Tesla e o Ovo de Colombo

Cristóvão Colombo (1451 - 1506), teve uma vida muito controversa e há muitas teorias sobre Cristóvão Collón (Colombo), mas sabe-se que terá vivido em Itália, Portugal e Espanha[1] e é considerado o navegador que descobriu em 12 de outubro de 1492, as Américas, designadas por Novo Mundo, Fig. 1.

Nos nove anos que viveu em Portugal, depois de 1479, desposou Filipa Moniz (1451 - 1485), que residia com a mãe no Mosteiro de Santos-o-Velho da Ordem de Santiago, desde a morte do pai, o célebre Bartolomeu Perestrelo (1395 - 1457), cavaleiro da casa do Infante D. Henrique (1394 – 1460).

Colombo o navegador

Colombo elaborou o seu projeto de navegação para descobrir o "Novo Mundo", em Lisboa, entre 1478 e 1482. Colombo não conseguiu que o rei português Dom João II (145- 1495) financiasse o projeto. O projeto foi financiado pelos Reis Católicos da Espanha (Isabel de Castela e Fernando de Aragão) no início de 1492. A expedição tinha três barcos: dois mais pequenos (caravelas) *Pinta* e *Niña* e um barco maior a Nau *Santa Maria* que partiram do porto de Palos de la Frontera em Espanha. Em 12 de outubro de 1492, Colombo chegou às ilhas Bahamas nas Américas.

Fig. 1 -Chegada às Américas.
Obra do pintor Ricardo Balaca (1844 - 1880)

O Ovo de Colombo

Os ovos têm várias formas: esférica, elipsoide, ovoide e piriforme (em forma de pera), mas estas formas têm um eixo maior, que dificulta o posicionamento do ovo na vertical. A designação Ovo de Colombo, remonta a uma lenda que envolve Cristóvão Colombo. Depois de descobrir a América, perguntaram a Colombo se tinha sido difícil fazer esta descoberta. Havendo ovos em cima da mesa, que partilhava com amigos, Colombo perguntou se algum dos presentes conseguia estabilizar o ovo na vertical. Como ninguém conseguia, com uma pequena pancada na mesa, Colombo, achatou a ponta do ovo, o que lhe permitiu equilibrar o ovo, mostrando que afinal existe uma solução que é simples depois de realizada e explicada.

O dínamo de Gramme

Em 1867, o inventor belga Zénobe Gramme (1826 – 1901), marceneiro, que não tinha qualquer formação científica avançada, mas tinha uma grande facilidade de execução de trabalhos manuais e que tinha feito trabalhos numa empresa de eletricidade, fez algumas melhorias sobre o dínamo do Professor Antonio Pacinotti (1841 - 1912) que tinha sido apresentado na Exposição Universal de Paris de 1867. Em outubro de 1871, Gramme patenteou um novo gerador eletromecânico de corrente contínua, o seu célebre dínamo de Gramme (Pat. US 120 057).

Gramme apresentou o seu dínamo/motor na Exposição Universal de Viena em 1873, obtendo um enorme sucesso que lhe granjeou um grande prestígio internacional.

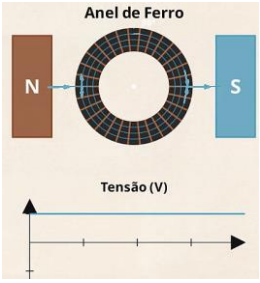


Fig.2 – A Bobina do dínamo de Gramme gera fem. constante em cada espira

O dínamo convencional gerava corrente alternada, que era convertida em corrente contínua por um sistema coletor de lamelas e duas escovas, mas o dínamo de Gramme gerava diretamente corrente contínua, ver na Fig. 2 e Fig. 3, o dínamo de Zobel Gramme / Breguet do Museu Faraday do IST (ouvir Podcast). Este dínamo, Fig. 3, tem o anel de ferro (1) sobre o qual é bobinado o enrolamento induzido (1), que lhe permite que todas as espiras gerem uma força eletromotriz, fem, constante, que

[1] **Ver entrevista com o historiador Manuel Rosa que se doutorou sobre este assunto.**

é recolhida por um comutador de lamelas (2) e por 2 escovas (3). No exemplo da Fig c) pode observar-se a geração de 5 V de tensão contínua, com uma pequena flutuação de amplitude.

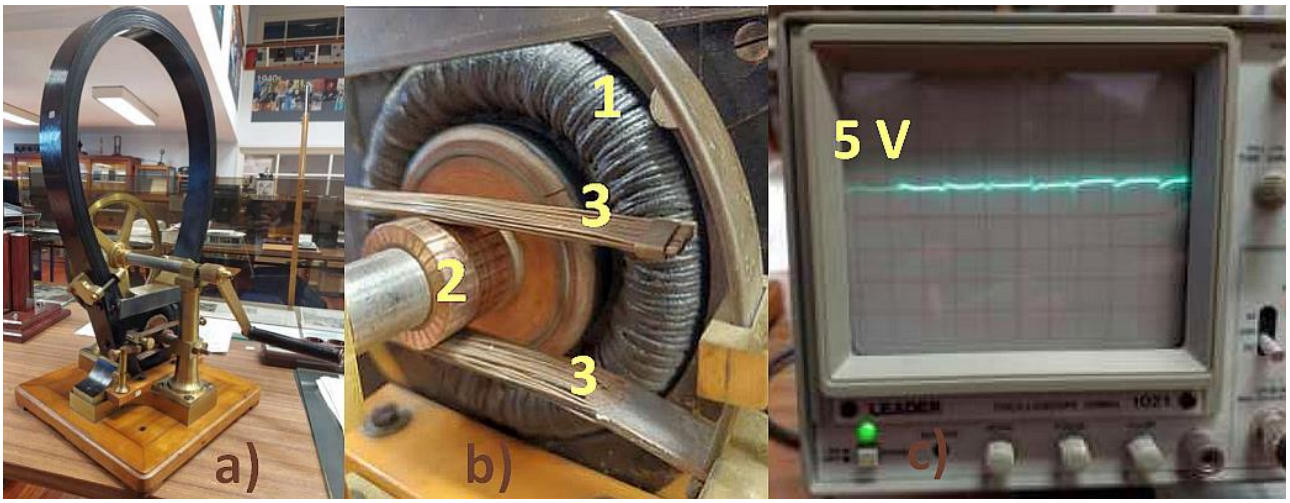


Fig 3 - Dínamo de Gramme/Breguet nº 100 (Museu Faraday). a) -aspeto geral, b) - detalhe do induzido e c) - tensão gerada.

Nikola Tesla e o trauma do dínamo de Gramme

Nikola Tesla (1856 - 1943), nasceu e foi criado no Império Austro-Húngaro, filho de Milutin Tesla (1819 - 1879), padre da Igreja Ortodoxa Sérvia. Milutin rapidamente notou as qualidades geniais do filho e entusiasmava-o intelectualmente com exercícios difíceis para que ele pudesse seguir a carreira religiosa. Milutin, mudou de ideias quando, em 1873, Nikola, ficou doente com cólera e esteve à beira da morte. Milutin prometeu-lhe que se ele recuperasse o deixaria estudar engenharia, o seu verdadeiro sonho. Assim aconteceu, em 1875, os pais de Nikola pagaram a inscrição e os estudos de Nikola, na prestigiada escola de engenharia da Universidade de Tecnologia de Graz, na Áustria. Nikola beneficiou, também, de uma bolsa de estudo.

