

# O Ensino da Tracção Eléctrica

na

## Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Manuel Vaz Guedes



**O ensino das matérias que constam do programa da disciplina de Tracção Eléctrica há muito tempo que é realizado pelas Escolas que, na cidade do Porto, promoveram uma formação técnica superior para os engenheiros empregues na Indústria e nos Serviços: iniciando-se em 1898 na Academia Politécnica do Porto, teve continuidade nas faculdades da Universidade do Porto — na Escola de Engenharia Anexa à Faculdade de Ciências, na Faculdade Técnica e na Faculdade de Engenharia (FEUP) <sup>1</sup>.**

No ano de 1879, pela primeira vez, circulava na Exposição Industrial de Berlim uma pequena composição ferroviária eléctrica. Um conjunto de bancos com rodas era movido sobre carris por um tractor dotado de um motor eléctrico de corrente contínua. Este primeiro sistema público de Tracção Eléctrica transportava 18 passageiros e atingiu uma velocidade de 12 km/h.

**Na cidade do Porto competia à Academia Politécnica desde 1837 professor os estudos técnicos superiores. Criada esta Academia com grandes constrangimentos administrativos ao desenvolvimento do ensino, pôde, apesar disso, organizar cursos de Engenharia de Obras Públicas, de Engenharia de Minas e de Engenharia Industrial.**

O primeiro serviço público de transporte com carros eléctricos, foi criado perto de Berlim no ano de 1881: foi a Linha de Gross–Lichterfeld com a extensão de 1,2 km. A partir daqui foram electrificadas outras linhas de transporte público ferroviário e em 1891 totalizavam já 241.

**Na Academia Politécnica do Porto desde 1889 que se procurava fazer evoluir o ensino por supressão de cadeiras que não eram frequentadas pelos alunos. Depois de grande canseira, foi possível criar a cadeira de Tecnologia Industrial, onde se iniciou o ensino da Electrotecnia porque “...a importância crescente das aplicações da**



<sup>1</sup> Este texto resulta da revisão do ponto 1.1 da publicação: Manuel Vaz Guedes; “*A Disciplina de Tracção Eléctrica*”, FEUP 1991.

electricidade torna urgente a sua introdução no quadro das matérias do ensino...”. Foi no ano lectivo de 1897–1898 que se iniciou na Academia Politécnica do Porto o ensino da 17ª cadeira Tecnologia Industrial. No ensino da disciplina, cujo programa compreendia apenas a Electrotecnia, foi adoptado pelo lente Doutor José Pedro Teixeira o livro de Éric Gérard “*Léçons sur L’Électricité*” com um capítulo sobre Tracção Eléctrica <sup>2</sup>.

**José Pedro Teixeira (1857–1925)**

Doutorado em Ciências Matemáticas pela Universidade de Coimbra, publicou vários trabalhos de Matemática e alguns trabalhos de divulgação de Electrotecnia Teórica. Foi lente proprietário da cadeira de Física Matemática, a partir da criação em 1911 da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.



Mas, o ensino da Tracção Eléctrica na Academia Politécnica do Porto iniciava-se quando já circulavam carros eléctricos, em exploração comercial, na cidade do Porto. Em 12 de Setembro de 1895 <sup>3</sup> tinha sido inaugurada a electrificação da Linha da Restauração, que passava na rua situada no lado poente do edifício da Academia.

À forma célere como as inovações tecnológicas foram adoptadas pela sociedade portuense não era alheia a influência dos docentes e do ensino ministrado na sua Academia Politécnica. Numa época em que pelas cidades da Europa e da América se desenvolviam as primeiras linhas de carros eléctricos, no Porto a Companhia Carris de Ferro, de 1895 até 1904, substituiu a tracção animal ou a vapor, pela tracção eléctrica, em todas as suas linhas de transporte destinadas a servir “a cidade e arrabaldes” <sup>4</sup>. Existem no espólio da Biblioteca da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP) os livros — Carl Hering, “*Recent Progress in Electric Railways*”, 1892; A. Reckenzaun, “*Electric Traction on Railways and Tramways*”, 1892.

No estrangeiro para além da instalação de linhas de carros eléctricos em muitas cidades, tinham surgido, em França e em 1900, as duas primeiras linhas de caminho de ferro electrificadas; fora experimentada, na Alemanha e em 1903, uma automotora com alimentação por um sistema trifásico de tensões; e tinha circulado, na Suíça e em 1904, a primeira locomotiva alimentada em corrente alternada monofásica de frequência reduzida.

Depois de em 1911, o primeiro governo da república ter criado a Universidade do Porto, onde anexa à Faculdade de Ciências existiu a Escola Superior de Engenharia, por acção dos seus docentes e dos representantes da cidade foi em 1915 criada, pela lei nº 410, a Faculdade Técnica, com autonomia própria. Nessa lei (Art. 77, §1º) foi imposta a divisão dos cursos de engenharia em: Civil, Minas, Mecânica, Electrotécnica e Químico-Industrial.



<sup>2</sup> Manuel Vaz Guedes; “*Ensino da Electrotecnia na Academia Politécnica do Porto*”, Boletim Informativo da FEUP, nº 7, II Série, pp. 4–5, Julho/Setembro de 1997

<sup>3</sup> Manuel Vaz Guedes; “*Porto 1895 — A Electrificação da Linha da Restauração*”, ELECTRICIDADE, nº 327, pp. 271–274, Novembro 1995

<sup>4</sup> Diogo Pacheco de Amorim; *A Companhia Carris de Ferro do Porto*, Coimbra, 1965

Nesses anos, das primeiras décadas do século vinte, eram professores da 3ª Secção (Mecânica e Electrotecnia) da Faculdade Técnica os Professores Thomaz Joaquim Dias (máquinas térmicas) que simultaneamente <sup>5</sup> era administrador da Companhia Carris de Ferro do Porto, e Luiz Couto dos Santos (máquinas eléctricas) que simultaneamente era o Engenheiro Chefe da Central Termoeléctrica de Massarelos daquela Companhia, de que era autor do projecto <sup>6</sup>.

***Luís Couto dos Santos (1872–1938)***

Engenheiro Civil de Obras Públicas pela Academia Politécnica do Porto (1894). Trabalhou como engenheiro na empresa que distribuía a energia eléctrica para iluminação da zona central do Porto, e depois trabalhou numa empresa de construção “A Construtora” dedicada ao projecto e à construção de edifícios urbanos, instalações de iluminação e de tracção eléctrica. Em 1901 fundou uma fábrica modelo movida a electricidade “A Electra” que produzia material hospitalar. No âmbito da Electrotecnia foi director dos Serviços de Exploração da Companhia Carris de Ferro do Porto, onde em 1909 projectou a estação central geradora de Massarelos, tendo em 1912 refeito o projecto (5 MW) e acabando a Central por ser inaugurada em 1915, sendo o Eng. Luís Couto dos Santos nomeado seu Engenheiro-Chefe. Salienta-se também a forma como resolveu o problema da passagem dos carros eléctricos sobre o tabuleiro superior da ponte de D. Luís I. Em 1915 o engenheiro Luís Couto dos Santos iniciou a sua actividade docente na Faculdade Técnica da Universidade do Porto, da qual foi professor ordinário e Director de 1919 até 1926, altura em que foi nomeado director do Laboratório Electrotécnico. Depois de criada a Faculdade de Engenharia (1926) foi professor catedrático e Director da Faculdade (1935–1936). Foi regente das disciplinas de Electrotecnia Geral (18ª Cadeira) onde estava incluído o estudo da Tracção Eléctrica, e da disciplina de Máquinas Eléctricas (17ª Cadeira).



