorajado pelos comerciantes. Através da incisão podia-se obter 1 kg de látex, porém, se a árvore fosse derrubada, poderiam ser obtidos 5 kg de látex. Os mercadores ingleses então incentivavam a derrubada das árvores, processo que começou a ocorrer na Malásia em meados da década de 1840.

O aumento da demanda, nas últimas décadas do século XIX, causou preocupação entre os envolvidos na fabricação de cabos, pois a confecção de um único cabo, com as camadas necessárias, poderia consumir toneladas de guta-percha. Com uma possível escassez do produto, trabalhou-se no desenvolvimento de métodos mais racionais de exploração, como, por exemplo, tentar extrair o látex através das folhas (TULLY, 2013). Também houve tentativas de mudar o modo de extração, mas com poucos resultados. O resultado foi um desmatamento de grandes proporções nas áreas de plantação, chegando ao ponto de que, em Singapura, por volta de 1857, já não havia mais árvores de guta-percha.

4.2.2.2.2 A CATÁSTROFE MOTIVANDO NOVOS AVANÇOS

Em 1887, a atenção voltou-se para uma variedade de látex denominada *balata*, proveniente da região da Guiana Inglesa (BRIGHT, 1898). Suas propriedades mostraram-se equivalentes àquelas encontradas na resina da Ásia, de modo que ela foi empregada para substituir a guta-percha. A balata foi extensivamente utilizada até a Segunda Guerra, quando foi substituída por material dielétrico artificial, o polietileno, criado também na Inglaterra, pela *Imperial Chemicals* da Grã Bretanha.

A borracha, também usada no isolamento de cabos, não causou catástrofe semelhante à

da guta-percha, mas afetou a economia brasileira. Inicialmente responsável por um período de grande prosperidade, enquanto o país deteve o monopólio da sua exportação, depois decaiu quando, após 1910, a Grã-Bretanha começou a importar borracha de suas colônias.

Duas características ocorreram em relação à guta-percha e à borracha em termos de pilhagem das áreas coloniais. A primeira é que se assistiu, nesses casos, a aplicação da ciência à exploração de um recurso natural. A segunda é que um produto primário foi usado numa indústria de alta tecnologia cujo resultado, a troca de informações, fez aumentar o controle da metrópole sobre a colônia (HEADRICK, 1987).

4.2.2.3 Motivações militares

O desenvolvimento da tecnologia dos telégrafos visuais teve um incentivo acentuado devido às guerras. Já foi visto que a Revolução Francesa e as Guerras Napoleônicas foram motivações suficientes para criar mais de um tipo de telégrafo, como o de Chappe, o de Depillon e os modelos ingleses e portugueses. Vimos também que telégrafos foram usados no campo de batalha naquela época, mesmo porque esses telégrafos foram uma evolução dos sistemas de comunicação naval. Porém, a criação da telegrafia elétrica não se deveu a motivações militares, mas, prioritariamente, a motivações econômicas, e os militares foram usuários posteriores. Três exemplos podem ilustrar o impacto do uso militar dessa tecnologia.

Por ocasião da Guerra Civil Americana, os telégrafos civis já cobriam todo o país. O presidente Lincoln, que fora operador de telégrafo, defendeu a importância do mesmo para a guerra e, em 1862, o seu governo se apoderou das maioria das linhas para atender às necessidades militares (BEAUCHAMP, 2001, p. 110-111). Note-se ainda que o desenrolar do conflito se deu com o uso intensivo da telegrafia por ambos os lados.

Na guerra da Crimeia (1853-1856), o exército russo, que já usava para se comunicar o telégrafo visual de Chappe, solicitou à *Siemens & Halske*, que já tinha construído várias linhas terrestres, que implantasse, o mais rápido possível, uma linha aérea ligando Varsóvia a São Petersburgo (BEAUCHAMP, 2001, p.103).

No Brasil, o telégrafo elétrico terrestre foi estendido do Rio de Janeiro até o Sul na época da Guerra do Paraguai (1864-1870). O sistema foi implementado por Mauá, a pedido de Luis Alves de Lima e Silva [1803-1880], o duque de Caxias, de modo que o comando do exército pudesse ter um controle efetivo da frente de batalha (CALDEIRA, 1995). Assim, a extensão das linhas brasileiras, que era de apenas 65 km, passou em pouco tempo para 2.000 km (SILVA, M., 2007).

4.2.3 Aspectos sociais

A relação entre a telegrafia e a sociedade é um assunto muito vasto e que pode ser estudado a partir de diferentes pontos de vista. Considerando a abordagem teórica que orienta este trabalho, vamos ver aqui apenas um panorama das condições dos trabalhadores envolvidos na indústria telegráfica, além de alguns detalhes sobre os efeitos da nova tecnologia na vida cotidiana. Assim, completa-se o quadro já esboçado pela discussão dos interesses dos empresários, do setor financeiro e do governo na exploração da telegrafia.

4.2.3.1 *Fabricação dos cabos*

O quadro apresentado a seguir recorre a estudos sobre a situação geral da classe operária inglesa no século XIX, com destaque para as obras clássicas de Marx e Engels. O objetivo dessa abordagem é mostrar algumas relações entre as técnicas específicas da telegrafia e aquelas pessoas que, coletivamente, eram responsáveis pela confecção e operação das partes constituintes do sistema como um todo.

4.2.3.1.1 A POSIÇÃO SOCIAL DOS TRABALHADORES

A formação da classe operária ocorreu como uma consequência direta da industrialização. A transição para uma nova economia fez com que trabalhadores e pequenos empreendedores fossem prejudicados, sendo que os trabalhadores assalariados fabris foram os que mais sofreram. Em termos proporcionais da população economicamente ativa em 1851, os trabalhadores assalariados representavam 87% do total, sendo que patrões representavam 2% do total, a classe média (composta por gerentes e administradores) representava 3,7% e os proprietários rurais, artesãos e pequenos lojistas, juntos, representavam 5,3% (HOBBSAWM, 1975, p. 14).

Como os operários eram desprovidos de ferramentas, de máquinas e de matérias-primas; tinham apenas para oferecer a sua força de trabalho. A miséria rondava essa classe e a insegurança econômica era uma constante. Suas condições de vida eram extremamente precárias em termos de moradia, saúde, educação e lazer. Essa situação era causada pela intensa exploração do trabalho, em que os salários eram mantidos em um nível elementar de subsistência, e se agravava nas crises econômicas, em que a produção era diminuída (ENGELS, 1975).

O avanço tecnológico aplicado ao maquinário mecânico da produção serviu para aumentar a produção, diminuindo ao mesmo tempo o número de pessoas ocupadas, e também foi usado de forma consciente contra as reivindicações operárias. A introdução do maquinário na produção de bens, logo no início da industrialização, fragmentou as operações necessárias para a manufatura. Assim, a produção de uma mercadoria era obtida através da cooperação de vários trabalhadores, em máquinas diferentes, executando operações relativamente simples e repetitivas em longas jornadas de trabalho que duravam 10, 12 horas ou mais. Isso tudo fazia com que a produção aumentasse muito e gerasse um grande lucro para o capitalista, seja através do tempo a mais que era necessário para produzi-las (mais-valia), seja através do preço de venda no mercado. Esses lucros eram reinvestidos na própria produção ou em outro negócio, pouco revertendo para o trabalhador em forma de salário direto ou indireto (MARX, 2013).

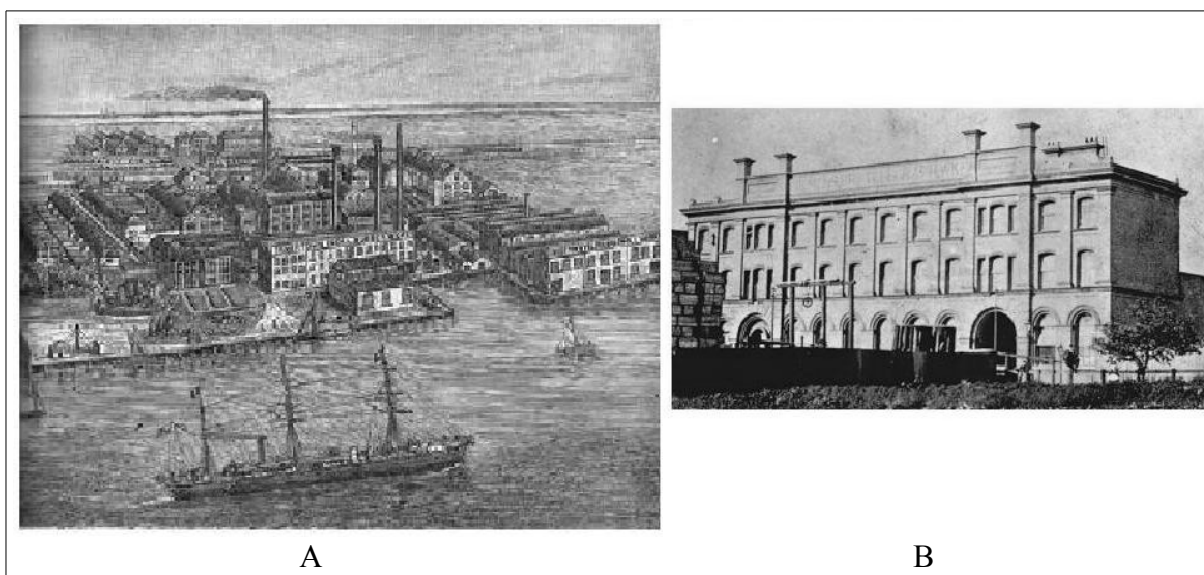
Apesar de não terem sido encontrados dados específicos sobre as condições de trabalho dos operários da indústria de cabos, nem da indústria de componentes para a indústria telegráfica, há indícios interessantes de uma situação precária de trabalho expressa na declaração de Bright quanto à preparação industrial da guta-percha: “Em um dia normal de trabalho (**de quatorze horas**) de 2 a 3 toneladas de guta-percha podem ser passadas por todo o processo acima descrito em uma fábrica média, a quantidade exata dependendo do grau de impureza do material, e além de tudo, claro, do número de máquinas.” (BRIGHT, 1898, p. 295, tradução nossa, grifo nosso).