Durante o seu 1º ano de estudos Nikola teve um desempenho de tal forma brilhante que o Reitor da Universidade escreveu a Milutin Tesla referindo-se a Nikola como “uma estrela brilhante”.

Em 1877, durante o 2º ano na Universidade de Graz, Nikola entrou em conflito com o seu Professor de Física Jacob Pöschl (1828 - 1907) a propósito da explicação do funcionamento do novo Dínamo de Gramme, que também funcionava como motor. Tesla refutava a ideia de que o comutador de lamelas era necessário. Depois desta discussão, em que foi ridicularizado pelo professor, Tesla começou a imaginar como seria possível realizar um motor sem a existência deste comutador.

No fim do ano 2º ano de estudos, Tesla passou um período conturbado tendo-se viciado em jogos e deixado de ir às aulas e aos exames. Perdeu a bolsa de estudo. No 3º ano, em 1879, devido ao jogo, perdeu as suas economias, envergonhado, escondeu-se da família e emigrou para Maribor (Eslovénia) onde trabalhou como desenhador, mas continuou viciado nos jogos.

Em março de 1879, Milutin descobriu o paradeiro de Nikola, mas não conseguiu que ele regressasse a casa. Nikola acabou por ser preso e ser expulso de Maribor por ser emigrante ilegal. Acabou por regressar a casa. No mês seguinte, abril de 1879, o pai morreu e Nikola, ficou muito perturbado, mas repensou a sua vida. Teve de ajudar a mãe a sobreviver, empregando-se como professor substituto na escola básica onde tinha estudado.

Em 1880, os tios de Nikola juntaram-se para financiar os estudos de Nikola na Universidade Charles-Ferdinand de Praga (Chéquia), mas o semestre letivo já tinha começado e Nikola frequentou-o, apenas como ouvinte.

Nikola deixou o jogo, recuperou a sua estabilidade mental, concentrou-se no autoestudo na biblioteca da Universidade e redefiniu os seus objetivos científicos. Tesla acabou a sua formação sem ter qualquer diploma[2].

Em janeiro de 1881, com o apoio dos tios, Tesla mudou-se para Budapeste onde começou a trabalhar como desenhador técnico na Central Telefónica, recentemente construída. Fez vários melhoramentos na Central e, rapidamente, foi nomeado Chefe dos Eletricistas. Tesla era um trabalhador incrível, mentalmente brilhante, mas acabou esgotado do ponto de vista nervoso, que o dotou de estranhas qualidades super-auditivas[3], que deixou os médicos atónitos. O amigo de Nikola, Anthony Szigety, teve um papel importante na sua recuperação nervosa de Nikola ao acompanhá-lo, de modo relaxado, em grandes caminhadas diárias.

Em fevereiro de 1882, Tesla, durante um dos passeios num parque de Budapest, com Anthony Szigety, recitava poemas do livro Fausto, de Johann Goethe (1808 - 1832) e, de repente, parou. Com um pau desenhou no chão, para o amigo, a ideia de um motor com corrente alternada de duas fases que poderia fazer-se rodar nos dois sentidos.

Tesla visualizou o funcionamento do que viria a ser a sua principal descoberta – o campo magnético girante criado por corrente alternada, que viria a resolver as ineficiências dos motores e dos dínamos da época.

Estava aberto o caminho para a criação do motor de indução e do sistema polifásico de transmissão de energia elétrica. Tesla viria a ser autor de cerca de 200 patentes das suas múltiplas invenções.

Tesla e a relação com Edison

No final de 1882, Tesla conseguiu um emprego na Continental Edison Company, CEC, em Paris. Esta empresa fundada em 1882 por Thomas Edison (1847 - 1931) e capitalistas franceses, divulgava as tecnologias de Edison na Europa, com especial enfase nas instalações de iluminação com lâmpadas incandescente e dínamos.

As capacidades criativas de Tesla chamaram rapidamente à atenção do responsável da CEC, Charles Batchelor (1845 - 1910), amigo de Thomas Edison, que propôs Tesla para trabalhar diretamente na empresa mãe nos EUA.

No dia 6 de junho de 1884, Tesla chegou aos EUA, já com emprego garantido na empresa Edison Machine Works e com excelentes referências relativas às suas capacidades, mas com poucos cêntimos de dólar no bolso.

Devido à diferença de personalidade entre Edison e Tesla, a relação entre eles degradou-se rapidamente. Tesla, tinha um raciocínio baseado no rigor matemático e físico; mentalmente estudava os problemas antes de abordar a sua resolução. Edison era um experimentalista empírico que resolvia os problemas pelo método de tentativa e erro, trabalhando até a exaustão com seus funcionários para os resolver.

Mas Edison aproveitou-se das capacidades de Tesla colocando-o a melhorar o desempenho de cerca de 20 dínamos da empresa, que tinham problemas. Se conseguisse, receberia um bónus adicional de 50 000 dólares. Talvez, aqui, Tesla devesse desconfiar da oferta pois esta quantia era equivalente ao salário de um bom engenheiro elétrico durante 25 anos. Mas Tesla levou a oferta a sério, redesenhou os dínamos e resolveu todos os problemas, trabalhando cerca de 18 horas por dia, até dezembro de 1884. Apresentou o trabalho, mas quando pretendeu receber o dinheiro prometido, disseram-lhe que a promessa era uma piada e que Tesla não tinha percebido o humor americano. Ofereceram-lhe um aumento de 10 dólares por semana, quando o seu salário já era de 18 dólares por semana[4]. Tesla sentiu-se enganado, rejeitou a oferta e demitiu-se da empresa.

---

[2] **Depois das suas notáveis invenções Tesla foi premiado com muitos títulos Honoris Causa, salientando-se o de Mestrado pela Universidade de Yale e o de Doutoramento pela Universidade Columbia de Nova Iorque em 1894 e, mais tarde, por muitas universidades europeias**

[3] **Tesla ouvia um relógio mecânico a várias salas de distância e os sons intensos provocavam-lhe dor.**

[4] **O salário médio, na época, era de 7 dólares por semana.**

A Tesla Electric Light & Manufaturing

Ainda em dezembro de 1884, Tesla não perdeu tempo e encontrou dois investidores Robert Lane e Benjamin Vail. Os três fundaram a Tesla Electric Light, na cidade de Rahway, Nova Jérsia, para desenvolver e instalar sistemas de iluminação por arco voltaico alimentados por corrente contínua em que Tesla introduziria melhorias fundamentais, nomeadamente no controlo automático dos dínamos e num sistema que impedia que a falha de uma lâmpada impedisse o funcionamento de todo o sistema de iluminação. A empresa teve lucros muito rapidamente, que Tesla queria aplicar na sua ideia da distribuição de energia em corrente alternada e no motor de campo magnético girante, áreas de negócio em que os sócios não acreditavam. No final de 1886, os sócios principais, donos do capital da empresa, pois Tesla apenas tinha ações por ter cedido à empresa as suas sete patentes (entretanto desenvolvidas na própria empresa), decidiram fechar a empresa e abrir uma nova (a Union County Electric Light & Manufacturing Company), sem a participação de Tesla. Tesla foi uma vez mais enganado, perdeu tudo, até o direito às patentes, tendo passado tempos muito difíceis.