Datam destes anos muitas dos livros sobre Tracção Eléctrica que se encontram na Biblioteca da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, como espólio das Bibliotecas da Faculdade Técnica e de antigos docentes, como os livros dos Professores Thomaz Dias e Couto dos Santos.

Numa fonte escrita <sup>7</sup> é possível encontrar referência a outros factos significativos, como o são: o ensino da disciplina de caminhos de ferro nos cursos de engenharia Civil, Minas e Mecânica; a presença entre o corpo docente do 3º Grupo (Mecânica e Electrotecnia) de um 1º assistente João Taveira Gonçalves, que era engenheiro dos Caminhos de Ferro do Estado; e da alimentação pela “Central dos tramways”, em corrente contínua, 500 V, da Secção de Máquinas Eléctricas do Laboratório de Electrotecnia, situado no edifício da Academia Politécnica na zona da Cordoaria.

Nesta fase, o ensino das diferentes matérias que hoje estão englobadas na disciplina de Tracção Eléctrica estava disperso por diversas outras disciplinas:



<sup>5</sup> XVI Congrès International de Tramway et Chemins de Fer d' Interêt Local; *Comptes-Rendus*, Bruxelles, 1910

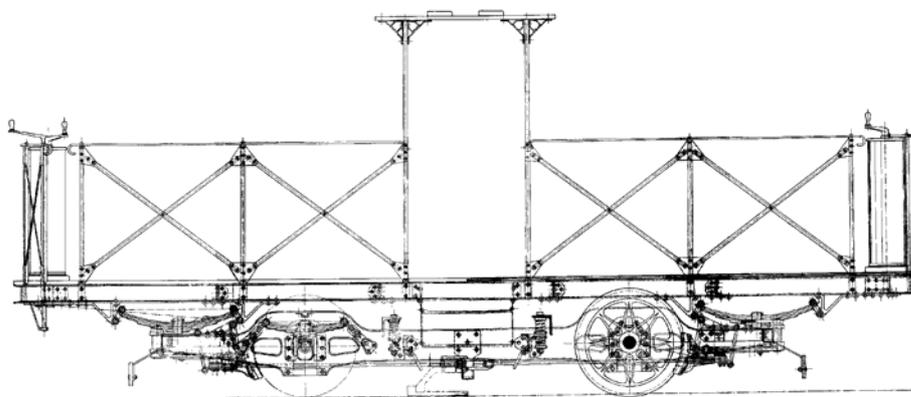
<sup>6</sup> Manuel Vaz Guedes; “1924 — A Estação Central Geradora de Massarelos”, 2º Encontro do Colégio de Engenharia Electrotécnica, Ordem dos Engenheiros, Lisboa 1995

<sup>7</sup> Universidade do Porto, *Faculdade Técnica — resumo histórico - organização*, Porto, 1922

Caminhos de Ferro, Máquinas Eléctricas<sup>8</sup>, Electricidade Aplicada. Como fazia parte do curso um estágio (ou missão) de 6 meses, frequentemente, esse estágio era feito na central geradora ou nas oficinas da Companhia Carris de Ferro do Porto e versava assuntos de carácter eléctrico e mecânico.

Entretanto, a evolução da Tracção Eléctrica tinha sido grande. Muitas companhias de exploração do serviço de transportes públicos com carros eléctricos (tramways) tinham-se desenvolvido pelo mundo fora, e eram lucrativas. Nesta altura apareceram os sistemas de tracção eléctrica com alimentação em corrente alternada de frequência industrial, e atingiu o seu auge, em Itália, a alimentação em corrente alternada trifásica, com 1 120 km de via férrea electrificada.

No ano de 1923 a Faculdade Técnica fez uma consulta à empresa alemã Siemens Schuckert sobre o fornecimento de um carro eléctrico e do material para uma linha aérea de alimentação em energia, porque se pretendia criar uma linha de ensaio de via dupla com 60 m de percurso útil, sendo uma das vias alimentadas por um fio condutor aéreo e destinada à movimentação de um carro eléctrico, enquanto que a outra via paralela era alimentada por uma catenária com suspensão múltipla. O carro eléctrico era constituído por um chassi com uma plataforma cercada por uma protecção simples; no meio da plataforma estava previsto um tablado elevado sobre o qual seria montado o trólei. O carro eléctrico seria accionado por dois motores de corrente contínua, de 37 kW, modelo Siemens controlados a partir de dois combinadores colocados nas duas extremidades da plataforma<sup>9</sup>.



Nos últimos anos de existência da Faculdade Técnica na 20<sup>a</sup> cadeira — Electricidade Aplicada — existia um capítulo extenso sobre Tracção Eléctrica. Era regente da disciplina o Professor Miguel Luiz Machado Guimarães, engenheiro mecânico pela Escola Politécnica de Zurique.

Nos apontamentos para a cadeira de Electricidade Aplicada<sup>10</sup>, coligidos pelos alunos em 1924–1925 e policopiados, pode-se analisar o programa (ver Apêndice) e o método de ensino das matérias de Tracção Eléctrica que integravam aquela cadeira:

<sup>8</sup> Universidade do Pôrto, Faculdade Técnica — programas das cadeiras para o ano lectivo de 1921-1922, Porto, 1921

<sup>9</sup> Manuel Vaz Guedes; “Um Carro Eléctrico para as Aulas Práticas”, Boletim Informativo FEUP, nº3, II Série, pp. 4–5, 1996

<sup>10</sup> Miguel Machado; “Lições de Electricidade Aplicada (20<sup>a</sup> cadeira)”, coligidas pelos alunos do curso 1924-25, Faculdade Técnica

- essencialmente o programa cobre as soluções electrotécnicas para o problema mecânico da tracção, assim como alguns aspectos de construção, controlo e regulação de máquinas eléctricas;
- é dada importância ao problema do anteprojecto da electrificação de uma linha de transporte;
- o texto é baseado na consulta de livros contemporâneos citando exemplos retirados de revistas técnicas, e
- a forma de exposição é ligeira, com um tratamento racional e com a utilização de um tratamento qualitativo ou quantitativo perfeitamente adaptado à matéria em estudo.



Em Portugal, onde em 1901 tinham começado a circular os carros eléctricos na cidade de Lisboa, surgiram também transportes colectivos electrificados, em Sintra (1903), em Coimbra (1911) e em Braga (1913). Estas electrificações estavam dotadas de central geradora própria, e tinham serviços de reparação e de manutenção dos carros eléctricos. Em 1914 e 1915 procedeu-se à electrificação de alguns elevadores (tracção por cabo) de Lisboa. De 1924 a 1926, faz-se a electrificação, em corrente contínua com uma tensão de 1500 V, da linha de caminho de ferro em via dupla Lisboa–Cascais.

No ano de 1926 é alterado o nome de Faculdade Técnica para Faculdade de Engenharia <sup>11</sup>, e na lei orgânica desta Faculdade verifica-se que a disciplina de Caminhos de Ferro pertence ao 2º Grupo de disciplinas (Estradas e Caminhos de Ferro) e que Máquinas Eléctricas (corrente contínua e corrente alternada) e Electricidade Aplicada 1ª parte e 2ª parte pertencem ao 6º Grupo (Electrotecnicia). Verifica-se, também, através da constituição dos cursos, que a disciplina de Caminhos de Ferro era ministrada ao curso de engenharia Civil e era uma disciplina semestral do curso de Engenharia de Minas e do curso de Engenharia Mecânica.

As disciplinas de Máquinas Eléctricas tinham informação sobre matérias de tracção eléctrica, e em Electricidade Aplicada 1ª parte existia um capítulo extenso sobre tracção eléctrica; havia, também, um estágio escolar de trinta dias em cada um dos três anos lectivos professados na Faculdade de Engenharia, o que continuava a ser realizado, por muitos alunos, na Companhia Carris de Ferro do Porto.