4.2.3.1.2 CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO DOS CABOS

Já foi visto que, desde o começo das atividades da indústria de cabos, estes eram confeccionados em grandes ambientes fabris com maquinário apropriado, usando a energia gerada pelo vapor. A característica desse setor, como em vários outros, foi a concentração, que diminuía a concorrência. Se, nos primeiros cabos, os processos de revestimento e blindagem eram feitos em firmas separadas, posteriormente todos os processos eram feitos em uma única firma. É o caso da *India-rubber, Gutta-percha, and Telegraph Works Company*, localizada em Silvertown, em Londres.

Tully (2014) faz um relato da greve na *Silvertown Company*, em Londres, em 1889, mostrando como eram duras as condições de trabalho a que eram submetidos os trabalhadores desorganizados e com baixa qualificação. O movimento durou três meses e, devido à sua extensão e gravidade, influenciou o curso posterior do movimento sindical na Inglaterra. No

decorrer da greve, o filósofo e político alemão Friedrich Engels [1820-1895] enviou uma carta ao líder socialista francês Jules Guesdes [1845-1922], avisando que 3.000 dos 3.500 trabalhadores estavam em greve em Silvertown, e que a empresa tinha contratado 70 trabalhadores, homens e mulheres, para furar a greve. Eles tinham sido enviados de uma fábrica francesa similar pertencente a Silver, situada em Persan-Beaumont, perto de Paris. O motivo era que uma grande encomenda de cabos submarinos seria distribuída entre quatro fábricas, uma delas a de Silver, que acabaria perdendo esse pedido com a greve. Por isso, Engels pedia a Guesdes que instasse os demais trabalhadores da fábrica francesa para apoiar a greve (ENGELS, 1889).



*Figura 76 - Fábricas de equipamentos telegráficos.
A - Fábrica da S.W. Silver & Company em Silvertown (TELEGRAPHIST, 2013). B - Fábrica da Siemens Brothers em Woolwich (SIEMENS, 2008, p. 237)*

4.2.3.2 O setor de serviços telegráficos

Com o surgimento da indústria de comunicações telegráficas, criou-se também um setor de serviços no qual o profissional responsável pelo processamento de mensagens, o telegrafista, era o representante mais visível. A exemplo das indústrias que produzem bens, esse setor também empregava mulheres e crianças como aprendizes ou operadores (SOLYMAR, 1999). As jornadas de trabalho também eram longas: Prescott, ao demonstrar que a telegrafia terrestre era um negócio lucrativo (como visto anteriormente), informou que a jornada de trabalho normal do telegrafista nos Estados Unidos era de **dezesseis horas**.

Solymer (1999, p. 66-68) informa que, na Inglaterra, as mulheres começaram a ser empregadas como telegrafistas em 1855 e que, em 1859, as agências centrais das empresas de telegrafia chegavam a empregar 100 mulheres, que cumpriam um expediente que ia das 9 horas da manhã às 9 horas da noite, seis dias por semana. Elas tinham que ser capazes de enviar pelo menos oito palavras por minuto, ganhando a princípio 8 shillings, e valor que podia ser aumentado, dependendo da rapidez de despachos que conseguissem, podendo chegar até 30 shillings. A escolha de mulheres devia-se também ao fato de que elas recebiam menos que os homens para uma mesma atividade.

Na área de serviços devem ser incluídos, também, os trabalhadores que faziam a implantação e manutenção das linhas terrestres e dos cabos (nos *cable ships*) e cuidavam da integridade do sistema. Apesar de não terem sido achados dados quantitativos, fica implícito na literatura, e pela análise das condições de trabalho daquela época, que, de uma forma geral, aconteceu um processo de intensa exploração, tanto na área de produção como na área de serviço (MARX, 2013; MORUS, 2000).

4.2.3.3 O movimento sindical

A industrialização acentuou a miséria das populações concentradas nas cidades. O resultante descontentamento da classe operária, tanto na Grã-Bretanha quanto no continente, levou à formação dos movimentos sindicais (HOBSBAWM, 1978). Mantoux ([1957], parte 3, cap. 3) destaca que rebeliões e greves contra as péssimas condições de trabalho nos vários ambientes fabris eram frequentes na Inglaterra mesmo antes da Revolução Industrial, dando exemplos que datam da década de 1760 e descrevendo as medidas coercitivas adotadas como resposta às reivindicações.

A revolução industrial concentrou os trabalhos em moinhos, fábricas e minas, facilitando a criação dos sindicatos. Na Grã-Bretanha, o *Combination Act* de 1799 proibiu a formação de sindicatos até 1824; mas mesmo após esse ano, eles foram muito restringidos. Um dos primeiros movimentos organizados nesse país foi o dos Cartistas, que começou a aparecer em 1838 e adquiriu força na década de 1840. Os Cartistas reivindicavam sufrágio universal (para os homens), voto secreto usando cédulas, eleição anual para o Parlamento, abolição das qualificações de propriedade para ser membro do Parlamento e pagamento aos membros do Parlamento. Em 1842, uma petição com mais de três milhões de assinaturas, que apresentava uma pauta de reivindicações Cartistas, foi rejeitada pelo parlamento britânico.

Então, em 1842 os Cartistas promoveram uma greve geral que parou a produção na Grã-Bretanha e foi reprimida com grande violência.

Em 1848, na chamada Primavera dos Povos, a revolução social ocorreu na forma de levantes espontâneos de trabalhadores industriais e urbanos, especialmente na França, na Alemanha, e dos Cartistas, na Inglaterra. A repressão ao movimento contou com a ajuda do telégrafo: através do *Electric Telegraph Company Act* de 1846, o governo britânico podia se apossar de todos os dispositivos telegráficos. Foi o que fez em 10 de abril de 1848, com o objetivo de obstaculizar as comunicações dos Cartistas entre Londres e o resto do país, e dotou de aparelhos telegráficos extras certas áreas do governo, o que ajudou a conter a revolta. Assim o telégrafo começou a ser usado como meio de controle social (SOLYMAR, 1999).

Sobre a ideologia dos engenheiros que trabalhavam com telegrafia, até onde foi pesquisado, o único que partilhava as ideias liberais foi Fleeming Jenkin que, em 1848, não só apoiou o movimento como também estava presente nas manifestações de Paris (SMITH; WISE, 1989).

4.2.3.4 Apropriação dos conhecimentos na produção

O domínio da ciência e das técnicas usadas na telegrafia, proporcionou o aumento da produção de todos os componentes e apetrechos específicos dessa indústria e também, a subordinação dos conhecimentos obtidos de forma sistemática pela ciência. Karl Marx [1818-1883], alemão radicado na Inglaterra, estudou a evolução do desenvolvimento científico e tecnológico ocorrido na industrialização, seguindo, em suas pesquisas, os estudos sobre tecnologia do químico e filósofo escocês Andrew Ure [1778-1857] e do matemático e filósofo inglês Charles Babbage [1791-1871]. Porém, diferentemente do enfoque deles, por conta da sua crítica à Economia Política da época, analisou como o trabalho humano e os conhecimentos científicos foram incorporados ao processo de produção no curso da industrialização. Para Marx, não se tratava apenas do aproveitamento de conhecimentos e técnicas, enfim, dos saberes adquiridos para usufruto da humanidade. Ao contrário de outros modos de produção, a ciência e a técnica teriam sido subordinadas,²² isto é, usadas para fins de valorização do capital de maneira sistemática, e sob essas condições contribuíram para o contínuo desenvolvimento da tecnologia e a concomitante desvalorização do trabalho.

²² Marx (1978) denomina esse processo "subsunção", do latim *subsumire*, apropriar. Para fins desta discussão será adotado o termo "subordinação", conforme entendimento de Coutinho (1997).

Nessa dinâmica, a valorização do capital no processo de produção se deu em dois momentos. Num primeiro momento ocorreu a subordinação do trabalho diante do capital: o prolongamento das horas de trabalho sob a forma de mais-valia absoluta (MARX, 1978, p. 53). Nesse caso, o número de horas necessárias para a produção de uma mercadoria é menor do que o número de horas trabalhadas. A subordinação do trabalho foi considerada por Marx como sendo formal, por entender que o número de horas excedentes trabalhadas era o resultado de uma relação social que acontece entre os trabalhadores e os patrões, de uma maneira geral. No caso do presente trabalho, pode-se supor que essa subordinação aconteceu, pelo que se depreende do histórico das condições de trabalho, tanto na confecção de cabos como na área de serviços.

Num segundo momento, após a subordinação do trabalho, segundo Marx, houve a apropriação dos conhecimentos científicos ao processo de produção. O objetivo foi aumentar a produtividade de modo a maximizar a quantidade de produtos com o mínimo de trabalho, de modo a baratear as mercadorias. Isso aumentava a taxa de mais-valia, que Marx denominou então mais-valia relativa. A essa segunda fase, de apropriação na forma técnica, Marx qualificou de subordinação real do trabalho ao capital.

Portanto, se na subordinação formal há uma intervenção na forma econômica, a subordinação real transforma o processo produtivo do ponto de vista tecnológico (uma característica específica do modo de produção capitalista), associando ciência, capital e trabalho, além de proporcionar uma explicação para o estímulo acelerado do desenvolvimento tecnológico e científico a partir da Segunda Revolução Industrial.