Nikola Tesla, o escavador de valas

Entre 1886 e 1887, Tesla para sobreviver, aceitou ganhar dois dólares por dia como escavador de valas da empresa Western Union em Nova Iorque, um trabalho duro mas que era mais bem pago do que o salário que recebeu na sua chegada aos EUA. As valas destinavam-se a enterrar os cabos elétricos telegráficos e os de distribuição energia em corrente contínua, tecnologia em que Tesla não acreditava.

Embora tivesse um trabalho duro, Tesla mantinha a sua mente hiperativa. De noite, trabalhava as suas ideias sobre o campo magnético girante e a utilização da corrente alternada para transmitir energia à distância. Tesla era um cavador exemplar, o que chamou a atenção do capataz das obras. Durante as pausas no trabalho ou enquanto cavava, Tesla conversava com o capataz das obras, que tinha alguma curiosidade tecnológica. Tesla discutia de forma simples e apaixonada as suas visões sobre o futuro da eletricidade, os seus planos para realizar motores eletromagnéticos e sobre o enorme potencial da corrente alternada. O capataz percebeu que Tesla não estava no lugar certo e avisou o seu superior, o famoso engenheiro elétrico Alfred S. Brown, um dos responsáveis da Western Union. “Tenho um trabalhador nas valas que sabe mais sobre eletricidade do que a maioria dos engenheiros da cidade”.

A Tesla Electric Company

Depois de ser alertado pelo capataz das valas, sobre o “engenheiro cavador”, Alfred Brown, acompanhado pelo advogado e investidor Charles F. Peck, entrevistaram Nikola Tesla. Colocaram-lhe questões técnicas muito complexas e pediram-lhe ideias e soluções para os problemas que tinham proposto.

Tesla respondeu a tudo com clareza excecional, mas não se ficou por aqui. Num pedaço de papel, desenhou detalhadamente os esquemas do seu projeto do motor de indução a corrente alternada. Peck e Brown ficaram impressionados com Tesla, com a sua clareza mental e a genialidade do projeto que lhes apresentou.

Tesla já não voltou para as valas. Peck e Brown alugaram um espaço para implementar um laboratório de pesquisa para Nikola Tesla, no nº 89 da Liberty Street, em Manhattan, a poucas centenas de metros da famosa Pearl Street Station de Edison, seu antigo padrão. Brown e Peck financiaram a criação da empresa Tesla Electric Company em abril de 1887.

A empresa destinava-se a promover e desenvolver as ideias de Tesla que seriam consolidadas em patentes firmadas à prova de bala, através de advogados famosos, para que pudessem ser vendidas aos grandes colossos da indústria elétrica.

A empresa ficou propriedade de Tesla, de Brown e de Peck em partes iguais[5]. Tesla entrou com as ideias e o trabalho técnico, o único bem que tinha. Peck entrou com o capital financeiro inicial, a gestão de negócios e

[5] **O contrato é inovador pois atribuía aos inventores uma parte considerável dos lucros da empresa, o que não era habitual, na época.**

toda a blindagem jurídica e contratual. Brown ficou com a responsabilidade de tratar das instalações industriais e os contactos de promoção das ideias de Tesla com a indústria.

Segundo as afirmações de Tesla à revista Electrical Experimenter, em 1919, o mecanismo dos campos magnéticos girantes sobre um Ovo metálico, teria sido demonstrado num dos primeiros encontros com Brown e Peck em 1887.

Tesla - a mina de ouro

Os associados de Tesla eram homens de negócios muito experientes, o seu objetivo não era fabricar os motores, mas sim vender a tecnologia aos gigantes da indústria. Trataram de obter patentes incontestáveis e de valorizar a tecnologia ao máximo publicitando-a nas melhores revistas e na imprensa. Pensaram que Tesla poderia ser uma mina de ouro para os seus objetivos financeiros. E tinham razão.

Antes de mostrarem ao mundo as invenções de Tesla, Peck e Brown contrataram alguns dos melhores advogados de patentes de Nova Iorque. Eles sabiam que os concorrentes, incluindo Thomas Edison iriam contestar as invenções de Tesla em tribunal.

Ao longo de 1887, cada detalhe do sistema polifásico de corrente alternada e do motor de indução foram registados em patentes robustas, à prova de bala.

No dia 1 de maio de 1888, Tesla registou oficialmente as três patentes fundamentais para o sistema de distribuição de energia em corrente alternada e para o motor de indução, sem gastar um cêntimo. A patente US 381 968 descreve o motor de indução polifásico; a patente US 381 970 descreve como a energia alternada polifásica devia ser configurada e transmitida através da rede elétrica; a patente US 382 280 descreve como a corrente alternada pode ser enviada eficientemente a grandes distâncias.

Estas três patentes permitiram gerar, transportar e converter em trabalho mecânico, a corrente alternada de forma muito mais eficiente do que era feito com a utilização da corrente contínua, área dominada pelas empresas de Edison.

A divulgação e a venda das ideias de Tesla

Peck e Brown usaram os seus contactos para publicitar as invenções de Tesla, nas revistas de engenharia mais importantes da época. Em 16 de maio de 1888, organizaram uma palestra acompanhada de demonstrações entusiasmantes, no prestigiado *American Institute of Electrical Engineers* (AIEE, atual IEEE). Nesta sessão Tesla apresentou a palestra *"A New System of Alternate Current Motors and Transformers"* Este acontecimento foi muito divulgado na imprensa, tendo chegado ao conhecimento de George Westinghouse (1846 - 1914),

Westinghouse era um rico empresário proprietário da empresa Westinghouse Air Brake Company, que tinha fundado em 1869, e que liderava a tecnologia dos sistemas de travagem a ar dos comboios. Tcnologia que tinha substituído o perigoso emprego de um guarda freios por cada carruagem. Em 1886, Westinghouse fundou a Westinghouse Electric, dedicada principalmente no sistema de iluminação pública com corrente alternada, usando arcos voltaicos.

Nesta época já havia um crescente domínio de aplicação da corrente alternada em pequenos aglomerados habitacionais mais dispersos, onde a corrente contínua não resolvia o problema da distribuição à distancia, devido às perdas nos cabos. Com a corrente alternada e o uso de transformadores era possível trabalhar com tensões elevadas e reduzir as perdas nos cabos. George Westinghouse estava atento aos progressos da corrente alternada e foi um participante muito importante na chamada guerra das correntes.

George Westinghouse era um homem generoso, amigo dos seus funcionários, que pagava as patentes das invenções dos seus funcionários sem exigir participar nelas[6].

[6] **Westinghouse é autor de 361 patentes, ao contrário do seu futuro rival, Edison, que tinha 1093 patentes desenvolvidas pelos seus funcionários.**

Poucas semanas após a palestra de Tesla na AIEE, Westinghouse, percebeu que as ideias de Tesla eram a peça que lhe faltava para atacar o domínio e o monopólio da Corrente Contínua de Thomas Edison (1847 - 1931).

A Westinghouse, em julho de 1888, comprou as patentes da Tesla Electric Company pelo valor de $60.000 (uma fortuna na época, equivalente a 2,2 milhões de dólares em 2026), a divisão do dinheiro funcionou exatamente como tinha sido acordado. Tesla recebeu cerca de $20.000 em dinheiro líquido, além de ações na Westinghouse Electric e a garantia dos seus direitos de autor (royalties) individuais. Nestas royalties estava incluído um bónus de dois dólares por cavalo de potência dos motores de indução produzidos.