Mas, no estrangeiro continuava o desenvolvimento da Tracção Eléctrica, registando-se como factos significativos, nesta época: a entrada em funcionamento, em 1932, das primeiras locomotivas diesel-eléctricas em França; e, em 1933, entraram em serviço as primeiras automotoras diesel-eléctricas. Nesta época começaram os estudos para o desenvolvimento das locomotivas do tipo B'B'.

Em 1935 é publicado um Regulamento da Faculdade de Engenharia <sup>12</sup>, que sob o aspecto curricular não altera os cursos professados, a distribuição das disciplinas por

<sup>11</sup> Decreto nº 18739: *Organização da Faculdade de Engenharia*, Separata da Revista da Faculdade de Engenharia, nº1, Junho de 1932

<sup>12</sup> *Regulamento da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Decreto nº 24966)*, Porto, 1936

grupos, nem a distribuição das disciplinas nos cursos. No entanto, nestes anos era grande a relação e a influência recíproca da Faculdade de Engenharia e da Companhia Carris de Ferro do Porto, porque eram simultaneamente Professores da Faculdade e Técnicos Superiores da Companhia: os Professores Rodrigo Sarmiento de Beires e Manuel Corrêa de Barros.

O Professor Rodrigo Sarmiento Beires, doutor em Ciências Matemáticas pela Universidade do Porto e Engenheiro Electrotécnico pela Universidade de Liège, foi professor da secção de Matemática da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, mas regeu na Faculdade de Engenharia a disciplina de Electricidade Aplicada I, foi o Engenheiro-Chefe da Central de Massarelos da Companhia Carris de Ferro do Porto.

O Professor Manuel Corrêa de Barros, que a partir de 1942 passou a Professor do 6º Grupo da Faculdade de Engenharia <sup>13</sup>, viria a ter uma grande influência no desenvolvimento deste Grupo. Este Professor, que desde 1930 até 1942, regera os trabalhos práticos da disciplina de Caminhos de Ferro do 2º Grupo (Estradas e Caminhos de Ferro), ao passar para o 6º Grupo (Electrotecnicia) ficou incumbido da regência da disciplina de Máquinas Eléctricas de Corrente Contínua, ao tempo, as máquinas eléctricas predominantemente utilizadas em tracção. De 1931 a 1945 trabalhou como engenheiro da Central de Massarelos da Companhia Carris de Ferro do Porto. Nesta central térmica, alimentada pelos carvões de S. Pedro da Cova, era produzida a energia eléctrica utilizada pela rede dos carros eléctricos, que então eram o meio de transporte colectivo urbano e suburbano.

#### *Manuel Corrêa de Barros Júnior (1904-1991)*

Licenciado pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em Engenharia Civil (1928) e em Engenharia Electrotécnica (1929), obteve o grau de Doutor em Engenharia Electrotécnica (1942), tendo sido contratado como Professor Catedrático do 6º Grupo (Electrotecnicia). Regeu as disciplinas de Electrotecnicia Teórica, Medidas Eléctricas, Máquinas Eléctricas e Aplicações de Electricidade.



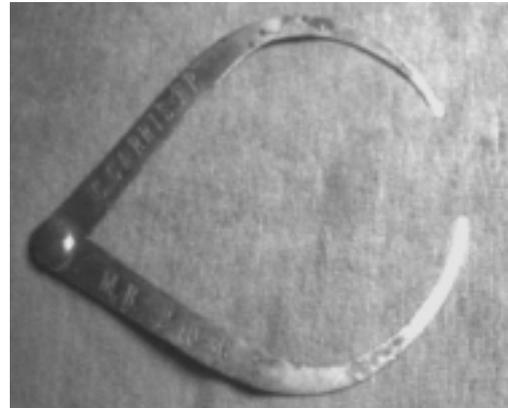
Durante os anos de 1931 a 1945 trabalhou como engenheiro na Central de Massarelos da Companhia Carris de Ferro do Porto, numa época difícil que abrangia a II Guerra Mundial (restrições e racionamento) e em que foi necessário concretizar o aumento da capacidade da central termoeléctrica e depois adaptá-la à queima dos carvões nacionais (de má qualidade).

Em Junho de 1945 começou a trabalhar como engenheiro electrotécnico para empresas produtoras de porcelanas eléctricas, onde, numa colaboração que manteve até ao fim da vida, notabilizou-se no desenvolvimento dos isoladores, que sendo fabricados em Portugal, foram, também, uma peça estrutural importante da Electrificação Nacional. <sup>14</sup>

<sup>13</sup> Manuel Vaz Guedes; “O Prof. Manuel Corrêa de Barros”, Boletim Informativo da FEUP, nº 15, Série II, pp. 4-5, Julho 2000

<sup>14</sup> Coincidindo uma aula teórica de Tracção Eléctrica com a data em que o Professor Manuel Corrêa de Barros faria cem anos — 07 de Outubro de 2004 — foi evocada a sua memória com o texto transcrito na folha semanal nº 5 da disciplina de Tracção Eléctrica do ano lectivo 2004/2005.

Continuaram a realizar-se estágios escolares na Companhia Carris de Ferro do Porto (CCFP). Alguns estágios tinham carácter oficial, realizando-se peças ou instrumentos como os compassos de medida apresentados nas fotografias seguintes (estágio de Manuel Bacelar, 3-10-1936).



Em 1942, um tema de Tracção Eléctrica é apresentado numa dissertação [MCB-1] para doutoramento em Engenharia Electrotécnica na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Manuel Corrêa de Barros; *Os Comprimentos Virtuais dos Caminhos de Ferro Eléctricos*.

Verifica-se, assim que nestes anos, década de trinta e de quarenta do século vinte, as matérias de Tracção Eléctrica tinham o ensino disperso por vários Grupos de disciplinas 2º e 6º; e que no 6º Grupo embora o ensino fosse disperso, havia influência dos temas de Tracção Eléctrica na orientação de várias disciplinas, através da experiência profissional dos seus regentes. Continuando obrigatórios os estágios anuais, nos meses de Agosto e de Setembro, alguns alunos continuavam a realizá-los nas Oficinas e na Central de Massarelos da Companhia Carris de Ferro do Porto CCFP, que em 1946 passou a Serviço de Transportes Colectivos do Porto, STCP.



Na cidade do Porto a rede de transportes colectivos com carros eléctricos tinha evoluído em extensão, estabelecendo ligação entre a zona central (Praça) e as povoações da periferia, através das principais saídas da cidade. Para além da evolução da Central Geradora de Massarelos — arranque em 1915, ampliação e renovação em 1931 — foi acompanhada a evolução do fabrico de carros eléctricos tendo sido adquiridos diferentes modelos, com diferentes capacidades e especificidade: “risca ao meio” em 1903, U. E. Car 1925, Brill 1928 a 1945, Famillieureux 1929. Foram construídos alguns carros nas Oficinas da CCFP — carros CCFP e fechados 1946 <sup>15</sup>.

No início da década de cinquenta é publicada uma separata do Anuário <sup>16</sup> da Universidade do Porto que contem os programas das disciplinas da Faculdade de



<sup>15</sup> Dos diversos carros eléctricos da rede da Porto existem exemplares funcionais no Museu do Carro Eléctrico da Sociedade de Transportes Colectivos do Porto, Massarelos. Nas cidades de Coimbra e de Lisboa existem também Museus que expõem veículos de transporte público com tracção eléctrica.