Essa segunda fase da subordinação pode ser apontada, no escopo do presente trabalho, no fato de que o estímulo para a invenção de novos dispositivos telegráficos e de aperfeiçoamento dos antigos, como por exemplo a criação do *syphon recorder* de Thomson, dos telégrafos de transmissão automática de Wheatstone, Siemens, House e outros, teve como objetivo aumentar a produtividade, muitas vezes em detrimento do trabalho humano. Portanto, dentro do contexto da industrialização, não se tratou apenas de incorporação ou aproveitamento dos conhecimentos. A organização da ciência e do ensino de engenharia elétrica para a resolução de problemas e criação de novos dispositivos e sistemas telegráficos, parece confirmar a tese da subordinação da ciência ao processo de produção.

A subordinação da ciência fez com que ela fosse direcionada no intuito do aumento da produção e da conseqüente valorização do capital, perdendo assim a sua autonomia quanto aos objetos de estudo, seu caráter de universalidade que a caracterizou ao longo da Revolução Científica. Cabe aqui ressaltar que o que se está procurando entender, de maneira exploratória,

é quais foram as motivações para a criação das técnicas usadas em telegrafia e como elas evoluíram, sem desconsiderar, em nenhum momento, que o ideal de uma ciência pura ainda fosse buscada por alguns cientistas da época.

Se o aproveitamento e a incorporação dos saberes concorreram para a produção de bens ao longo da história, cabe, nesse caso, fazer um levantamento de como, em outras formações sociais e outros modos de produção, os saberes foram incorporados ao processo de fabricação de produtos.

4.2.3.5 A vida cotidiana

Com o domínio da tecnologia, o tempo de propagação das mensagens diminuiu de maneira acentuada. Entre as décadas de 1840 e 1850, quando começou a difusão do telégrafo elétrico, o número médio de horas necessárias para enviar uma mensagem caiu de mil horas para quatro horas. Na década de 1860, quando foram implantados os cabos submarinos, uma mensagem que demorava duas semanas para cruzar os continentes, passou a demorar poucos minutos (SOLYMAR, 1999). Isso mostrava o êxito do projeto que caracterizou uma revolução nas telecomunicações. Além de causar a sensação, para as pessoas da época, de um tempo acelerado, regrado, marcado pela hora emitida por observatórios astronômicos interligados por telégrafos, a novidade causou também uma sensação de que o planeta tinha encolhido. As informações sobre acontecimentos em lugares distantes chegavam rapidamente, enfim, houve uma revolução da percepção de espaço e tempo. No caso do tempo, o ritmo padronizado da vida já tinha sido dado com o relógio mecânico as estradas de ferro, pelo cumprimento dos horários de partidas e chegadas, porém, o telégrafo consolidou essa tendência.

Em termos ideológicos, os engenheiros, financistas e políticos, enfim, a classe dominante da sociedade, tinham a convicção de que a rede internacional de comunicações, implementada e mantida em grande parte pela Grã-Bretanha, era uma revolução de natureza moral e intelectual, capaz de propagar os valores da sociedade inglesa vitoriana. Fazendo uma analogia com o corpo humano, o telégrafo era considerado, por essa classe, como parte de um corpo político. Essa ideia de usar o modelo da mente humana para fins comparativos surgiu na década de 1870, e servia para combater as teorias materialistas que começavam a surgir em biologia. Consequentemente a rede telegráfica internacional era considerada como *The nervous system of Britain*. Além da propagação de valores, o telégrafo era ideal para a disciplina e a vigilância, no próprio país e no mundo (MORUS, 2000). Essas eram as ideias que guiavam a governança e o controle social quando a telegrafia foi difundida.

CONCLUSÕES

Se partirmos do princípio de que a ciência é um diálogo com a natureza, a técnica é a responsável pela intermediação entre a ciência e a sociedade, e trava um diálogo simultâneo com a ciência e com a sociedade. A relação entre ciência e técnica se caracteriza pela unidade da teoria com a prática, e a técnica mostra, antes de tudo, um caráter eminentemente pragmático, sendo ela um campo da materialização das concepções científicas. De acordo com essas ideias, a tecnologia da telegrafia foi a materialização das concepções científicas sobre a natureza da eletricidade. Mas essa materialização não foi única e definitiva, mostrando que era passível de ser implementada de modos diferentes, por pessoas diferentes, e de evoluir de acordo com os interesses de determinados grupos de dada sociedade.

Cabe ressaltar, dentro do escopo do presente estudo, que foi constatado o caráter eminentemente coletivo da construção do conhecimento, fator inegável de desenvolvimento, tanto da ciência quanto da tecnologia do período estudado; e pode-se questionar se hoje essa disseminação do conhecimento não estaria sendo tolhida, única e exclusivamente em função dos interesses econômicos de empresas, nos vários ramos da tecnologia.

A natureza parece se revelar através de relações. O avanço do eletromagnetismo pôde ser medido pelo grau de entendimento das relações entre as quantidades elétricas e magnéticas, expresso, por exemplo, na lei de Ohm, nas leis de Kirchoff e nas equações de Maxwell, bem como pela determinação de relações de causa e efeito que puderam ser constatadas na eficiência dos dispositivos e na aplicação da própria técnica. Outro fato que marcou esse desenvolvimento foi a evolução das técnicas de medida, que permitiram a transição das avaliações dos fenômenos elétricos, de qualitativas para quantitativas.

O estudo realizado permitiu constatar que a relação bidirecional entre a ciência elétrica e a tecnologia dela derivada foi mediada pelo contexto histórico e social do século XIX em que ambas se desenvolveram. Isso incluiu as relações de poder no âmbito da própria sociedade de classes e a interligação de mercados, em que o papel do Estado esteve sempre presente, de forma implícita ou explícita. Para apreender as relações entre elas, foi necessário atentar para as condições históricas das respectivas sociedades em que estavam sendo elaboradas e desenvolvidas. Foi visto que a tecnologia da telegrafia, tanto terrestre quanto submarina, serviu de mediadora das relações entre a ciência e a sociedade.

A indústria telegráfica como um todo, a primeira a exibir um caráter marcada e densamente científico, mostrou que, para se firmar e evoluir, precisou adotar novas

concepções científicas e padrões de produção adequados a uma grande indústria de alta tecnologia, bem como profissionais com sólida formação científica.

A industrialização permitiu a produção em grande escala e estimulou o desenvolvimento de uma profusão de técnicas próprias ao âmbito do eletromagnetismo. O estudo mostrou que a tecnologia da telegrafia (aparelhos, apetrechos, medidores, isoladores, condutores), foi criada prioritariamente tendo em vista a valorização do capital e o reforço das relações coloniais, sendo que somente num segundo momento houve a massificação e difusão dos serviços telegráficos.

Quanto à difusão das redes de telegrafia, pode-se concluir que elas fortaleceram as comunicações entre os mercados locais, próximos e distantes, que já estavam formados por força das condições históricas. O sistema telegráfico em si não criou esses mercados, mas ajudou a agilizar, em grande escala, as suas transações comerciais. O mesmo foi válido para as relações entre as metrópoles e as colônias e domínios de alguns países europeus ocidentais. Portanto, as redes telegráficas marcaram uma revolução nas comunicações, reforçando a globalização ou mundialização, aqui entendida no sentido estrito de integração de mercados. O mesmo pôde ser constatado com o desenvolvimento dos meios de transportes terrestres e marítimos, implementados a partir da máquina a vapor.

Os resultados do presente trabalho, de natureza descritiva e exploratória, apontam para a conveniência de realizar estudos mais aprofundados com o objetivo de esclarecer melhor as relações entre a tecnologia e a sociedade. Uma linha de pesquisa certamente bastante frutífera seria um estudo histórico que permita identificar de que maneira as descobertas e os saberes, em determinados períodos históricos, foram incorporados aos respectivos processos de produção. Outro estudo, este alinhado com a necessidade de informar os movimentos sociais de hoje que discutem as relações entre tecnologia e sociedade, consiste em entender como as tecnologias de comunicação se desenvolveram no século XX: como a rede de cabos submarinos evoluiu até se tornar a infraestrutura da Internet, como se deu a evolução da tecnologia do rádio e qual foi a relação desta com a tecnologia de cabos submarinos.

A lição que a telegrafia do século XIX tem a dar para as redes de cabos de fibras ópticas atuais, é a de hegemonia e de que as tecnologias não são necessariamente criadas para o bem-estar humano em geral. Foi visto que a telegrafia se apossou de conhecimentos que foram sendo construídos coletivamente ao longo do tempo, e o domínio da tecnologia da telegrafia proporcionou, na segunda metade do século XIX, maior poder econômico e político para a Grã-Bretanha, que usou a rede de cabos para expandir e consolidar a supremacia mundial.

Mas pode ocorrer também um outro processo: tecnologias que foram criadas com um determinado objetivo, podem ser "apropriadas" pelas pessoas e organizações para serem úteis à sociedade de modos não previstos nem pretendidos por seus criadores. No campo das tecnologias de comunicação, a telegrafia submarina e a Internet guardam certa similaridade. A telegrafia submarina foi criada para os negócios e a Internet foi criada no contexto da Guerra Fria. Quando foram liberadas e seu uso se generalizou, ocorreu um intenso aumento na troca de informações, que afetou em vários níveis a cultura das sociedades envolvidas e seu modo de relacionamento, permitindo vislumbrar uma sociedade planetária, que exerça igualmente uma cidadania planetária.

Urge assim, a necessidade de um efetivo controle da aplicação da ciência e da tecnologia por parte da sociedade civil. Isso implica numa ampla conscientização em relação a esses temas pelas sociedades, de modo que a cidadania possa ser exercida de maneira mais efetiva em uma civilização marcada de modo acentuado por essas questões.