Tesla, o homem que um ano antes escavava valas auferindo o salário de 2 dólares por dia, tornou-se rapidamente num homem rico, que iniciou uma vida de luxo, mas continuou independente para investir nas suas invenções.

A magia do motor de indução

O motor de indução baseia-se na criação de um campo magnético rotativo através de uma parte estática do motor e na criação de força mecânica num rotor que não tem qualquer ligação galvânica com o estator, isto é, sem usar as tradicionais escovas mecânicas (comutadores elétricos) comuns nos motores de corrente contínua. Westinghouse comprou as patentes de Tesla em 1888.

O italiano Galilleo Ferraris (1847 - 1897) trabalhou em técnicas semelhantes às usadas por Tesla, tendo publicado alguns resultados entre 1885 e 1888, mas as primeiras patentes das ideias foram atribuídas a Tesla.

Ferraris construiu o primeiro motor em 1885 mas os resultados só foram publicados em 1888. Ferraris acabou por demonstrar um protótipo na Feira de Chicago de 1893, onde também seria apresentada a tecnologia de motor de campo girante desenvolvida por Tesla e que foi usada nos motores fabricados pela Westinghouse.

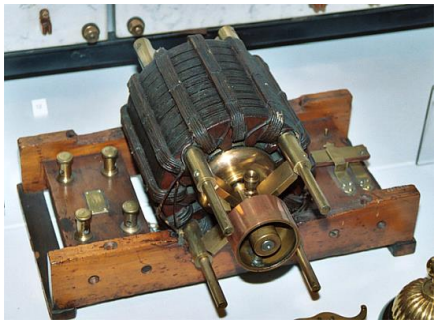


Fig. 4- Motor de indução de 1877 – 1878
Museu Britânico de Ciências, em Londres.

Em 1892, Tesla proferiu uma famosa palestra na Instituição de Engenheiros Elétricos e na Instituição Real da Grã-Bretanha, em Londres, tendo acabado por doar o motor representado na Fig. 4, ao professor inglês William Ayrton (1847 – 1908). Este motor agora faz parte da coleção do Museu da Ciência de Londres.

Através das patentes de Tesla, estava aberta a chamada guerra das correntes: AC, alternada da Westinghouse e DC, contínua de Edison.

A guerra das correntes

Por volta de 1870, nos EUA, começou a usar-se iluminação pública das ruas através de arcos voltaicos, associados em série a que era aplicada uma alta tensão alternada (cerca de 3 kV). Os arcos produziam uma luz cintilante, muito intensa, mas eram ruidosos, sujavam o ambiente e provocavam alguns incêndios. Os arcos não podiam ser usados em habitações por serem demasiado perigosos. Houve alguns acidentes mortais com os instaladores, o que foi logo aproveitado pelos negacionistas da corrente alternada, entre os quais estava Edison.

Em 1878, com os melhoramentos que Edison introduziu nas lâmpadas de filamento (ver história da lâmpada elétrica), passou a ser viável a iluminação de casas e de escritórios através de tensão contínua de 110 V.

A guerra envolveu as vantagens e inconvenientes do uso de cada uma das correntes, mas fundamentalmente envolveu problemas de risco para os utilizadores (ligeira vantagem para a DC), de distribuição em rede e na eficiência dos dispositivos elétricos: motores, lâmpadas, transformadores e contadores de energia, que veremos de seguida.

I -O transformador elétrico

O transformador elétrico desempenhou um papel fundamental na utilização da corrente alternada. Embora Michael Faraday (1781 - 1867) tenha feito, em 1830, experiencias baseadas na lei de indução, com o seu anel de Faraday ou bobina de indução (um transformador toroidal), as primeiras realizações práticas do transformador de indução, inicialmente chamado de "gerador secundário"[7], foram feitas pelo inventor francês Lucien Gaudard (1850 - 1888) e pelo empresário inglês John Dixon Gibbs (1833 - 1912). A empresa Gaudard & Gibbs fez uma demonstração do "gerador secundário" em 1881, em Londres, e em 1885 em Turim, Itália, tendo atraído a atenção de George Westinghouse.

Em 1885, o grupo de engenheiros húngaros Károly Zipernowsky (1853 - 1942), Ottó Bláthy (1860 - 1939) e Miksa Déri (1854 - 1938), conhecidos como Grupo ZBD, da empresa Ganz Works desenvolveram e comercializaram o primeiro transformador de corrente alternada (CA) toroidal, que era eficiente mas era muito caro de fabricar.

Em 1886, Tesla patenteou alterações ao transformador toroidal na patente US433702A, para funcionar em frequências mais altas e, mais tarde, iria usar este tipo de transformador no famoso Ovo de Colombo.

Na Westinghouse, o engenheiro William Stanley Jr.(1858 - 1916) pediu a George Westinghouse um transformador Gaudard & Gibbs e um alternador Siemens, importados da Europa, para iniciar experiências em corrente alternada. Westinghouse acabou por comprar as patentes do transformador.

Stanley melhorou muito os transformadores da Gaudard & Gibbs, que eram de núcleo aberto, e introduziu o formato de núcleo fechado de chapas E e I, o que aumentou muito a eficiência do transformador. Stanley é considerado o inventor / pai do transformador elétrico moderno.

II- As lâmpadas elétricas

Em 1879, Edison teve sucesso ao realizar as primeiras lâmpadas de filamento de carbono com alta resistência, que podiam ser ligadas diretamente a uma tensão contínua de 110 V. Edison construiu as lâmpadas, colocando os filamentos no vácuo, num invólucro de vidro selado. Em 1881, Edison patenteou as lâmpadas e os tipos de suporte de rosca E27 e E14 que ainda hoje são usados. 27 e 14 são os milímetros de diâmetro dos suportes.

A Westinghouse não tinha lâmpadas e pensava usar as lâmpadas fabricadas por Edison nos seus contratos de iluminação.

III- A distribuição de energia

Edison foi sempre fiel à corrente contínua, mas esta era difícil de transportar devido às perdas nos cabos. Edison tinha de ter dínamos localizados perto dos grandes centros de consumidores, mas este processo não era economicamente viável para alimentar pequenos agregados populacionais. Edison tinha um grande número de cientistas apoiantes e defensores da distribuição de energia em corrente contínua incluindo o célebre William Thomson, Lord Kelvin (1824 - 1907).

Em 1886, a Westinghouse começou a desenvolver sistemas de iluminação com corrente alternada de 500 V que, com transformadores elétricos era reduzida para 100 V, junto do utilizador. Em março de 1886, na Westinghouse, o engenheiro William Stanley Jr.(1858 - 1916) instalou **o** primeiro sistema experimental de distribuição de corrente alternada com vários níveis de tensão em Great Barrington, Massachusetts. Esta instalação foi nomeada como uma das IEEE Milestones. Houve alguns acidentes mortais com a tensão elevada de distribuição que levou Edison a publicitar a perigosidade da CA.

[7] **O termo "transformador" foi introduzido em 1885 pelos engenheiros húngaros Ottó Bláthy, Károly Zipernowsky e Miksa Déri (trio BZD) na empresa húngara Ganz Works, e foi registado numa patente de 1884.**

IV - A medida do consumo de energia

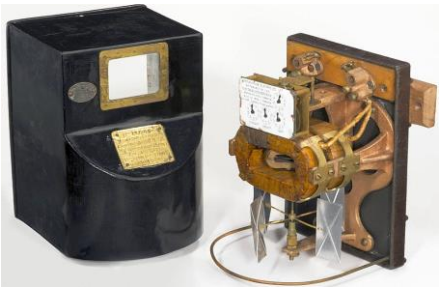


Fig. 5- Contador de Shallenberger
Museu Henry Ford, EUA.