<sup>16</sup> Universidade do Porto Faculdade de Engenharia; *Programas*, Porto, 1952

Engenharia. Constata-se que a disciplina Caminhos de Ferro, que é anual para os alunos de Engenharia Civil e semestral para os alunos de Engenharia Mecânica e de Engenharia de Minas, possui uma referência específica a tracção eléctrica assim como aos diferentes sistemas de corrente eléctrica. Apesar de nos programas das disciplinas do curso de Engenharia Electrotécnica não haver uma referência específica à tracção eléctrica, as diversas matérias eram referidas, a título de exemplo, ou como expressão da experiência profissional pessoal dos docentes.

Nesta altura começavam a ter grande divulgação os sistemas de tracção eléctrica em corrente alternada monofásica, de frequência reduzida, ou de frequência industrial. Existe um vasto conjunto de artigos nas revistas da especialidade, como *La Revue des Chemins de Fer*, ou das empresas fabricantes.

Em 1955, são publicados os novos planos dos cursos de engenharia <sup>17</sup>, decreto nº 40378 de 14/XI/1955, que na sequência de uma grande introdução doutrinária, apresentam ligeiras alterações aos planos dos cursos de Engenharia Electrotécnica que se consubstanciam na possibilidade de opção de disciplinas no 6º ano; o que assinala o começo da separação em Correntes Fortes e Correntes Fracas. Continuam as diferentes disciplinas, anual e semestrais, de Caminhos de Ferro para os diferentes cursos, passando a disciplina do 6º ano de Engenharia Mecânica a optativa relativamente a uma disciplina da especialidade.

Nesta década de cinquenta, é estabelecido, em 1955, o recorde de velocidade para uma locomotiva eléctrica, 331 km/h. Em Portugal, e em 1953, são lançadas as primeiras encomendas para o material motor e para as instalações fixas das linhas Lisboa-Sintra e para o troço Lisboa–Entroncamento, como 1ª fase da electrificação da linha do Norte dos Caminhos de Ferro Portugueses.

A electrificação da principal linha de via férrea em Portugal, cuja primeira fase foi inaugurada em 1957, traduz um marco significativo para o ensino da Tracção Eléctrica. A propaganda política em torno do acontecimento, e algumas soluções inovadores sob o aspecto técnico e a nível da intervenção da indústria nacional, como o “*Groupement 50 Hz*”, permitiram que esse trabalho de fomento tivesse um grande impacto no universo da Engenharia Electrotécnica portuguesa <sup>18</sup>.

No ano lectivo de 1956–1957, em edição da revista “*Engenharia*”, foram publicados os apontamentos para a disciplina de Aplicações de Electricidade II (6º ano; optativa) segundo as lições do Eng. Francisco Velez Grilo, então docente do 6º Grupo (Electrotecnia) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto <sup>19</sup>. Esta publicação (ver Apêndice) mostra que:

- a orientação do programa e a selecção das matérias é influenciada pelo antigo texto do Prof. Miguel Machado, apesar de ser dado um maior realce a



<sup>17</sup> M. E. N. ; *Novos Planos dos Cursos de Engenharia Professados nas Universidades Portuguesas*, Imprensa Nacional, Lisboa, 1955

<sup>18</sup> A. P. Monteiro; *A Electrificação dos Caminhos de Ferro Portugueses*, Lisboa , 1957

<sup>19</sup> Ver *Francisco Velez Grilo; Engenheiro Electrotécnico*, info — Magazine da Região Norte da Ordem dos Engenheiros, nº 3, pp. 18–23, Jan–Mar, 2005

assuntos de aplicação das máquinas eléctricas à tracção, essencialmente o controlo e a regulação;

- a bibliografia aconselhada mostra já a adopção de livros especializados recentes;
- o tipo de escrita tem já as características dos apontamentos universitários, vulgo “sebentas” — escrita breve, meras figuras esquemáticas e escassas, poucos exemplos concretos<sup>20</sup>.

Em 1 de Janeiro de 1959 deu-se início à exploração dos troleicarros na cidade do Porto. Em 30 de Dezembro de 1959, iniciou-se a exploração do Metropolitano de Lisboa. Nesse ano, e no estrangeiro, entra, pela primeira vez, em serviço uma locomotiva de caminho de ferro com rectificadores de silício.

Em 1960 é apresentada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto uma dissertação para provas de doutoramento do Professor Carlos Castro Carvalho, [CCC-1], intitulada *Motores Monofásicos Série de Colector*, que o autor se propôs estudar devido à grande utilização desse motor em Tracção Eléctrica. Este Professor de Máquinas Eléctricas que, de 1970 a 1984, iria desempenhar um papel muito importante no ensino e no desenvolvimento da disciplina de Tracção Eléctrica, fez na sua dissertação de doutoramento um estudo da determinação das características de funcionamento daquele tipo de motor, utilizando métodos de tratamento próprios, para além do método simbólico e de métodos gráficos.



Nesta época o ensino das matérias de Tracção Eléctrica encontrava-se disperso pelas disciplinas de Máquinas Eléctricas, e Aplicações de Electricidade.

Em 1965 entra em serviço a primeira locomotiva com motores eléctricos controlados por um tracejador (hacheur, chopper) tiristorizado. Em 1967 é utilizado o princípio da frenagem regenerativa em veículos para tracção eléctrica.

Já no fim da década de sessenta, com o desgaste e desadaptação natural do programa de disciplinas do curso de Engenharia Electrotécnica, houve a necessidade de o readaptar à realidade da época (e à contestação dos alunos!). Assim no ano lectivo de 1969/70, em parte de um semestre, foi criada a disciplina de Tracção Eléctrica<sup>21</sup>. Nesse primeiro ano, o programa da disciplina, baseado no livro de Marcel Garreau, [GAR-1], incidiu, fortemente, sobre a distribuição da energia eléctrica, servindo de exemplo a tecnologia utilizada na electrificação da linha do Norte da CP.



<sup>20</sup> Durante muito tempo no ensino universitário português os elementos escritos para estudo resultavam geralmente do seguinte processo: o docente preparava a aula sobre determinado assunto elaborando alguns apontamentos pessoais; o assunto era exposto pelo docente em aula magistral; alguns alunos tomavam apontamentos da aula teórica a que assistiam, e com esses apontamentos, ou resumos, elaboravam um texto, que, eventualmente, poderia ser revisto pelo docente, confrontando-o com os seus apontamentos pessoais; o resultado era um texto publicado em fascículos policopiados — “a sebenta” — que servia de tratado à disciplina!...

<sup>21</sup> Segundo uma informação verbal do encarregado da regência dessa disciplina o Professor Doutor António Almeida do Vale

No ano lectivo de 1970/71, o Professor Carlos Castro Carvalho começou a reger uma disciplina com um programa de Tracção Eléctrica, e manteve essa regência até ao ano lectivo de 1982/83.

Na reforma de 1970 a disciplina designada por Tracção e Força Motriz I e II <sup>22</sup>, passou a ocupar os dois semestres do 5º ano da licenciatura.

**Carlos Afonso de Araújo Castro Carvalho (1928–1986)**

Frequentou a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto onde se licenciou em Engenharia Electrotécnica (1952), e obteve o grau de Doutor em Engenharia Electrotécnica (1961). Regeu as disciplinas de Máquinas Eléctricas, Tracção Eléctrica e Força Motriz e Aplicações de Electricidade <sup>23</sup>.

Fez os seus estágios escolares na Central Geradora de Massarelos.

Para todas as disciplinas que regeu elaborou textos didácticos com elevada qualidade e rigor.