REFERÊNCIAS

- AMPÈRE, André-Marie. Mémoire sur les effets des courants électriques. **Annales de chimie et de physique**, Paris, v. 15, p. 59-74, p.170-223, 1820. (cinco quadros anexos com ilustrações)
- APPLEYARD, Rollo. **Pioneers of electrical communication**. London: Ayer, 1930.
- ASSIS, André Koch Torres. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. Montreal: C. Roy Keys, 2010.
- BAIGRIE, Brian Scott. **Electricity and magnetism: a historical perspective**. Westport: Greenwood, 2007.
- BASSALO, José Maria Filardo; CRISPINO, Luís Carlos Bassalo. Sir William Thomson e a instalação do cabo telegráfico submarino entre Pernambuco e o Pará. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 513-516, 2007.
- BASTIAN, Jean-Claude. **Le télégraphe optique Chappe**. Disponível em <<http://www.telegraphe-chappe.com/chappe/portail.html>>. Acesso em 28 dez. 2013.
- BEASON, Doug. Insulating electric cables. **MRS Bulletin**, Cambridge, V. 20, n. 04, p. 60, Apr. 1995.
- BEAUCHAMP, Kenneth George. **History of telegraphy**. London: Institution of Electrical Engineers, 2001.
- BENJAMIN, Park (Ed.). **A dictionary of mechanical engineering and the mechanical arts**. New York: D. Appleton, 1886.
- BERNAL, John Desmond. **Ciencia y industria en el siglo XIX**. Tradução de R. A. A. Barcelona: Martinez Roca, 1973.
- BERNAL, John Desmond. **Science in History**. 3. ed. Harlow: Penguin, 1965.
- BERTHOLD, Victor M. **History of the telephone and telegraph in Brazil: 1851-1921**. New York: [s.n.], 1922.
- BERTICHEN, Pieter Godfred. **Rio de Janeiro - telégrafo do Morro do Castelo**. Século XIX [184-]. 1 original de arte, litogravura, 29,4 cm x 39,5 cm. Acervo do Museu do Primeiro Reinado. Disponível em <<http://www.museusdoestado.rj.gov.br/sisgam/index.php?pagina=3&busca=%&museu=&operador=>>>. Acesso em 30 dez. 2013.
- BLAVIER, E. E. **Cours théorique et pratique de télégraphie électrique**. Paris: De Lacroix-Comon, 1855.
- BOAHEN, Albert Adu (Ed.). **História geral da África: VII: África sob dominação colonial, 1880-1935**. - 2.ed. rev. - Brasília: UNESCO, 2010.

- BORVON, Gérard. **History of electrical units**. Disponível em <<http://archive.is/seaus.free.fr/spip.php?article964>>. Acesso em 12 jan. 2014.
- BOYLE, Robert. **Experiments, notes, &c. about the mechanical origine or production of divers particular qualities: among which...** London: E. Flesher, 1675.
- BRIGHT, Charles. **Submarine telegraphs: their history, construction and working**. London: Crosby Lockwood and Son, 1898.
- BRIGHT, Charles. **The history of Atlantic Cable**. New York: D. Appleton, 1903.
- BRIGHT, Charles. **The life story of Sir Charles Tilston Bright: civil engineer...** [London]: Archibald Constable & Co., 1908.
- BRITISH ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. **Standards on electrical resistance**. London: Taylor and Francis, 1864.
- BRITISH ASSOCIATION FOR ADVANCEMENT OF SCIENCE. Sixtieth Meeting, Leeds, sept. 1890. **Report...** London: John Murray, 1891.
- BRITISH ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. **Reports of the Committe on Electrical Standards**. Cambridge: Cambridge University, 1913.
- BURNS, Bill. **Cable projectors: Horatio Hubel**. Disponível em <<http://atlanticcable.com/Article/Hubbell/index.html>>. Acesso em 12 jan. 2014.
- BURNS, Bill. **Origins of the submarine cable iIndustry in Britain**. Disponível em <<http://atlantic-cable.com/Article/Origins/index.htm> 2004>. Acesso em 22 ago. 2013.
- CABANE, François. **Charles Depillon (1768 - 1805): inventeur des sémaphores côtiers**. Plouzané: Ifremer, 2007.
- CALVERT, J. B. **The electromagnetic telegraph**. Disponível em <<http://mysite.du.edu/~jcalvert/tel/morse/morse.htm#E>>. Acesso em 14 jan. 2014.
- CHT (Comissão da História das Transmissões). **Arquivo de etiquetas: Ciera**. Disponível em <<http://historiadastransmissoes.wordpress.com/tag/ciera/>>. Acesso em 30 dez. 2013.
- CLARK, Latimer. **An elementary treatise on electrical measurement: for use of telegraph inpectors and operators**. London: E & F. N. Spon, 1868.
- CNRTL (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales). **Etymologie**. Disponível em <<http://www.cnrtl.fr/etymologie/>>. Acesso em 5 jan. 2014.
- CODES of the world. Disponível em <<<http://www.nonstopsystems.com/radio/article-hell-codw-sowp.pdf>>>. Acesso em 12 jan. 2014.
- CODES that don't count. Disponível em <<http://www.circuitousroot.com/artifice/telegraphy/tty/codes/>>. Acesso em 20 dez. 2013.

COGAN, Donard de; BALDWIN, Trevor. **Technological innovation and financial stagnation: the growth of international telegraphy 1866 - 1900: a British perspective.** Disponível em <<http://dandadec.files.wordpress.com/2013/07/cable-economics1.pdf>>. Acesso em 4 out. 2013.

COMMITTEE FOR TRADE. **Report of the Joint Committee:** appointed by the Lords of the Committee of Privy Council for Trade and the Atlantic Telegraph Company, to inquire into the construction of submarine telegraph cables: together with the minutes of evidence and appendix... London: George Edward Eyre and William Spottiswoode, 1861.

COMITTEE APOINTEED FOR THE BRITISH ASSOCIATION. **Standards on electrical resistance.** London: Taylor and Francis, 1864

CONCEITOS Básicos e Características Gerais de Instrumentos. Disponível em <<http://www.fem.unicamp.br/~instmed/CGI.htm>>. Acesso em 22 jan. 2014.

CONSTRUCTION of Prussian optical telegraph. [c. 1835]. Disponível em <<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Construction-pruss-opt-tele.png>>. Acesso em 30 dez. 2013.

COOKE and Wheatstone telegraph. Disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Cooke_and_Wheatstone_telegraph>. Acesso em 15 jan. 2014.

COOKE, Edward William. **Semaphore at Portsmouth.** 1836. 1 original de arte, óleo sobre madeira, 33 cm x 40,6 cm. Coleção National Maritime Museum. Disponível em <<http://www.bbc.co.uk/arts/yourpaintings/paintings/semaphore-at-portsmouth-173324>>. Acesso em 30 dez. 2013.

COUTEUR, Penny Le; BURRESON, Jay. **Os botões de Napoleão:** as 17 moléculas que mudaram a história. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Zahar, 2006.

COUTINHO, Maurício Chalfin. **Marx:** notas sobre a teoria do capital. São Paulo: HUCITEC, 1997.

DEAN, Warren. **Brazil and the struggle for rubber:** a study in environmental history. Cambridge: Cambridge University, 1987.

DEMO, Pedro. **"Tecnofilia" e "tecnofobia".** Disponível em <<https://docs.google.com/document/pub?id=1H6LF8zqoaBVe71vH8DFrKQn7MyBAsg4KqKKUOAZGVyE>>. Acesso em 7 fev. 2014.

DESAGULIERS, J. T. Some things concerning electricity. **Philosophical Transactions,** London, v. 41, p. 634-637, 1739.

DESCHANEL, Augustin Privat. Electric telegraphs. **Popular Science Monthly,** New York, v. 3, p. 401-419, May-Oct. 1873.

DESCHANEL, Augustin Privat. **Elementary treatise on natural philosophy.** Translated by J. D. Everett. New York: D. Appleton and Co., 1876.

DIBNER, Bern. **The Atlantic cable**. Norwalk: Burndy, 1959.

DUFAY, Charles François de Cisternay. A discourse concerning electricity. **Philosophical Transactions**, London, v. 38, 1734.

DUNLOP, Charles J[Julius]. **Rio antigo**. Volume 1. Fotografias de Augusto Malta, Marc Ferrez, George Leuzinger, E. A. Mortimer e outros. Rio de Janeiro: Laemmert, 1955.

ELECTROMETER. Disponível em <<http://en.wikipedia.org/wiki/Electrometer>>. Acesso em 4 jan. 2014.

ELECTROSCOPE. Disponível em <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Electroscope>>. Acesso em 4 jan. 2014

ELETRÓFORO. Disponível em <<http://en.wikipedia.org/wiki/Eletróforo>>. Acesso em 4 jan. 2014.

ELLIOT, George. **Description of the paying-out and picking-up machinery employed in laying the atlantic telegraph cable**. Disponível em <<http://atlantic-cable.com/Article/1866Machinery/index.htm>>. Acesso em 12 jan. 2014.

ENGELS, Friderich. **To Jules Guedes in Paris**. In: MARX, K; ENGELS, F. *Collected Works*. v. 39. 2nd. ed. Moscou: Progress, 1965.

ENGELS, Friedrich. **A situação da classe trabalhadora em Inglaterra**. Tradução de Anália C. Torres. Porto: Afrontamento, 1975.

FAHIE, J. J. **A history of electric telegraphy, to year 1837**. London: E. & F. N. Spon, 1884.

FARADAY, Michael. Experimental researches in electricity. **Philosophical Transactions**, London, v. 122, p. 125-162, 1832.