Paralelamente, à rede de distribuição de energia AC a Westinghouse começou a produziu o medidor de energia consumida, Fig. 5, que tinha sido criado pelo seu engenheiro Oliver Shallenberger (1860 - 1898) que o patenteou em 1888 (Pat. US449003 A).

Por seu lado, Edison criou o contador de energia químico (webermeter) que era baseado nas leis de eletrólise de Faraday que tinham sido estabelecidas em 1834.

Fig. 6 - Contador Químico de Edison.
Museu Faraday.

Edison media o consumo de energia a partir da medição do peso das placas de uma célula eletroquímica por onde fazia passar uma fração da corrente consumida. Patenteou a ideia em 1880. No Museu Faraday do IST existe uma réplica do contador químico de Edison, Fig. 6. Este contador tinha vários problemas e Edison fez cinco patentes propondo melhorias deste tipo de contador de energia, sem nunca ter reduzido os erros de contagem a um valor aceitável.

Edison procurou rapidamente difundir e instalar redes de distribuição de corrente contínua na Europa, nomeadamente na Alemanha, em 13 de setembro de 1884. A "Companhia Municipal de Eletricidade de Berlim" (AG "Städtische Elektricitäts-Werke zu Berlin"), fundada em 1884, tornou-se na primeira empresa na Europa a fornecer eletricidade pública. Nesta instalação, Edison usou os seus dínamos, as suas lâmpadas de filamento e o seu contador químico. As queixas sobre a medição do consumo de energia cresceram rapidamente e deram oportunidade à introdução do contador eletromecânico de Hermann Aron (1845 - 1913) em meados de 1885. No Museu Faraday do IST existe uma unidade deste contador revolucionário.

EXPO de 1893 – a caminho da batalha final da guerra das correntes

Em 1 de maio de 1893 foi aberta a extraordinária Exposição Universal de Chicago, (World's Columbian Exposition), EXPO 1893, designada por Colombiana por se comemorarem os 400 anos da descoberta de Colombo do Novo Mundo.

Esta exposição introduziu algumas primeiras novidades mundiais, que davam logo nas vistas: como as duas gigantes atrações mecânicas: a primeira roda gigante e a primeira passadeira rolante (sidewalk) Fig. 7.

A roda gigante tinha 80m de diâmetro, foi designada por Ferries Wheel e foi concebida por George Ferries (1859 - 1896) um jovem e brilhante engenheiro civil. A roda era movida por duas máquinas a vapor, cada uma com a potência de 1000 cv.

A passadeira deslizante, *The Great Wharf Moving Sidewalk* tinha 1 km de comprimento e deslocava-se ao lado do lago Michigan. Tinha dois tapetes: um de baixa velocidade 3 km/h para pessoas em pé e outro, mais rápido, de 6 a 10 km/h para pessoas sentadas. O objetivo era transportar as pessoas que usavam barcos para visitar a EXPO. Este tapete deslizante foi baseado na patente de Alfred Speer, de 1871 e foi concebido pelo arquiteto Joseph Lyman Silsbee (1848 – 1913) e pelo engenheiro Max E. Schmidt.

Este tapete é um dos Record do Guiness. A passadeira era movida por cerca de 10 motores de corrente contínua, fornecidos pela General Electric, com cerca de 15 cv cada, distribuídos ao longo da passadeira

A iluminação da EXPO 1893

A iluminação elétrica era, também, uma novidade mundial pois tratava-se de iluminação pública num espaço gigante.

A empresa Westinghouse concorreu, contra a General Electric (fundada em 1892 com a participação da Edison

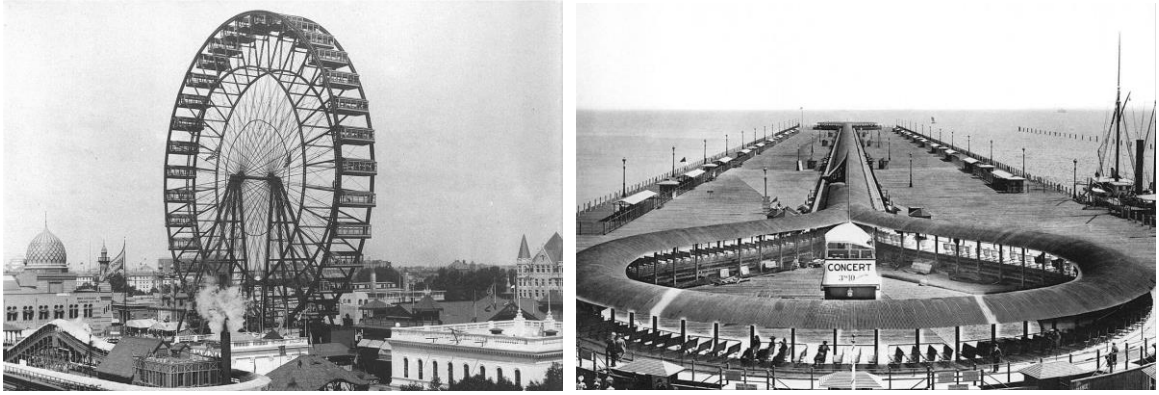


Fig. 7 – As duas novidades mecânicas mundiais da EXPO de 1893.

e da Thomson-Houston Electric Company), ao concurso realizado em 1892 para propostas dos sistemas de iluminação da Exposição.

A Westinghouse ganhou este concurso com uma proposta de cerca de 400 000 dólares, bem abaixo da proposta da General Electric de 554 000 dólares.

A Westinghouse aproveitou a EXPO de 1893 para esmagar tecnologicamente a concorrência, investindo nas suas instalações da feira que foram as mais apreciadas, Fig. 8.

Edison não gostou de perder o contrato e, sabendo que a Westinghouse não produzia lâmpadas, impediu que a Westinghouse pudesse adquirir as suas lâmpadas (as melhores da época).

Em menos de um ano antes da abertura da EXPO, a Westinghouse teve de desenvolver um novo tipo de lâmpada que fugisse aos conceitos patenteados por Edison. Criou a Stopper Lamp, uma lâmpada constituída por duas partes coladas e com contactos de baioneta, diferente dos contactos dos suportes E27 e E14 patenteados por Edison.

Westinghouse teve de improvisar rapidamente uma fábrica para produzir as 250 000 lâmpadas que precisava para abrir a EXPO de 1893, Fig. 9.

A Westinghouse instalou um grande conjunto de alternadores polifásicos constituindo a maior central de energia alternada do mundo. Esta central que produzia três vezes mais eletricidade do que toda a cidade de Chicago normalmente consumia.

Fig.8 - O espaço da Westinghouse na expo de 1893.

Fig.9 - A fabricação das lâmpadas "Stopper".

Esta central alimentava os grandes motores de indução, mas também o espetacular sistema de iluminação, nunca antes visto, que impressionou tanto os visitantes que a Exposição foi designada por Cidade Branca (White City), Fig. 10, ver vídeo.

Fig.10 – "The White City".