A orientação da disciplina de Tracção Eléctrica e Força Motriz, sob a regência do Professor Carlos Carvalho, teve três fases distintas:

- uma primeira fase em que, seguindo a orientação do livro de Marcel Garreau, [GAR-1], era atribuída grande importância à descrição dos diversos sistemas de tracção, instalações fixas, à análise dos problemas de distribuição da energia eléctrica, e a uma revisão exaustiva dos principais problemas das instalações móveis, as locomotivas e dos seus motores eléctricos, tanto em corrente contínua como em corrente alternada <sup>24</sup>. Dessa forma, eram estudados os diferentes tipos de accionamento e todo o conjunto de máquinas eléctricas auxiliares necessárias. Nesta fase, o Professor Carlos Carvalho deu grande apoio, e orientação, à publicação, pelos alunos, dos apontamentos policopiados das lições teóricas.
- durante a fase de agitação social e de instabilidade dos programas, nomes e conteúdos das disciplinas continuou o ensino das matérias de Tracção Eléctrica, mesmo numa disciplina intitulada Utilização de Máquinas Eléctricas (1976/77).
- uma terceira fase, com início em 1978, e coincidindo com as reformas departamentais dos planos de estudo da licenciatura, a disciplina passou a designar-se por Tracção Eléctrica e a ter a duração de um semestre, em que o Professor Carlos Carvalho, elaborou apontamentos próprios, [CCC-2] e [CCC-3], manuscritos, seguindo a orientação do curso de F. Nouvion, [NOU-1].

<sup>22</sup> Anuário da Faculdade de Engenharia — 1973

<sup>23</sup> Manuel Vaz Guedes; “O Prof. Carlos Carvalho”, Boletim Informativo da FEUP, nº 18, Série II, p. 8, Dez. 2001

<sup>24</sup> FEUP; Engenharia Electrotécnica 6º Grupo — programas das disciplinas, Ano lectivo de 1971/72

É durante a década de setenta do século vinte que se dá o grande desenvolvimento e aplicação dos circuitos electrónicos de controlo de potência dos motores eléctricos de tracção. Tanto na tracção urbana como nas linhas de caminho de ferro, os circuitos de potência dos veículos para tracção sofrem grandes alterações. Nesta altura surge o motor síncrono auto-pilotado no accionamento trifásico daqueles veículos.

Na sequência do doutoramento em Engenharia Electrotécnica do autor, de quem o Professor Carlos Carvalho foi o Orientador, durante o segundo semestre de 1984, aquele Professor pretendeu restringir o âmbito da sua actividade docente às disciplinas de Máquinas Eléctricas de Corrente Alternada, entregando-nos a regência da disciplina de Tracção Eléctrica. A partir daí, e sob a orientação do autor desta Resenha Histórica, a disciplina teve dois tempos distintos separados em 1991 pela elaboração das publicações necessárias à realização de Provas de Agregação na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Os dois tempos podem ser caracterizados pelos programas adoptados e pela condução da disciplina, conforme se pode constatar pelos programas apresentados em Apêndice.

Num primeiro tempo, de 1984 a 1991, a disciplina teve três fases distintas:

- uma primeira fase, de *continuidade*, em que foi seguida a orientação definida para a disciplina pelo Professor Carlos Carvalho, ver programa de 1984/85. Seguiram-se os apontamentos daquele Professor, publicados em 1983, [CCC-3], e elaboraram-se, apenas, folhas de problemas para as aulas práticas;
- uma segunda fase, de *experimentação*, em que foram feitas várias experiências pedagógicas sobre o ensino da Tracção Eléctrica. Esta fase, que durou vários anos lectivos, teve o seu máximo em 1989/90 com a realização, pelos alunos, de trabalhos de computação para apoio ao ensino da disciplina e com a realização em 1989 do primeiro Seminário de Tracção Eléctrica com a colaboração de outros docentes universitários, e
- a terceira fase, de *renovação* do programa, está documentada no programa experimental construído por módulos e com assuntos de interesse imediato e local, que foi leccionado no ano lectivo de 1990–1991, e que dispôs de apontamentos escritos para acompanhamento.

A experiência acumulada em oito anos de regência da disciplina de Tracção Eléctrica serviu para a elaboração em 1991 das propostas contidas num Relatório, sobre o programa os conteúdos e os métodos de ensino teórico e prático da disciplina, que foram adaptadas à realidade social e tecnológica da altura, e que constitui a publicação: Manuel Vaz Guedes, “*A Disciplina de Tracção Eléctrica*”, FEUP 1991.

Em 1991, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, para além da disciplina de Tracção Eléctrica, na área científica de Máquinas Eléctricas, da licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de

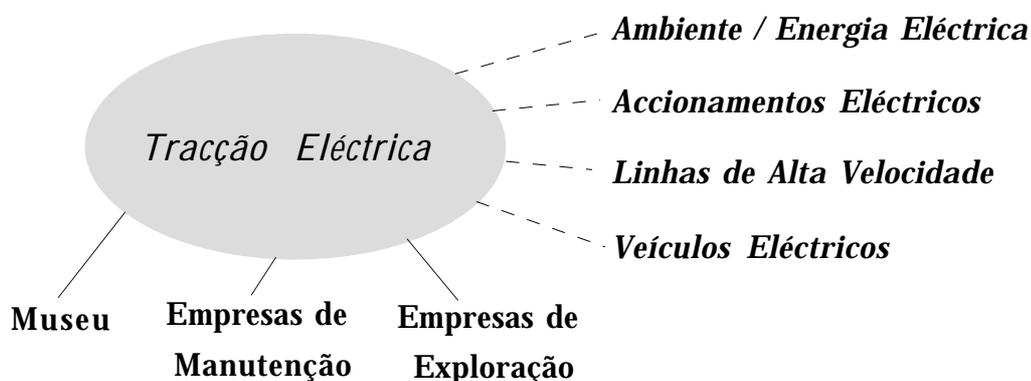


Computadores, existia uma disciplina semestral optativa de Caminhos de Ferro na licenciatura em Engenharia Civil; as matérias de caminhos de ferro estavam integradas numa disciplina de Transporte e Movimentação de Terras na licenciatura em Engenharia de Minas; e na licenciatura em Engenharia Mecânica não existia qualquer disciplina específica, embora as matérias do âmbito da tracção, dos caminhos de ferro e dos transportes fossem professadas em várias disciplinas e servissem de tema para alguns projectos de investigação, [PTC-1].

Na década de noventa do século vinte são predominantes os trabalhos de desenvolvimento da Tracção Eléctrica nos seguintes domínios: alta velocidade, tracção eléctrica com metropolitano ligeiro (light rail traction) e sistemas informáticos. Na alta velocidade foram desenvolvidos sistemas e foram electrificadas linhas que permitiram a criação de uma rede europeia de comboios de alta velocidade (> 250 km/h). No âmbito dos sistemas de metropolitano ligeiro desenvolvem-se veículos e são electrificadas linhas em muitas cidades para utilização do conceito (em evolução) de metropolitano ligeiro. Na Tracção Eléctrica cresce a aplicação de sistemas digitais e dos sistemas de informáticos no controlo, comando, sinalização e diagnóstico.

Num segundo tempo, durante esta última década, a disciplina de Tracção Eléctrica tornou-se uma disciplina de opção e teve o seu programa modificado pelo acrescento ao programa proposto no Relatório de 1991 com apontamentos avulsos (escritos e publicados anualmente) sobre matérias importantes em cada ano lectivo ou pela actualização e reescrita dos capítulos com as matérias da disciplina <sup>25</sup>.

No ano lectivo de 2002/2003 a disciplina de Tracção Eléctrica passou a dispor de uma página na rede — [www.fe.up.pt/tre/](http://www.fe.up.pt/tre/) — onde semanalmente foi publicada uma folha de divulgação contendo também o sumário da actividade docente. Através da folha semanal foi possível evocar condignamente a passagem do centenário natalício do Professor Manuel Corrêa de Barros <sup>26</sup>.