FARADAY, Michael. **Experimental researches in electricity**. vol. III. London: Richard Taylor and William Francis, 1855.

FERNANDEZ DE VILLEGAS, Fernando. **Historia de la telegrafia**. Disponível em <http://www.ealuro.com/eb3emd/Telegrafia_hist/Telegrafia_hist.htm>. Acesso em 1 jan. 2014.

FINGER, Stanley; PICCOLINO, Marco. **The shocking history of electric fishes: from ancient epochs to the birth of modern neurophysiology**. New York: Oxford University, 2011.

FIVE needle telegraph. Disponível em <<http://www.kingscollections.org/exhibitions/archives/wheatstone/electricity/five-needle>>. Acesso em 12 jan. 2014.

FOX, Robert; GUANINI, Anna. **Laboratories, workshops, and sites: concepts and practices of research in industrial Europe, 1800-1914**. Berkeley: Berkeley, 1999.

FRIEDEL, Robert D. Lines and waves: Faraday, Maxwell and 150 years of eletromagnetism. **IEEE Spectrum**, New York, 1981.

GATER, G. H.; WHEELER, E. P. (Ed.). **Survey of London**: volume 16: St Martin-in-the-Fields I: Charing Cross. 1935. Plate 79: The Admiralty: view of the telegraph erected in 1796', p. 79. Disponível em <<http://www.british-history.ac.uk/report.aspx?compid=68222>>. Acesso em 4 jan. 2014.

GILBERT signal engineering. Disponível em <<http://science-notebook.com/gilbert-signal02.html>>. Acesso em 16 ago. 2013.

GLOVER, Bill. **Cabot Strait Cable and 1857-58 Atlantic Cables**. Disponível em <<http://atlantic-cable.com/Cables/1857-58Atlantic/>>. Acesso em 2 jan. 2014.

GRANT, Edward. **The foundations of modern science in the Middle Ages**: their religious, institutional, and intellectual contexts. Cambridge: Cambridge University, 1996.

GRAY, Stephen. An account of some new electrical experiments. **Philosophical Transactions**, London, v. 31, p. 104-107, 1720.

GUERICKE, Ottonis De. **Experimenta Nova** (ut vocantur) Magdeburgica De Vacuo Spatio : Primùm à R. P. Gaspare Schotto, è Societate Jesu, & Herbipolitanæ Academiæ Matheseos Professore. Amstelodami: Janssonius, 1672.

HAUKSBEE, Francis. **Physico-mechanical experiments on various subjects**. London: R. Brugis, 1709.

HOBBS, Alan G.; HALLAS, Sam. **A short history of telegraphy**. Disponível em <<http://www.samhallas.co.uk/telhist1/telehist2.htm#Baudot>> . Acesso em 1 jan. 2014.

HEADRICK, Daniel R. Gutta-percha: a case of resource depletion and international rivalry. **IEEE Technology and Society Magazine**, Washington, n. 6, p. 12–16, Dec. 1987.

HEADRICK, Daniel R. **The invisible weapon**: telecommunications and international politics, 1851-1945. New York: Oxford University, 1991.

HEADRICK, Daniel R. **The tentacles of progress**: technology transfer in the Age of Imperialism, 1850-1940. New York: Oxford University, 1988.

HEADRICK, Daniel R. **Technology**: a world history. New York: Oxford University, 2009.

HIGHTON, Edward. **Electric telegraph**: its history and progress. London: John Weale, 1852.

HOBBS, Alan G.; HALLAS, Sam. **A short history of telegraphy**. Disponível em <<http://www.samhallas.co.uk/telhist1/telehist2.htm#Baudot>> . Acesso em 2 jan. 2014.

HOBSBAWM, E. J. Prólogo. In: ENGELS, Friedrich. **A situação da classe trabalhadora em Inglaterra**. Tradução de Anália C. Torres. Porto: Afrontamento, 1975.

HOBSBAWM, E. J. **The Age of Empire**: 1875-1914. New York: Vintage, 1989.

HOBBSAWM, E. J. **The Age of Revolution:1789-1848**. New York: Vintage, 1996.

HOUAISS, Antônio; VILLAR, Mauro de Salles. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

HOVEN, C. v. **Carte générale des grandes communications télégraphiques du monde: dressée d'après des documents officiels par le Bureau International des Administrations Télégraphiques**. Berne: Bureau International des Administrations Télégraphiques, 1901.

HUNT, Bob. **Portsdown tunnels: pre-1850 sites - Portsdown telegraph**. Disponível em <<http://www.portsdown-tunnels.org.uk>>. Acesso em 30 dez. 2013.

HUNT, Bruce J. Insulation for an empire: gutta- percha and the development of electrical measurement in Victorian Britain. In: JAMES, Frank A. J. L. (Ed.). **Semaphores to short waves**. London: Royal Society of Arts, 1998. p. 85-104.

HUNT, Bruce J. Michael Faraday, cable telegraphy and rise of field theory. In: HOLLISTER-SHORT, Graham; JAMES, Frank A. J. L. (Ed.). **History of technology**. London: Mansell, 1991b. p. 1-19.

HUNT, Bruce J. **The Maxwellians**. Ithaca: Cornell University, 1991a.

HUNT, Bruce J. The Ohm is where the art is: British telegraph engineers and the development of electrical standards. **Osiris**, Chicago, v. 9, p. 48-63, 1994.

HUNT, Bruce. **Pursuing power and light: Technology and Physics from James Watt to Albert Einstein**. Baltimore: John Hopkins, 2010.

HUNT, Bruce J. Oliver Heaviside: a first-rate oddity. **Phys. Today**, New York, v. 65, n. 11, p. 48-54, nov. 2012.

HUNT, Bruce, J. **Practice vs. theory: the British electrical debate, 1888-1891**. Disponível em <<http://ls.poly.edu/~jbain/histlight/readings/83Hunt.pdf>>. Acesso em 29 jun. 2013.

HUUDERMAN, Anton A. **The worldwide history of telecommunications**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003.

IEEE. **Telegraph transmission speed**. Disponível em <http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Category:Telegraph_transmission_speed>. Acesso em 29 dez. 2013.

ISAAC, John R. **Laying the atlantic telegraph cable from ship to shore**. Disponível em <<http://www.atlantic-cable.com/Books/1857Isaac/index.htm>>. Acesso em 17 jan. 2014.

JONES, R. Victor. **Communication systems and technology: history of telegraph**. Disponível em <http://people.seas.harvard.edu/~jones/cscie129/pages/comm_links.html#h_of_tele>. Acesso em 10 jan. 2014.

KEMP, Tom. **A Revolução Industrial na Europa do século XIX**. Tradução de José Marcos Lima. Lisboa: 70, 1987.

LAIDLER, Keith James. **To light such a candle**: chapters in the History of Science and Technology. New York: Oxford University, 1998.

LANDES, David. Progreso tecnológico y Revolucion Industrial. Madrid: Tecnos, 1979

LIMA, António Luís Pedroso de. **Bicentenário do corpo telegráfico**: 1810-2010. Disponível em <<http://www.exercito.pt/historiatm/Documentos/Livros/Bicenten%C3%A1rio%20do%20Corpo%20Telegr%C3%A1fico%201820-2010.pdf>>. Acesso em 29 dez. 2013.

LISTE des sémaphores de la Manche. Disponível em <http://www.wikimanche.fr/Liste_des_sémaphores_de_la_Manche>. Acesso em 29 dez. 2013.

LLOYD, Reginald et al. **Impressões do Brazil no seculo vinte**: sua historia, seo povo, commercio, industrias e recursos. London: Lloyd, 1913.

LUNA, Isabel de; SOUSA, Ana Catarina; LEAL, Rui Sá. Telegrafia visual na Guerra Peninsular, 1807-1814. **Boletim Cultural da Câmara Municipal**, Mafra, p. 67-141, 2008.

MACDONALD, John. **A treatise on telegraphic communication, naval, military, and political**: in which the known defects ... London: T. Egerton, 1808.

MACIEL, Laura Antunes. Cultura e tecnologia: a constituição do serviço telegráfico no Brasil. **Revista Brasileira de História**, São Paulo, v. 21, n. 41, p. 127-144, 2001.

MAGILL, Frank N. **The Middle Ages**: dictionary of world biography, volume 2. Oxford: Routledge, 2012.

MALCON, H. W. **The Theory of the submarine telegraphy and telephone cable**. London: "The Electrician, [1917?].

MANTOUX, Paul. A Revolução Industrial no século XVIII. Tradução de Sonia Rangel. São Paulo: UNESP; HUCITEC [1957].

MARX, Karl. **Capital**: a critique of political economy. Volume I, Book One: the process of production of capital. Disponível em <<http://marxists.org/archive/marx/works/download/pdf/Capital-Volume-I.pdf>>. Acesso em 3 jul. 2013a.

MARX, Karl. **The future results of British rule in India**. Disponível em <<http://www.marxists.org/archive/marx/works/1853/07/22.htm>>. Acesso em 22 ago. 2013b.

MASON, L. F. **História da ciência**: as principais correntes do pensamento científico. Tradução de Flávio e José Vellinho de Lacerda. Porto Alegre: Globo, 1962.

MAVER Jr., William. **American telegraphy and encyclopedia of the telegraph**: systems, apparatus, operation. NewYork: Maver, 1903.

MAXWELL, J. Clerk. A dynamical theory of the electromagnetic field. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 155, p. 459-512, 1865.

MAXWELL, James Clerk. **A treatise on electricity and magnetism**: v. 2. New York: Dover, 1954.

MEDEIROS, Alexandre. As origens históricas do eletroscópio. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 24, n.3, p. 353-361, Set. 2002.

MICHAEL Faraday. Disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday>. Acesso em 4 jan. 2014.

MINISTÈRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES. Congrès International des Électriciens, Paris, 1881. **Comptes rendus des travaux**. Paris: G. Masson, 1882.

MORUS, Iwan Rhys. The nervous system of Britain: space, time and the electric telegraph in the Victorian age. **The British Journal for the History of Science**, Cambridge, v. 33, n. 4, p. 455-475, Dec. 2000.

MOKYR, Joel. **The Second Industrial Revolution, 1870-1914**. Disponível em <<http://faculty.wcas.northwestern.edu/~jmokyr/castronovo.pdf>>. Disponível em 20 dez. 2013.

MOYER, Albert. **Joseph Henry**: the rise of an American scientist. Washington: Smithsonian Institution, 1997. p. 143-144.

MÜLLER, Carlos Alves. **Longa distância**: a evolução dos sistemas nacionais de telecomunicações da Argentina e do Brasil em conexão com as telecomunicações internacionais (1808-2003). Tese (Doutorado em Ciências Sociais) - Universidade de Brasília, 2007.

MUNRO, J. **Nerves of the world**. Disponível em <<http://atlantic-cable.com/Article/1895MunroNerves/>>. Acesso em 2 jan. 2014.

NOAA. **Voyage to inner space**: exploring the seas with NOAA collect catalog of images. Disponível em <<http://www.photolib.noaa.gov/brs/nuind139.htm>>. Acesso em 25 jan. 2014.

NOLLET, J. A. **Essai sur l'électricité des corps**. 2. ed. Paris: Guerin, 1750.

OLIVÉ ROIG, Sebastián. **Historia de la telegrafía óptica en España**. Madrid: Secretaría General de Comunicaciones, 1990.

ORPHANIDIS, Sophocles J. Maxwell's equations. In: _____. **Electromagnetic waves and antennas**. Disponível em <<http://www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/ewa/ch01.pdf>>. Acesso em 18 jul. 2013.

PASLEY, C. W. **Description of the universal telegraph**: for day and night signals. London: T. Egerton, 1823.

PINTO, Álvaro Vieira. **Ciência e existência**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1969.

PINTO, Álvaro Vieira. **O conceito de tecnologia**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2005.

- PÖLL, J. S. The story of the gauge. **Anaesthesia**, London, v. 54, n. 6, p. 575-581, June 1999.
- POPHAM, Sir Home. **Telegraphic signals, or marine vocabulary**. [London]: C. Roworth, 1801.
- PORTER, Rufus M. Will the Atlantic Telegraphic Cable operate? **Scientific American**, New York, v. 13, n. 27, p. 209-216, mar. 1858.
- PREECE, W. H.; SIVEWRIGHT, M. A. **Telegraphy**. London: Longmans Green, 1876.
- PRESCOTT, George B. **Electricity and the electric telegraph**. - 7th. ed. rev. and enl. - New York: D. Appleton, 1888.
- PRESCOTT, George B. **History, theory and practice of the electric telegraph**. Boston: Ticknor and Fields, 1860.
- PURRINGTON, Robert D. **Physics in nineteenth century**. New Brunswick: Rutgers University, 1987.
- REES, Abraham. **The cyclopaedia: universal dictionary of arts, sciences, and literature**. Vol. IV: Plates - Telegraph. London: Longman, 1820.
- RIBEIRO, Nelson de Figueiredo. **A questão geopolítica da Amazônia: da soberania difusa à soberania restrita**. Brasília: Senado Federal, vol. 64, 2005
- ROBERTS, Steven. **A history of the telegraph companies in Britain between 1838 and 1868**. Disponível em <<http://distantwriting.co.uk/index.html>>. Acesso em 3 jan. 2014.
- ROBERTS, Steven. **The ancestors of the Telegraph Construction & Maintenance Company**. Disponível em <<http://atlantic-cable.com/CableCos/Telcon/index.htm>>. Acesso em 22 ago. 2013.
- ROYAL SIGNALS CONTACT SITE. **Royal signals: miscellaneous, old datasheets**. Disponível em <<http://royal-signals.org.uk>>. Acesso em 30 dez. 2013.
- ROZWADOWSKI, Helen M. **Fathoming the ocean: the discovery and exploration of the deep sea**. Cambridge: Harvard University, 2005.
- RUSSELL, W. H. **The atlantic telegraph**. London: Day & Son, 1865.
- SANTOS, Rodrigo Souza. A seringueira e a importância da borracha natural no Brasil e no mundo. **Revista Eletrônica de Ciências**, online, n. 49, jun. 2011. Disponível em <http://cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_49/seringueiras.html>. Acesso em 20 dez. 2013.
- SAYENGA, Donald. **Modern history of wire rope**. Disponível em <<http://www.saminfo.com/wirerope4.htm>>. Acesso em 22 ago. 2013.
- SEGRÈ, Emilio. **From falling bodies to radio waves: classical physics and their discoveries**. W H. Freeman. New York, 1984.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT Jr., John W. **Physics for scientists and engineers with modern Physics**: V. 2. 8th. ed. Belmont: Brooks/Cole, 2010.

SIEMENS, Werner. **Recollections**. Tradução para o inglês de William Chatterton Coupland. Organização e notas de Wilfried Feldenkirchen. Munich: Piper, 2008.

SIEMENS, Werner. **Scientific & technical papers of Werner Siemens**. John Murray: London, 1892.

SIEMENS BROS. & Co. Capanema patented porcelain self-tying insulator. **The Telegraphic Journal and Electrical Review**, London, vol. 11, no. 251, p. 213-214, Sept. 1882.

SILVA, Ana Paula. **Portugal and the building of atlantic telegraph networks**: the role of a loser or a winner? Disponível em <http://www.johost.eu/vol2_fall_2008/host_vol2_ana_silva.pdf>. Acesso em 20 dez. 2013.

SILVA, Mauro Costa da. **A telegrafia elétrica estatal no Brasil de 1852 - 1914**. Tese (Doutorado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

SILVA, Mauro Costa da; MOREIRA, Ildeu de Castro. A introdução da telegrafia elétrica no Brasil (1852-1870). **Revista da SBHC**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 47-62, jan.-jul. 2007.

SIMONSEN, Roberto Cochrane. **Evolução Industrial do Brasil e outros estudos**. São Paulo: Nacional/USP, 1973.

SINGER, Charles et al. **A history of technology**. Volume IV: the industrial revolution, 1750 to 1850. New York: Oxford University, 1958.

SMITHSONIAN INSTITUTE. **Joseph Henry collection**: historical note. Disponível em <http://siarchives.si.edu/collections/siris_arc_217201>. Acesso em 4 jan. 2014.

SOARES, Luiz Carlos. **A Albion revisitada**: crítica, religião, ilustração e comercialização do lazer na Inglaterra do século XVIII. Rio de Janeiro: 7Letras; FAPERJ, 2007)

SOARES, Luiz Carlos; SILVA, Francisco Carlos Teixeira de. **Reflexões sobre a guerra**. Rio de Janeiro: 7letras: Faperj, 2010.

SOLYMAR, Lazlo. **Getting the message**: a history of communications. Oxford: Oxford University, 1999.

SOUZA FILHO, M. P. et al. Demonstração didática da interação entre correntes elétricas. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v.29, n.4, p. 605-612, 2007.

STRANGE, P. Two electrical periodicals: The Electrician and The Electrical Review 1880-1890. **IEE Proceedings - Part A**: Physical Science, Measurement and Instrumentation, Management and Education, Reviews, London, v.132, n. 8, p. 574-581, Dec. 1985.

SUBMARINE cable route maps. Disponível em <<http://atlantic-cable.com/Maps/index.htm>>. Acesso em 12 jan. 2014.

SZMRECSÁNYI, Tamás. Esboços de história econômica da ciência e da tecnologia. In: SOARES, Luiz Carlos (org.). **Da Revolução Científica à big (business) science**: cinco ensaios de história da ciência e da tecnologia. São Paulo: Hucitec; Niterói: EdUFF, 2001. p. 155-200.

TATON, René (Dir.). **A ciência moderna**: 2 - o século XVII. Tradução de Git K. Ghinsberg et al. São Paulo: Difusão Europeia do Livro, 1960. (História Geral das Ciências, Tomo II)

TELECO. **Cabos submarinos no Brasil**. Disponível em <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsub/pagina_2.asp>. Acesso em 16 jul. 2013.

TELEGRAPH instruments of Europe. **Keyboard and distributor for Baudot telegraph by J. Carpentier of Paris France**. Disponível em <<http://www.telegraphsofeurope.net/page47.html>>. Acesso em 29 dez. 2013.

TÉLÉGRAPHE de Chappe à Villiers sur Tholon, Le. Disponível em <<http://www.villierssurtholon.fr/Main.aspx?numStructure=81704&numRubrique=544749>>. Acesso em 13 ago. 2013.

TELEGRAPHIST, The. **The India-rubber, Gutta-percha, and Telegraph Works Company, Limited**. April 1, 1887. Disponível em <<http://www.atlantic-cable.com/CableCos/Silvertown/>>. Acesso em 22 ago. 2013.

THEBERGE Jr., Albert E. **The myth of the Telegraphic Plateau**. Disponível em <http://www.hydro-international.com/issues/articles/id1384-The_Myth_of_the__Telegraphic_Plateau.html>. Acesso em 25 jan. 2014.

THOMPSON, Silvanus P. **The influnee machine, from 1788 to 1888**. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5300763&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F5300191%2F5300762%2F05300763.pdf%3Farnumber%3D5300763>> Acesso em 16 out. 2013.

THOMPSON, Silvanus P. **Elementary lessons in electricity & magnetism**. London: Macmillan, 1912.

THOMSON, William. **Atlantic telegraphic cable**. London: William Brown, 1866.