O sistema de iluminação foi concebido pelo engenheiro Charles F. Scott. O engenheiro James A. Lounsbury da Westinghouse localizou as lâmpadas de iluminação de modo inovador para a época. A luz artificial ficou subordinada à arquitetura, realçando a beleza dos edifícios sem se tornar óbvia ou intrusiva. O espaço da EXPO atingiu um esplendor nunca antes visto.

A iluminação foi feita por mais de 100 000 lâmpadas incandescentes "Stopper" produzidas pela Westinghouse fugindo às patentes de Edison. As lâmpadas "Stopper" duravam pouco tempo, mas a Westinghouse planeou um sistema de substituição tão eficiente que os visitantes nunca deram conta desta fragilidade.

A Exposição ficou célebre pois foi visitada por 27 milhões de pessoas durante 6 meses e os espaços da Westinghouse foram os mais impressionantes da Feira.

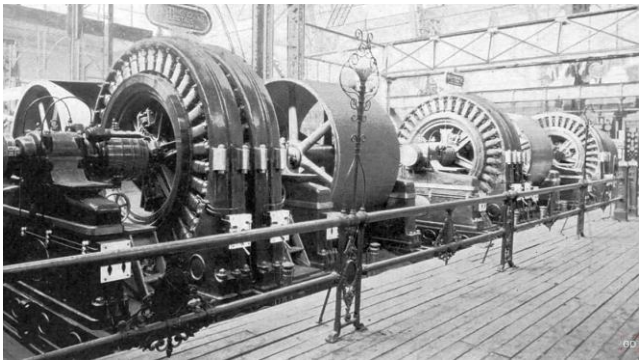


Fig. 11- Expo 1893- Sala da Maquinaria.

A grande novidade: o uso da corrente alternada

A Westinghouse instalou 12 alternadores de 1000 cavalos[8] cada um, usando o sistema polifásico de Nikola Tesla. Na época foi considerada a maior central elétrica de corrente alternada, Fig 11.

Os alternadores das maiores máquinas eram construídos por dois alternadores com o mesmo eixo, mas com o rotor desfasados de 90º para gerar a corrente bifásica, Fig 11. Cada alternador tinha associado um pequeno motor de indução que acionava um dínamo que, por sua vez proporcionava a corrente contínua que gerava o magnetismo inicial para que os alternadores funcionassem. Na Fig. 12 pode observar-se este conjunto num alternador mais pequeno (500 cv).

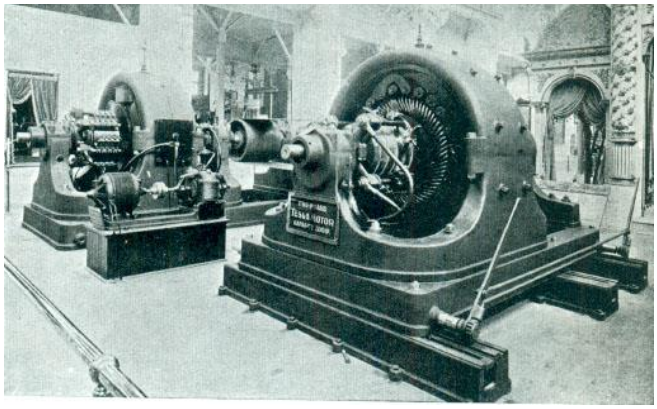


Fig.12- Alternador de 500 hp na expo de 1893.

A energia mecânica para acionar os alternadores era fornecida por 43 máquinas a vapor, com potências diversas, totalizando uma potência variável entre 18 000 cv e 30 000 cv.

O espetáculo de Nikola Tesla

Westinghouse criou um espaço de exposição das demonstrações de Tesla, que se tornou a atração mais concorrida da feira. Tesla era um mestre do espetáculo e apresentou várias demonstrações da "magia elétrica" aos visitantes.

[8] Um cavalo vapor (cv) são 735 W.

Tesla, entre 1887 e 1888, tinha preparado vários demonstradores, para apresentar aos futuros investidores. Os demonstradores incluíam motores de indução bifásicos preparados para ilustrar de forma visual e prática o funcionamento do campo magnético rotativo do motor de indução de corrente alternada. Entre estes demonstradores estava, também, o "Ovo de Colombo"[9], primeiro realizado em alumínio.

O "Ovo de Colombo" de Nikola Tesla.

Especificamente, para a Exposição Colombiana, Tesla criou um ovo em cobre que foi fabricado na empresa de George Westinghouse pelo engenheiro Charles F. Scott. O ovo era o rotor de um motor de indução também especificamente construído, Fig. 13. O estator deste motor tinha quatro enrolamentos (opostos 2 a2). Tesla sabia que só haveria campo magnético (rotativo), criado pelas bobinas, quando o núcleo de ferro saturasse.

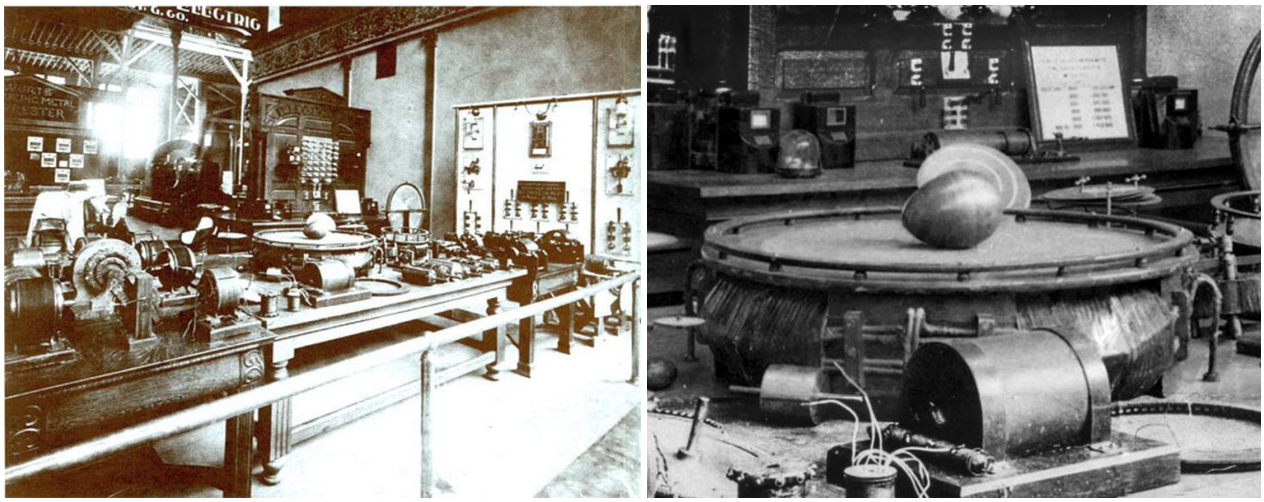


Fig.13 - Expo de 1893 - O espaço de demonstrações de Tesla e o Ovo em detalhe.

Os visitantes ao atuarem num interruptor elétrico acionavam o sistema e viam o ovo a começar a rodar e, devido ao efeito giroscópico, começar a elevar-se ficando a rodar em pé sobre a sua parte mais convexa. Como o ovo tinha a superfície muito polida, os visitantes nem se apercebiam de que ele estava a rodar.