Traduzindo a experiência acumulado no ensino desta disciplina e a alteração das condições de exploração da Tracção Eléctrica na Região Norte, assim como as perspectivas futuras imediatas de desenvolvimento, no ano lectivo de 2005/2006 experimentar-se-á um novo tipo de ensino, baseado em novos apontamentos digitalizados e num maior aproveitamento da realidade industrial circundante, continuando a servir alguns aspectos da História da Tracção Eléctrica como elementos de realce da interacção Tecnologia–Sociedade.

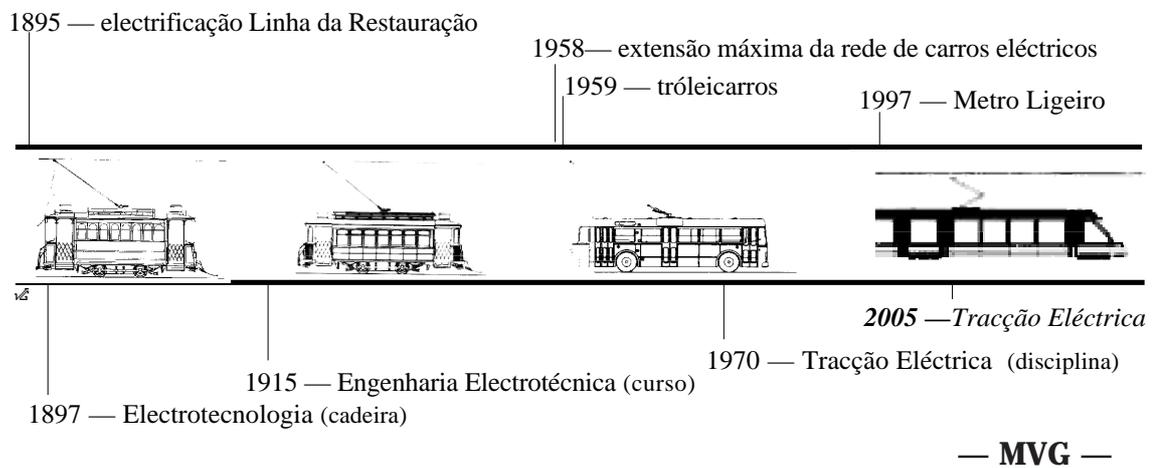
<sup>25</sup> Manuel Vaz Guedes; "Tracção Eléctrica", FEUP 2003

<sup>26</sup> Manuel Vaz Guedes; *Folha Semanal de Tracção Eléctrica* nº 3, 07 de Outubro de 2004; (anexo C)

As matérias de Tracção Eléctrica serviram, também, para a realização de provas académicas: em 1980, em parte, serviram de tema a uma dissertação de doutoramento em Engenharia Electrotécnica, [ACM-1]; em 1985, uma aula prática de Tracção Eléctrica constituiu o Relatório para as Provas de Aptidão Pedagógica e de Capacidade Científica de um assistente estagiário, [AFC-1], em 1991 foram tema do Relatório [MVG-F] sobre uma disciplina e da Lição de Síntese [MVG-Is] para uma Prova de Agregação na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

A disciplina de Tracção Eléctrica é, no actual plano de estudos da licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, uma disciplina optativa do quinto ano do ramo Energia. Antes precedeu-a todo um conjunto de disciplinas do tronco comum, onde foram já abordados matérias de Utilização de Energia e de Máquinas Eléctricas.

Nos últimos anos lectivos, e em cada ano, a disciplina foi frequentada por vinte a vinte e cinco a trinta alunos com bom aproveitamento.



---

## Bibliografia

### **Livros Históricos**

- ARN-1 E. Arnold; *Des Enroulements et de La Construction des Induits des Machines Dynamo-Électriques a Courant Continu*, Paris, 1900, [Luís Couto dos Santos]
- BAB-1 L. Barbillon G.J. Griffisch; *Traité Pratique de Traction Électrique*, Paris, 1903
- BLO-1 André Blondel F. Paul-Dubois; *La Traction Électrique sur Voies Ferrées*, Paris, 1898
- BRA-1 Carlos Coutinho Braga; *Estudo Físico dos Mutadores de Vapor de Mercúrio*, Porto, 1950
- COR-1 Felici Corini; *Meccanica della Locomozione*, Torino, 1929
- GER-1 Eric Gerard; *Traction Électrique*, Gauthier-Villars, Paris, 1910
- DAW-1 Philip Dawson; *“Engineering” and Electric Traction Pocket-Book*, John Wiley and Sons, London, 1906, [Luís Couto dos Santos]
- MAR-1 René Martin; *Traction Électrique*, Paris, 1924, [Faculdade Técnica]
- MAU-1 A. Mauduit; *Machines Électriques*, Tome II, 1931
- MCB-1 Manuel Corrêa de Barros; *Os Comprimentos Virtuais dos Caminhos de Ferro Eléctricos*, dissertação para doutoramento, Porto, 1942
- OPP-1 Pietro Oppizzi; *Trazione Elettrica su Ferrovie e Tramvie*, Milano 1921
- PAT-1 Pierre Patin; *La Traction Electrique et Diesel-Électrique*, Eyrolles, Paris, 1954
- PAR-1 H. Patarodi; *La Traction Electrique et le Chemin de Fer*, Paris, 1935
- PEY-1 J. Peyroux; *Le Monteur de Lignes Électriques — les lignes de traction*, Eyrolles, 1950
- SAT-1 G. Sattler; *Traction Électrique — construction et projects*, Paris, 1908, [Thomaz Dias, Luís Couto dos Santos]
- SHE-1 S. Smeldon E. Hausmann; *Electric Traction and Transmission Engineering*, Van Nostram, 1912, [Faculdade Técnica]
- SMI-1 R. Smith; *Electric Traction*, Harper & Brothers, 1905
- TIN-1 C. Tainturier; *La Traction Électrique*, Paris, 1897
- WIL-1 Ernest Wilson; *Electrical Traction*, Volume I e II, London, 1907, [Thomaz Dias]
- XVI-1 XVI Congrès International de Tramways et Chemins de Fer d'Interêt Local; *Comptes-Rendus*, Bruxelles, 1910, [Thomaz Dias]

### **Publicações Actuais**

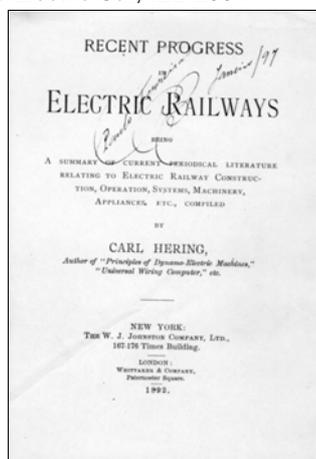
Para além das publicações actuais citadas recomenda-se uma pesquisa bibliográfica nas revistas:

- Revue Générale des Chemins de Fer
- Rail International
- IEEE Transactions on Industry Application
- IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems
- IEEE Transactions on Industrial Electronics
- IEE Proceedings B — Electric Power Applications
- Revue ABB
- FER XXI — Revista da Associação Portuguesa para o Desenvolvimento do