THOMSON, William. **On the theory of the electric telegraph proceedings of the Royal Society of London**, V. 7 (1854 - 1855), p. 382-399. Disponível em <<http://www.jstor.org/stable/111814>>. Acesso em 22 ago. 2013.

TULLY, John. A Victorian ecological disaster: imperialism, the telegraph and gutta-percha. **Journal of World History**, Honolulu, V. 20, n. 4, p. 559-579, Dec. 2009.

TULLY, John. **The Lost Story of a Strike that Shook London and Helped Launch the Modern Labor Movement**. Disponível em <<http://monthlyreview.org/press/books/cl4345/>>. Acesso em 5 jan. 2014.

TURNBULL, Lawrence. **The electro-magnetic telegraph**: progress, and present condition Philadelphia: A. Hart, 1853.

VALLE, Manuel Maria de Moraes e. *Philosophia natural*. **Arquivo Medico Brasileiro**, Rio de Janeiro, tomo IV, n. 7, p. 145-151, abr. 1848.

WASER, Andre. **On the notation of Maxwell's field equations**. Disponível em <<http://www.rexresearch.com/maxwell1/20equations.pdf>>. Acesso em 18 jul. 2013.

WHEATSTONE, Charles. **An Account of Several New Instruments and Processes for Determining the Constants of a Voltaic Circuit**. Disponível em <<http://www.jstor.org/stable/pdfplus/108382.pdf&acceptTC=true&jpdConfirm=true>>. Acesso em 31 ago. 2013.

WILKINSON, H. D. **Submarine cable laying and repairing**. London: The Electrician, 1908.

WOLVERINE TUBE EUROPE BV. **B. W. G. chart**. Disponível em <<http://www.wolverine-tube.nl/upload/documenten/pdf/B.W.G.%20Chart.pdf?wolverine=b9be613143bf63a49..>>. Acesso em 12 jan. 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A - UNIDADES DE MEDIDA

Conversão das medidas imperiais (Grã-Bretanha, 1824) para o Sistema Internacional

Comprimento

- 1 mil (*thou*) - 1/1000 polegada
- 1 polegada (*inch*) = 0,0254 m (2,54 cm)
- 1 jarda (*yard*) = 0,914 m
- 1 pé (*foot*) = 0,305 m
- 1 braça (*fathom*) = 1,829 m
- 1 milha (*statute land mile* ou *statute mile - sm*) = 1.609 m
- 1 milha náutica (*nautical mile - na mi*) = 1.852 m

Massa

- 1 libra (*pound*) = 0,454 kg
- 1 quintal (*cental weighth - cwt - ou hundred weighth*) = 112 libras (50,8 kg)
- 1 tonelada (*tonne*) = 1000 kg

Volume

- 1 galão (*gallon*) = 4,546 l (10 libras)
- 1 pé cúbico (*cubic feet*) - ~ 56 libras

Velocidade

- 1 nó (*knot*) = 1 milha náutica/hora

B.W.G.	inches	mm	B.W.G.	inches	mm	B.W.G.	inches	mm
0	0.340"	8.636	9	0.148"	3.759	18	0.049"	1.245
1	0.300"	7.620	10	0.134"	3.404	19	0.042"	1.067
2	0.284"	7.214	11	0.120"	3.048	20	0.035"	0.889
3	0.259"	6.579	12	0.109"	2.769	21	0.032"	0.813
4	0.238"	6.045	13	0.095"	2.413	22	0.028"	0.711
5	0.220"	5.588	14	0.083"	2.108	23	0.025"	0.635
6	0.203"	5.156	15	0.072"	1.829	24	0.022"	0.559
7	0.180"	4.572	16	0.065"	1.651	25	0.020"	0.508
8	0.165"	4.191	17	0.058"	1.473			

Figura A.1 - Padrão Birmingham Wire Gauge (B.W.G.) de especificação de fios (WOLVERINE, 2014)

APÊNDICE B - CÓDIGOS TELEGRÁFICOS VISUAIS

↖ 1	↗ 13	↘ 25	↙ 37	→ 49	↖ 61	↗ 73	↘ 85
↖ 2	↗ 14	↘ 26	↙ 38	→ 50	↖ 62	↗ 74	↘ 86
↖ 3	↗ 15	↘ 27	↙ 39	→ 51	↖ 63	↗ 75	↘ 87
↖ 4	↗ 16	↘ 28	↙ 40	→ 52	↖ 64	↗ 76	↘ 88
↖ 5	↗ 17	↘ 29	↙ 41	→ 53	↖ 65	↗ 77	↘ 89
↖ 6	↗ 18	↘ 30	↙ 42	→ 54	↖ 66	↗ 78	↘ 90
↖ 7	↗ 19	↘ 31	↙ 43	→ 55	↖ 67	↗ 79	↘ 91
↖ 8	↗ 20	↘ 32	↙ 44	→ 56	↖ 68	↗ 80	↘ 92
↖ 9	↗ 21	↘ 33	↙ 45	→ 57	↖ 69	↗ 81	
↖ 10	↗ 22	↘ 34	↙ 46	→ 58	↖ 70	↗ 82	
↖ 11	↗ 23	↘ 35	↙ 47	→ 59	↖ 71	↗ 83	
↖ 12	↗ 24	↘ 36	↙ 48	→ 60	↖ 72	↗ 84	

Figura B.1 - Código do telégrafo de Chappe, de 1792.

Vocabulário: 92 páginas com 92 linhas cada. Busca de palavra: par de sinais (página e linha)
(TÉLÉGRAPHE, 2013)

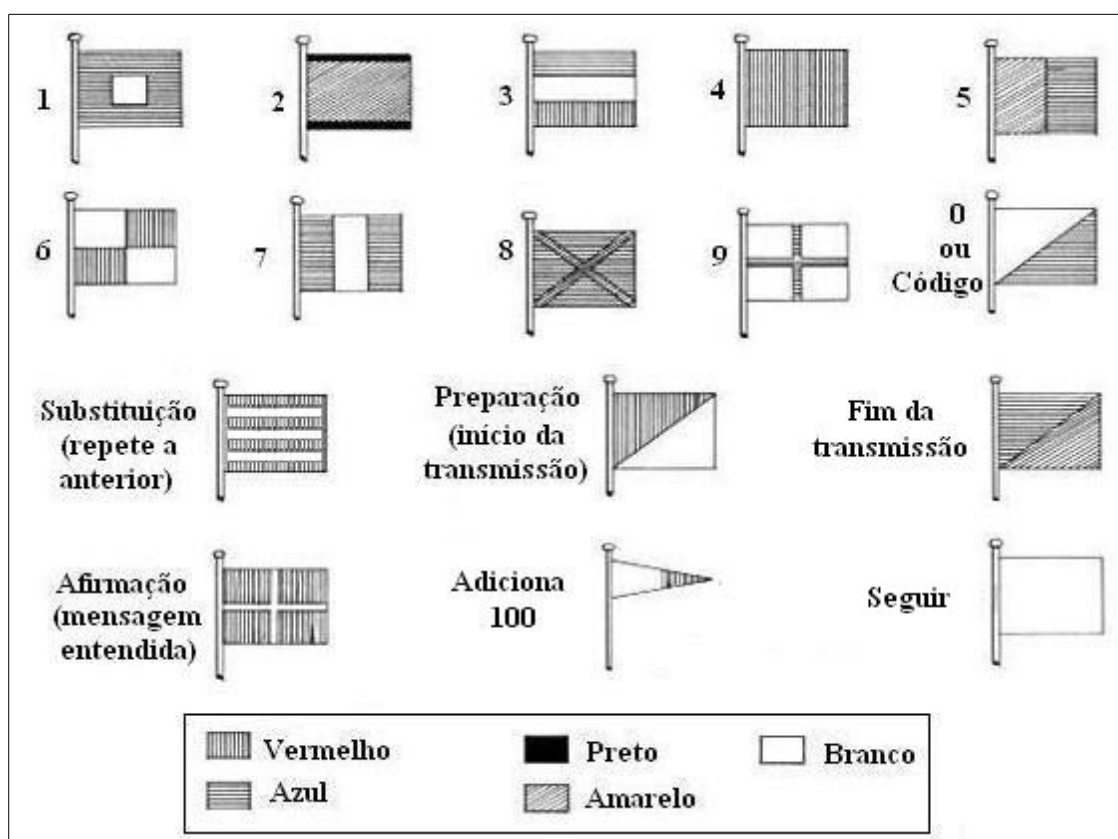


Figura B.2 - Código de bandeiras de Popham, de 1800 (adaptado de LUNA; SOUSA; LEAL, 2008)

Combinations.	1	a	1	Boards.
	2	b	2	
	3	c	3	
	4	d	4	
	5	e	5	
	6	f	6	
	7	g	1, 2	
	8	h	1, 3	
	9	i	1, 4	
	10	k	1, 5	
	11	l	1, 6	
	12	m	2, 3	
	13	n	2, 4	
	14	o	2, 5	
	15	p	2, 6	
	16	q	3, 4	
	17	r	3, 5	
	18	s	3, 6	
	19	t	4, 5	
	20	u	4, 6	
	21	w	5, 6	
	22	x	1, 2, 3	
	23	y	1, 2, 4	
	24	z	1, 2, 5	

Combinations.	Numerals.	1	1, 2, 6
		2	1, 3, 4
		3	1, 3, 5
		4	1, 3, 6
		5	1, 4, 5
		6	1, 4, 6
		7	1, 5, 6
		8	2, 3, 4
		9	2, 3, 5
		0	2, 3, 6

Spare Combinations.	35 To	2, 4, 5
	36 From	2, 4, 6
	37 Captain	2, 5, 6
	38 North	3, 4, 5
	39 South	3, 4, 6
	40 East	3, 5, 6
	41 West	4, 5, 6
	42 Fog	1, 2, 3, 4
	43 Arrived	1, 2, 3, 5
	44 Sailed	1, 2, 3, 6
	45 Convoy	1, 2, 4, 5
	46 Packet	1, 2, 4, 6
	47 Ship of the line	1, 2, 5, 6
	48 Court Martial	1, 3, 4, 5
	49 Fleet	1, 3, 4, 6
	50 Sea	1, 3, 5, 6
	51 Put back	1, 4, 5, 6
	52 Sail	2, 3, 4, 5
	53 Execution	2, 3, 4, 6
	54 First fair wind	2, 3, 5, 6
	55 Guns	2, 4, 5, 6
	56 Wind	3, 4, 5, 6
	57 Transports	1, 2, 3, 4, 5
	58 Commander	1, 2, 3, 4, 6
59 Port-Admiral	1, 2, 3, 5, 6	
60 Vice-Admiral	1, 2, 4, 5, 6	
61 Rear-Admiral	1, 3, 4, 5, 6	
62 Admiral	2, 3, 4, 5, 6	
63 Commencing signal, or between words, &c.	1, 2, 3, 4, 5, 6	

Figura B.3 - Código do telégrafo de persianas de Murray, de 1794. Adaptado de GATER; WHEELER (2014) e MACDONALD (1808, p. 45-47).