Em março de 1919, a revista Electrical Experimenter publicou uma entrevista a Tesla e, na fotografia original, mas desconhecida, Fig. 12, podia-se observar o interior do Laboratório de Tesla situado na Houston Street. Nesta fotografia é visível o ovo sobre a mesa M, que tinha sido usado na EXPO de 1893. O ovo tinha um eixo maior com cerca de 12,5 cm e o diâmetro máximo de cerca de 10 cm. Na fotografia é visível uma bobina / antena gigante, B, que Tesla usava para fazer demonstrações de experiências de "Wireless Energy" destinadas a convencer investidores.

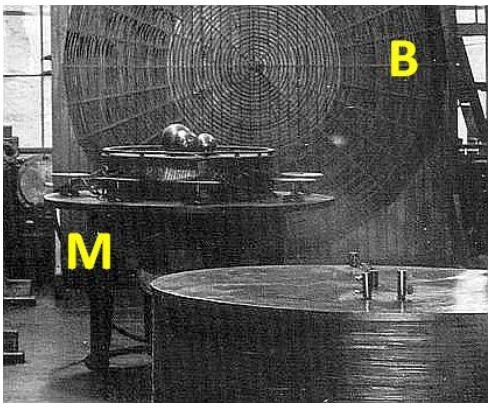


Fig.14- O ovo na mesa M e a bobina B de alta frequência (Electrical Experimenter, março de 1919)

Segundo Tesla afirmou à revista, no caso do Ovo de Tesla, na EXPO de 1893, tinha sido usado um gerador de corrente alternada bifásica de 200 cv para excitar a bobina com núcleo toroidal que tinha cerca de 60 cm de diâmetro.

[9] **Não confundir o Ovo de Tesla com o Ovo de Faraday.**

A frequência da corrente alternada podia ser variada ente 25 Hz e 300 Hz, mas o máximo efeito de rotação do ovo de alumínio verificou-se para uma frequência de cerca de 40 Hz.

A sala da magia da alta frequência

Na Expo de 1893, Tesla montou, também, uma sala propositadamente escura onde exibia a sua tecnologia mágica de energia sem fios (Wireless Energy) acendendo lâmpadas de várias cores, fosforescentes, fluorescentes e tubos de néon, dispositivos desligados de qualquer aparelho elétrico e que funcionavam com o campo eletromagnético próximo[10], Fig.-15. Tesla permitia que pequenas correntes resultantes de centenas de milhares de volts atravessassem o seu corpo para acender as lâmpadas nas suas mãos, provando à imprensa e aos investidores — que tinham sido assustados pela campanha de difamação de Edison de que a Corrente Alternada de Alta Frequência era segura. Pode ver aqui uma demonstração de transmissão de 20 W de energia, sem fios, realizada no IST.

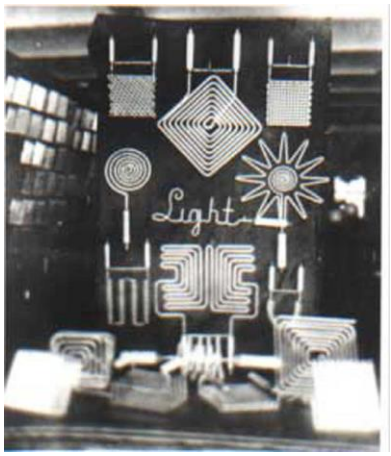


Fig.15- Exemplo de lâmpadas "Wireless" apresentadas em 1893 na sala escura.

O sucesso do pavilhão e da exibição da Westinghouse Electric Company na Exposição Universal de Chicago de 1893 foi o momento mais glorioso e decisivo da Guerra das Correntes.

A consagração de Nikola Tesla

A Westinghouse sempre teve a ação de valorizar as contribuições dos seus funcionários, mas na EXPO, dentro do pavilhão *Electricity Building*, o espaço da Westinghouse, Nikola Tesla que não era seu funcionário, foi o nome mais citado. Todas as máquinas elétricas, alternadores, motores, etc. tinham a etiqueta Tesla.

A aplicação industrial da corrente alternada.

Em 1893, havia uma discussão pública nos EUA, sobre se o aproveitamento hidroelétrico das cataratas Niagara Falls seria feito com geradores de corrente contínua, como Edison propunha, ou com geradores de corrente alternada como Westinghouse queria. As demonstrações efetuadas no pavilhão da Westinghouse na Expo Colombiana mostraram claramente qual seria o caminho a seguir – a corrente alternada.

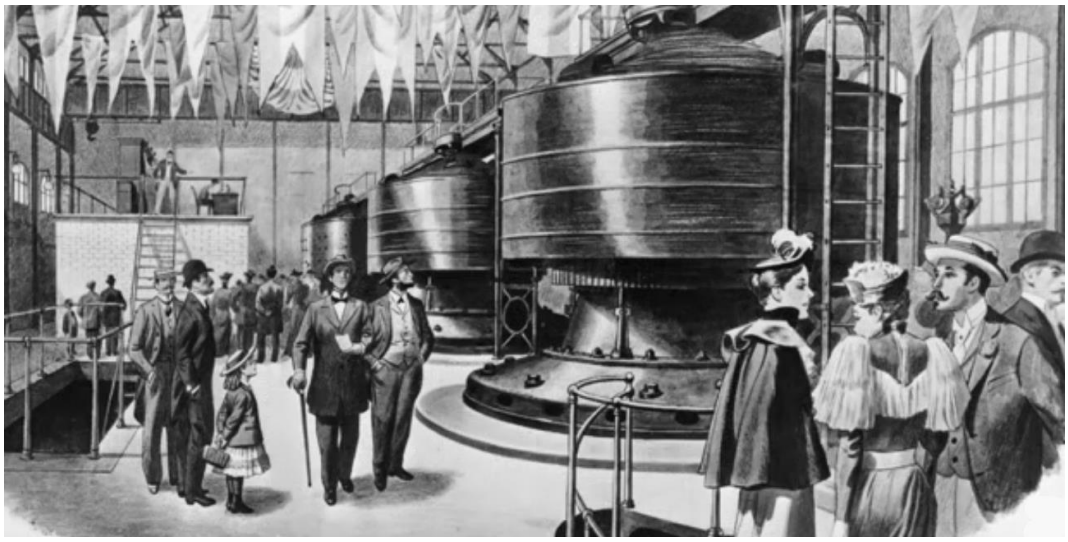


Fig. 16- Central Edward Dean Adams (1836-1931) Niagara Falls, inaugurada em 1895 com alternadores bifásicos Westinghouse.

[10] **Que hoje usamos nos carregadores sem contacto, cartões de RF ID, alimentadores de próteses embebidas no corpo humano, etc.**

Na central de Niagara, Fig. 16, inicialmente, foram instalados três alternadores Westinghouse que geraram corrente bifásica de 2200 V, 25 Hz, com a potencia de 3,75 MW cada alternador.

A ligação da central de Niagara Falls a Buffalo

Para provar que a corrente alternada podia ser transmitida a grandes distâncias, sem grandes perdas, contrariamente à corrente continua, que estava limitada a 1 a 2 km de distância, foi feita, em 16 de novembro de 1896, a primeira transmissão de energia entre a Central de Niagara Falls e a cidade de Buffalo, a cerca de 35 km de distância. O projeto envolvia a primeira transmissão em energia trifásica. Curiosamente, quem ganhou o contrato de realização desta linha de Alta Tensão (11 kV) foi a General Electric, GE, (de Edison), mas havia um problema -os geradores da Central produziam apenas corrente bifásica.