## Transporte Ferroviário

- ACM-1 Armando Campos Matos; *Simulação Computacional de Redes de Caminho de Ferro Electrificadas*, dissertação de doutoramento, FEUP, 1980
- AFC-1 Artur Fernandes Costa; *Relatório de uma Aula Prática de Tracção Eléctrica*, FEUP, 1985
- AND-1 H. I. Andrews; *Railway Traction*, Elsevier, 1986
- BAR-1 António Bonfim Barreiros; *Caminhos de Ferro*, 2 Vol, FEUP 1952-53
- BIC-1 D. A. Lightband D. A. Bicknell; *The Direct Current Traction Motor, its design and characteristics*, Business Books, 1970
- CCC-1 Carlos Castro Carvalho; *Motores Monofásicos Série de Colector*, dissertação de doutoramento, Porto, 1960
- CCC-2 Carlos Castro Carvalho; *Apontamentos para a Disciplina de Tracção Eléctrica*, FEUP, 1979
- CCC-3 Carlos Castro Carvalho; *Apontamentos para a Disciplina de Tracção Eléctrica*, FEUP, 1983
- CEI-30 Comissão Electrotécnica Internacional; *International Electrotechnical Vocabulary — Electric Traction*, 1957
- CEI-31 Comissão Electrotécnica Internacional; *International Electrotechnical Vocabulary — Signalling and Security Apparatus for Railways*, 1959
- CEI-48 Comissão Electrotécnica Internacional; *Rules for Electric Traction Motors*, 1961
- CEI-254 Comissão Electrotécnica Internacional; *Lead-acid Traction Batteries*, 1983
- CEI-310 Comissão Electrotécnica Internacional; *Rules for Traction Transformers and Reactors*, 1969
- CEI-638 Comissão Electrotécnica Internacional; *Criteria for Assessing and Coding of the Commutation of Rotating Electrical Machines for Traction*, 1979
- CMC-1 Carlos Manuel Cabrita; *Circuitos Eléctricos de Comando e de Potência das Unidades Triplas Eléctricas da Série 2000*, IST, 1977
- CMC-2 Carlos Manuel Cabrita; *Artigos Sobre Temas de Tracção Eléctrica Publicados na Revista ELECTRICIDADE*, nº 149, 151, 153/154, 159, 160, 161, 164, 170, 180, 185, 189, 198, 199, 201, 204, 205, 206, 207, 210, 1980-1985
- DEN-1 Joaquim António Dente; *O Motor Síncrono Auto-pilotado na Tracção Eléctrica*, Seminário Tracção Eléctrica – 89, FEUP, 1989
- DOV-1 A. T. Dover; *Electric Traction*, Pitman, 4º Ed, 1963
- DUF-1 Michael C. Duffy; *Electric Railways 1880-1990*, IEE 2003
- VD-1 Electric Vehicle Development Group; *Electric Vehicle Development — proceedings of the International Conference*, London, 1977
- FIN-1 D. Finney; *Variable Frequency A. C. Motor Drive Systems*, IEE Power Engineering Series 8
- GAR-1 Marcel Garreau; *La Traction Électrique*, Paris, 1965
- GON-1 Eduardo Ferrugento Gonçalves; *A Potência de Transporte como Elemento Fundamental na Moderna Planificação Ferroviária*, Lisboa 1963
- HAU-1 F. J. Haut; *The History of the Electric Locomotive*, G.A. & U, 1969
- UI-1 J. Freire de Sousa R. Campos Guimarães; *Um Sistema de Apoio à Decisão para Elaboração de Horários de Viaturas e Tripulações em Serviços de Transportes Colectivos Urbanos*, Seminário Tracção Eléctrica – 90, FEUP, 1990
- IEEE-11 *IEEE Standard for Rotating Electric Machinery for Rail and Road Vehicles*, ANSI-IEEE, 1980
- JMS-1 J. C. D. Marques dos Santos; *O Microprocessador e as suas Aplicações*; Seminário Tracção Eléctrica – 90, FEUP, 1990
- LAI-1 E. R. Laithwaite; *Propulsion Without Wheels*, English Universities Press, 1970
- LEO-1 W. Leonhard; *Control of Electrical Drives*, Springer-Verlag, 1985
- MAY-1 Manuel Maynar, F. Fernández; *Ferrocarriles Metropolitanos*, CICCP 2002
- MEL-1 Arnaldo Sousa Melo; *A Prática das Grandes Velocidades nas Vias Férreas de Concepção Clássica*, Seminário Tracção Eléctrica – 89, FEUP, 1989
- MEL-2 Arnaldo Sousa Melo; *Análise Estática e Dinâmica da Via Férrea — Conceitos Fundamentais*, Seminário Tracção Eléctrica – 90, FEUP, 1990
- MIR-1 Maria Isabel Ribeiro; *Veículos Guiados Automaticamente: princípios de funcionamento e aplicações*, Seminário Tracção Eléctrica – 91, FEUP, 1991
- MVG-1 Manuel Vaz Guedes; *Complementos de Máquinas Eléctricas — o programa da disciplina*, FEUP, 1985
- MVG-2 Manuel Vaz Guedes; *A Alimentação em Energia das Locomotivas da Linha do Norte*, FEUP, 1986

- MVG-3 Manuel Vaz Guedes; *Consumo de Energia nos Accionamentos Electromecânicos*, Seminário Utilização Racional de Energia Eléctrica, FEUP, 1989
- MVG-4 Manuel Vaz Guedes; *Comboios Eléctricos de Grande Velocidade*, Seminário Tracção Eléctrica – 89, FEUP, 1989
- MVG-5 Manuel Vaz Guedes; *Tracção Urbana*, ELECTRICIDADE, nº 266, p. 146, 1990
- MVG-6 Manuel Vaz Guedes; *O Troleicarro*, ELECTRICIDADE, nº 271, p. 342, 1990
- MVG-7 Manuel Vaz Guedes; *A Tracção Eléctrica nas Regiões Metropolitanas*, ENGENHARIA, nº 3, p. 41–44, 1990
- MVG-8 Manuel Vaz Guedes; *Perspectivas para um Projecto Nacional de Veículos de Tracção Eléctrica*, 1º Jornadas de Projecto, Manutenção e Gestão de Veículos de Transporte Colectivo de Passageiros, Porto, 1990
- MVG-9 Manuel Vaz Guedes; *O Metropolitano Ligeiro*, ELECTRICIDADE, nº 271, p. 343–346, 1990
- MVG-10 Manuel Vaz Guedes; *Máquinas Eléctricas para Veículos de Tracção com Accionamento Trifásico*, Seminário Tracção Eléctrica – 90, FEUP, 1990
- MVG-11 Manuel Vaz Guedes; *Veículos Eléctricos*, ELECTRICIDADE, nº 275, p. 45, 1990
- MVG-12 Manuel Vaz Guedes; *A Frenagem dos Veículos com Motores de Indução Trifásicos*, Seminário Tracção Eléctrica – 91, FEUP, 1991
- MVG-13 Manuel Vaz Guedes; *Apontamentos para a Disciplina de Tracção Eléctrica 1990/91*, FEUP, 1991
- MVG-14 Manuel Vaz Guedes; *Características Electromecânicas dos Motores para Tracção Eléctrica*, ENGENHARIA, nº 5, pp. 49–54, 1991
- MVG-15 Manuel Vaz Guedes; *Perspectivas para um Projecto Nacional de Veículos de Tracção Eléctrica*, 1ª Jornadas PMGV TCP, Porto, 1990
- MVG-16 Manuel Vaz Guedes; *Folha Semanal de Tracção Eléctrica nº 3*, 07/Outubro/2004
- MVG-ls Manuel Vaz Guedes; *O Alternador Síncrono Trifásico na Tracção Diesel-Eléctrica*, FEUP 1991
- MVG-r Manuel Vaz Guedes; *A Disciplina de Tracção Eléctrica*, FEUP 1991
- MUR-1 J. M. Murphy; *Thyristor Control of A. C. Motors*, Pergamon Press, 1973
- NAS-1 Lewis E. Unnewehr Syed A. Nasar; *Electric Vehicle Technology*, New York, 1982
- NOU-1 F. Nouvion; *Les Techniques de l'Électrification Ferroviaire*, École Supérieur d'Électricité, 1969
- NOU-2 F. Nouvion; *Three-Phase Motors in Electric Rail Traction*, IEEE Trans. IA-20, (3), p. 1152, 1984
- PIN-1 Francisco Leite Pinto; *Caminhos de Ferro*; 3ª Ed, AEIST 1951-52
- PTC-1 Paulo Tavares de Castro; *Problemas Mecânicos dos Veículos de Tracção*, Seminário Tracção Eléctrica – 91, FEUP, 1991
- SAN-1 J. Santana edit.; *Aplicação da Electrónica de Potência à Tracção Eléctrica*, IST, 1986
- SAN-2 João Esteves Santana; *Alimentação da Energia na Tracção Eléctrica*, Seminário Tracção Eléctrica – 89, FEUP, 1989
- SAY-1 M. G. Say E. O. Taylor; *Direct Current Machines*, Pitman, 1980
- SAY-2 M. G. Say; *Alternating Current Machines*, Pitman, 1976
- TED-1 José A. Tedim Rafael; *Programa de Apoio do Estudo do Esforço de Tracção de um Comboio*, Relatório do Trabalho de Computação para Tracção Eléctrica-1988/89, FEUP, Julho de 1989
- WES-1 Michael Westbrook; *The Electric Car*, IEE 2001