SÍMBOLO	ESQUEMA	PERSIANAS
⊙		Todas abertas
=		Todas fechadas
1		Uma aberta
2		
4		
3		1 + 2
5		1 + 4
6		2 + 4

Figura B.4 - Código dos telégrafos de Ciera, de 1803 (adaptado de LIMA, 2013, p. 18, 19) Vocabulário com mais de 60.000 palavras: sinais em grupos de até seis sinais.

TABLE of the SIGNS or COMBINATIONS.

Positions	Appearance.		Positions	Appearance.		Positions	Appearance.		Positions	Appearance.	
	By Day	By Night		By Day	By Night		By Day	By Night		By Day	By Night
1			12			25			45		
2			13			26			46		
3			14			27			47		
4			15			34			56		
5			16			35			57		
6			17			36			67		
7			23			37			STOP		
			24						FINISH		

Figura B.5 - Código para o telégrafo de ponteiros de Pasley, de 1827.
(adaptado de PASLEY, 1823, p. 32, plate 2)

A ERROR 1	B 2	C 3	J	K NEGATIVE	L PREP'TORY	S	T	U
D 4	E 5	F 6	M	N ANNULING	O INTER'TORY	V	W	X
G 7	H 8	I EXECUTE 9	P AFFIRMATIVE	Q	R ACKNOW'GE	Y	Z	INTERVAL
		1 ----- 2 ----- 3 ----- 4 ----- 5 -----	6 ----- 7 ----- 8 ----- 9 ----- 0 -----	CHOP CHOP INTERVAL DOUBLE - 2 TRIPLE - 3	CORNET U.S.N. ATTENTION	U.S. ARMY US.ARMY - NAVY U.S.ARMY - NAVY	NUMERALS (FoLw) SIGNALS (FLw) LETTERS (FLw)	

Figura B.6 - Sistema internacional de sinalização, fim do século XIX.
Usa duas bandeiras bicolores (vermelha e amarela) e é associado ao código Morse (adaptado de GILBERT, 2013)

APÊNDICE C - EQUAÇÕES DE MAXWELL

<p>Equações das correntes totais</p> $\left. \begin{aligned} p' &= p + \frac{df}{dt}, \\ q' &= q + \frac{dg}{dt}, \\ r' &= r + \frac{dh}{dt}, \end{aligned} \right\} \text{(A)}$	<p>Equações da força magnética</p> $\left. \begin{aligned} \mu\alpha &= \frac{dH}{dy} - \frac{dG}{dz}, \\ \mu\beta &= \frac{dF}{dz} - \frac{dH}{dx}, \\ \mu\gamma &= \frac{dG}{dx} - \frac{dF}{dy}. \end{aligned} \right\} \text{(B)}$
<p>Equações da força eletromotriz</p> $\left. \begin{aligned} P &= \mu \left(\gamma \frac{dy}{dt} - \beta \frac{dz}{dt} \right) - \frac{dF}{dt} - \frac{d\Psi}{dx}, \\ Q &= \mu \left(\alpha \frac{dz}{dt} - \gamma \frac{dx}{dt} \right) - \frac{dG}{dt} - \frac{d\Psi}{dy}, \\ R &= \mu \left(\beta \frac{dx}{dt} - \alpha \frac{dy}{dt} \right) - \frac{dH}{dt} - \frac{d\Psi}{dz}. \end{aligned} \right\} \text{(D)}$	<p>Equações das correntes</p> $\left. \begin{aligned} \frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz} &= 4\pi p', \\ \frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx} &= 4\pi q', \\ \frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy} &= 4\pi r'. \end{aligned} \right\} \text{(C)}$
<p>Equações da elasticidade elétrica</p> $\left. \begin{aligned} P &= kf, \\ Q &= kg, \\ R &= kh. \end{aligned} \right\} \text{(E)}$	<p>Equações da resistência elétrica</p> $\left. \begin{aligned} P &= -\varepsilon p, \\ Q &= -\varepsilon q, \\ R &= -\varepsilon r. \end{aligned} \right\} \text{(F)}$
<p>Equação da eletricidade livre</p> $e + \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz} = 0 \quad \text{(G)}$	<p>Equação da continuidade da carga</p> $\frac{de}{dt} + \frac{dp}{dx} + \frac{dq}{dy} + \frac{dr}{dz} = 0 \quad \text{(H)}$

Figura C.1 - Equações gerais do campo magnético de Maxwell (MAXWELL, 1865, p. 459-512).

Símbolos das variáveis (MAXWELL, 1865, p. 486)

Momentum eletromagnético - F, G, H

Intensidade magnética - α, β, γ

Força eletromotriz - P, Q, R

Corrente devida a condução verdadeira - p, q, r

Deslocamento elétrico - f, g, h

Corrente total - p', q', r'

Eletricidade livre - e

Potencial elétrico - ψ

$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$	Lei da indução de Faraday
$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$	Lei de Ampère aprimorada por Maxwell
$\nabla \cdot D = \rho$	Lei de Gauss para os campos elétricos
$\nabla \cdot B = 0$	Lei de Gauss para os campos magnéticos

Figura C.2 - Equações de Maxwell trabalhadas por Heaviside (ORPHANIDIS, 2013, p. 1).

Símbolos das variáveis (WASER, 2013, p. 5):

E - intensidade do campo elétrico

H - intensidade do campo magnético

D - deslocamento elétrico

B - indução magnética

j - densidade da corrente elétrica

ϵ - permissividade elétrica

μ - permeabilidade magnética

ρ - densidade de carga

k - condutividade

APÊNDICE D - LEI DE BIOT-SAVART

Jean-Baptiste Biot e Félix Savart propuseram que a contribuição de cada segmento do fio varia inversamente com o quadrado das distâncias em relação ao observador. Para o comprimento total do fio, essas contribuições se somam ao campo total que varia inversamente com a distância do fio.

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{s} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

A expressão é baseada na observação experimental para um campo magnético $d\mathbf{B}$, em um ponto P , associado a um elemento de comprimento $d\mathbf{s}$ de um fio percorrido por uma corrente constante (SERWAY; JEWETT, 2010, p. 863).

APÊNDICE E - REPRESENTAÇÃO DE ALGUMAS UNIDADES ELÉTRICAS

	Symbol.	Electrostatic System.	Electromagnetic System.
$\frac{e}{E}$ = capacity of an accumulator . . .	q	$[L]$	$\left[\frac{T^2}{L}\right]$.
$\frac{p}{C}$ = { coefficient of self-induction of a circuit, or electro- magnetic capacity }	. . . L	$\left[\frac{T^2}{L}\right]$	$[L]$.
$\frac{D}{\mathcal{E}}$ = { specific inductive capacity of dielectric }	. . . K	$[0]$	$\left[\frac{T^2}{L^2}\right]$.
$\frac{B}{\mathcal{H}}$ = magnetic inductive capacity . . .	μ	$\left[\frac{T^2}{L^2}\right]$	$[0]$.
$\frac{E}{C}$ = resistance of a conductor	R	$\left[\frac{T}{L}\right]$	$\left[\frac{L}{T}\right]$.
$\frac{\mathcal{E}}{\mathcal{C}}$ = { specific resistance of a substance } r	$[T]$	$\left[\frac{L^2}{T}\right]$.

Figura E.1 - Algumas unidades de medidas expressas nos sistemas eletromagnético e eletrostático (MAXWELL, 1954, p. 267).

FUNDAMENTAL UNITS.	PRACTICAL SYSTEM.	B. A. REPORT, 1863.	THOMSON.	WEBER.
<i>Length,</i>	<i>Earth's Quadrant,</i>	<i>Metre,</i>	<i>Centimetre,</i>	<i>Millimetre,</i>
<i>Time,</i>		<i>Second,</i>	<i>Second,</i>	<i>Second,</i>
<i>Mass.</i>		<i>10⁻¹¹ Gramme.</i>	<i>Gramme.</i>	<i>Gramme.</i>
Resistance	Ohm	10 ⁷	10 ⁹	10 ¹⁰
Electromotive force	Volt	10 ⁵	10 ⁸	10 ¹¹
Capacity	Farad	10 ⁻⁷	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰
Quantity	Farad (charged to a Volt.)	10 ⁻²	10 ⁻¹	10

Figura E.2 - Valores das unidades elétricas práticas em diferentes sistemas de medidas adotados ao longo do tempo (MAXWELL, 1954, p. 267).