A General Electric usou transformadores para elevar a tensão bifásica de 2200 V para 11 000 V e converteram a energia bifásica em trifásica usando o sistema Scott-T inventado por Charles Felton Scott (1864 - 1944) da Westinghouse, usando 2 transformadores adicionais. Scott tinha divulgado o conceito antes de o patentear. Na receção foram usados os transformadores, com função inversa, de modo a obter a tensão de 2200 V, que depois era convertida para 110 V. Nesta transmissão de energia trifásica, a cerca de 35 km de distância, a eficiência energética total foi de cerca de 80%, constituindo um marco histórico assinalável. A General Electric pagou os direitos do sistema Scott-T à Westinghouse e estas empresas acabaram por colaborar.

A ativação da central hidroelétrica de Niagara Falls em 1895 e a transmissão de energia para Buffalo, em 1896, colocaram um fim definitivo na Guerra das Correntes, fixando a Corrente Alternada de Tesla como o caminho a seguir para a rede elétrica global moderna.

O fim da competição e o acordo de patentes

No final de 1886 corriam nos tribunais dos EUA cerca de 300 processos de litígio de patentes entre a General Electric e a Westinghouse, que dificultava a operação normal das duas empresas. Criaram um Conselho de Controle de Patentes que administrava o licenciamento das suas patentes entre as duas empresas. Isso permitiu que ambas competissem entre si sem o receio de infringir as patentes uma da outra.

A vida de Nikola Tesla pós-guerra das correntes

Com o dinheiro recebido da Westinghouse, Tesla iniciou um estilo de vida muito luxuoso, mas investiu também em infraestruturas científicas. Tesla mudou-se para o Hotel Gerlach e, mais tarde, para o lendário e luxuoso Waldorf-Astoria onde oferecia ricos jantares a entidades da alta finança e a figuras da cultura com as quais Tesla se comparava. Depois, oferecia-lhes uma visita aos seus laboratórios onde tinha preparado demonstrações entusiasmantes.

Tesla tinha aprendido a lição com a experiência vivida com Peck e Brown, que a ciência precisava de ser conhecida pelas pessoas mais influentes. Mas Tesla via o dinheiro como uma ferramenta para conseguir os seus objetivos e disponibilizou muita ajuda à família e a pequenos empreendedores na área da ciência.

As Reproduções do Ovo de Tesla

Há várias reproduções do dispositivo que estão em exibição em vários museus, como no Museu Nikola Tesla em Belgrado, no Centro Memorial "Nikola Tesla" em Smiljan , no Museu Técnico em Zagreb , no Museu de História da Croácia em Zagreb, no Museu Ampère em Lyon, França, no Museu Interativo de Ann Arbor em Ann Arbor, MI, e no Centro de Ciências Tesla em Wardenclyffe em Shoreham, NY.

Fig . 17- Exemplos de Réplicas do Ovo de Tesla.

A doença TOC - Perturbação Obsessiva-Compulsiva

Embora Tesla evidenciasse sinais de possuir esta doença, desde muito pequeno, a doença talvez tenha sido agravada por ter estado muito perto da morte em 1873, com cólera, e que o tornou o misófobo (obsessivo contra germes, que via em todo o lado). A doença agravou-se muito depois de 1917 e tornou-se visível publicamente, pois nalgumas tarefas, Tesla, para precaver certas proteções do corpo, determinou um conjunto de números de repetições de proteção, que acreditava ser ótimo para cada proteção. Tesla chegou ao ponto de, quando se sentava para comer num restaurante, cumprir o ritual de limpar o prato e os talheres 18 vezes seguidas, usando guardanapos.

Investigação de Tesla depois da Guerra das Correntes

1891 - Tesla demonstrou a iluminação sem fios por meio de indução de correntes de alta frequência durante uma famosa palestra no Columbia College, onde acendeu tubos de Geissler suportados nas suas mãos

1893 - Tesla apresentou publicamente as suas experiências na *St. Louis Electrical Exhibition*, detalhando a transmissão de energia e de sinais pelo ar através de campos eletromagnéticos.

1898 - O primeiro telecomando por rádio. Tesla criou o primeiro objeto (barco) telecomandado por rádio.

1901 – A Torre Wardenclyffe. Tesla iniciou a construção desta torre em Nova Iorque para demonstrar um sistema global de distribuição de energia e comunicação sem fios. O projeto acabou por ser abandonado por falta de financiamento, mas, provavelmente, nunca funcionaria.

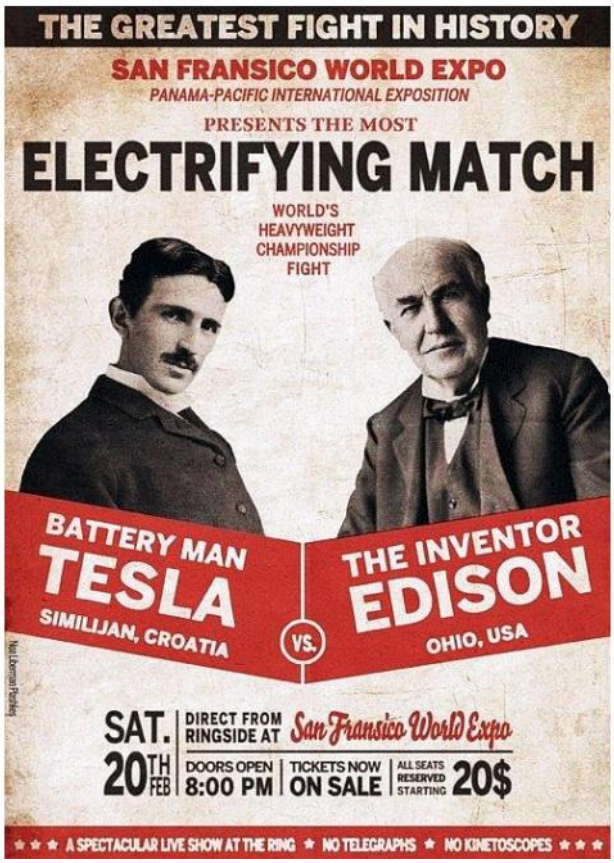
1905 - Sistema de Transmissão de Energia por Meios Naturais Patente: U.S. 787,412.

1909 - Turbina Tesla / Turbina Sem Lâminas, Patente U.S. 1,061,206

1920 - A Válvula Tesla (1920) Patente U.S. 1,329,559.

1928 - Aparelho para Transporte Aéreo / Aeronave VTOL (1928) Patente: U.S. 1,655,114.

1934 -.Teleforce - O "Raio da Morte que nunca foi patenteado nem realizado, mas que Tesla conseguiu vender aos soviéticos a ideia e os detalhes construtivos por 25000 dólares



Nota Final

Embora a Exposição de 1893 fosse claramente vitoriosa para a corrente alternada e para a Westinghouse, a competição entre os defensores das duas correntes, Tesla e Edison, levou a que continuassem a ser convidados para inúmeras sessões de discussão.

Destaca-se aqui, o debate entre os dois cientistas, podendo as pessoas assistir, pagando 20 dólares (cerca de 650 dólares de 2026), como aconteceu na Exposição Universal de São Francisco de 1915, em que não podiam ser usados nem telégrafos nem Kinetoscópios, para o conteúdo da discussão não sair da sala.

Tesla e o Ovo de Colombo (Podcast), criado por IA da Google
Tesla e o Ovo de Colombo (Vídeo da experiência no Museu Faraday) Criado com vídeos próprios e IA da Microsoft.