**APENDICES****A — Programas da disciplina em que esteve incluída a Tracção Eléctrica: 1924/25 e 1956/57**

DISCIPLINA ELECTRICIDADE APLICADA (parte B – TRACÇÃO ELÉCTRICA)

ANO LECTIVO 1924/25 - ANUAL ANO DO CURSO 6º

20ª CADEIRA da Faculdade Técnica da Universidade do Porto

PROGRAMA:

- 1 – Resumo Histórico
  - 2 – Classificação das Linhas de Tracção Eléctrica
  - 3 – Vantagens da Tracção Eléctrica
  - 4 – Utilização da Energia Eléctrica
  - 5 – Estudo dum Projecto de Tracção
  - 6 – Movimento dos Comboios nas Linhas Férreas
  - 7 – Estudo da Marcha de um Comboio Entre Duas Paragens Consecutivas
  - 8 – Aderência
  - 9 – Diagrama de Arranque para Veículos Motores Eléctricos
  - 10 – Frenagem de Viaturas Eléctricas
  - 11 – Regulação de Marcha dos Carros
- Estudo dum Projecto de Tracção Eléctrica

RESPONSÁVEL: Miguel Machado (Eng. Mecânico pela Escola Politécnica de Zurich)

DISCIPLINA APLICAÇÕES DE ELECTRICIDADE II (parte de TRACÇÃO ELÉCTRICA)

ANO LECTIVO 1956/57 - ANUAL ANO DO CURSO 6º

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

PROGRAMA:

- 1 - Introdução
- 2 - O Problema dos Sistemas de Alimentação
- 3 - Mecânica do Movimento de um Comboio
- 4 - Motores Usados em Tracção Eléctrica
  - 4.1 motores de corrente contínua
  - 4.2 motores de tracção polifásicos
  - 4.3 motores monofásicos de colecter
- 5 - Comando dos Motores de Tracção
- 6 - Frenagem de Recuperação
- 7 - Comando dos Motores Monofásicos dos Caminhos de Ferro
- 8 - Comando dos Motores Trifásicos dos Caminhos de Ferro
- 9 - Transmissão do Esforço Motor ao Eixo e Suspensão dos Motores
- 10 - Locomotivas Eléctricas

RESPONSÁVEL: Francisco Velez Grilo (Eng. Electrotécnico)

**B — Programas da disciplina de Tracção Eléctrica: 1984/85; 1990/91**

DISCIPLINA TRACÇÃO ELÉCTRICA

ANO LECTIVO 1984/85 - 2º SEMESTRE ANO DO CURSO 5º U.E.E.

---

CARGA HORÁRIA 2 T + 2 P = 4 h/sem

PROGRAMA:

- 1 - Generalidades sobre electrificação do caminho de ferro
  - 1.1 - Breve resumo histórico
  - 1.2 - Vantagens gerais da tracção eléctrica
  - 1.3 - Problemas gerais da tracção eléctrica
  - 1.4 - O Problema Energético
  - 1.5 - Estudo de uma Electrificação
  - 1.6 - Comparação económica entre as diferentes formas de tracção
- 2 - O problema fundamental da tracção
  - 2.1 - Expressões usadas para o cálculo do esforço resistente
  - 2.2 - Aderência
  - 2.3 - Descarga dos eixos devida ao esforço de tracção
- 3 - Generalidades sobre as partes mecânicas das locomotivas
  - 3.1 - Motores de tracção
    - 3.1.1 - Motores de tracção de corrente contínua
      - 3.1.1.1 - Comparação entre o motor série e o motor derivação equivalente
      - 3.1.1.2 - Grandezas características e relações fundamentais de um motor série de tracção
        - 3.1.1.2.1 - Grandezas características
        - 3.1.1.2.2 - Parâmetros fundamentais
        - 3.1.1.2.3 - Relações entre o binário ou a potência com as grandezas eléctricas e magnéticas de base
        - 3.1.1.2.4 - Relações entre a potência e as dimensões
      - 3.1.1.3 - Características dos motores de corrente contínua
        - 3.1.1.3.1 - Característica electromecânica de velocidade  $N = N(I)$
        - 3.1.1.3.2 - Característica electromecânica de binário motor  $T = T(I)$
        - 3.1.1.3.3 - Característica mecânica
      - 3.1.1.4 - Deformação da característica  $F(v)$ 
        - 3.1.1.4.1 - Influência da tensão aplicada ao motor
        - 3.1.1.4.2 - Influência de uma resistência em série com o motor
        - 3.1.1.4.3 - Influência da relação de engrenagens
        - 3.1.1.4.4 - Redução do campo indutor
      - 3.1.1.5 - Comutação nos motores de tracção de corrente contínua
    - 3.2 - Motores de tracção de corrente alternada monofásica
      - 3.2.1 - Motor monofásico série
        - 3.2.1.1 - Binário desenvolvido
        - 3.2.1.2 - Forças electromotrizes induzidas pelo fluxo indutor
        - 3.2.1.3 - Potência transformada. Binário electromagnético
        - 3.2.1.4 - Critério construtivo
        - 3.2.1.5 - Diagrama de funcionamento do motor série: características
        - 3.2.1.6 - Comutação
          - 3.2.1.6.1 - Inversão da corrente. Tensão entre lâminas vizinhas
          - 3.2.1.6.2 - F. e. m. estática; consequências
          - 3.2.1.6.3 - Efeitos de conjunto da f.e.m. estática de comutação
          - 3.2.1.6.4 - Os processos de melhorar a comutação
      - 3.2.1.7 - Limitações do motor monofásico série
    - 3.3 - O motor de corrente contínua alimentado por rectificadores

- 3.3.1 - Generalidades
- 3.3.2 - Diferenças entre a produção de f.e.m. estática nas secções em comutação nos motores de corrente ondulada e de corrente monofásica
- 3.3.3 - Motores de carcaça maciça e de carcaça folheada
- 3.3.4 - Comparação entre o motor de corrente contínua e o motor de corrente ondulada
- 3.3.5 - Motor de tensão ondulada
- 3.3.6 - Comparação entre os motores de tensão ondulada e de corrente ondulada
- 4 - Locomotivas. Esquemas gerais
- 4.1 - Generalidades sobre a parte eléctrica das locomotivas
- 4.2 - Locomotivas de corrente contínua
  - 4.2.1 - Arranque e ajustamento da velocidade
  - 4.2.2 - Inversão de marcha
  - 4.2.3 - Esquema do circuito de potência duma locomotiva
  - 4.2.4 - Locomotivas de corrente contínua com "tracejadores"
- 4.3 - Locomotivas de corrente alternada monofásica
  - 4.3.1 - Locomotivas com motores directos
  - 4.3.2 - Locomotivas com grupos conversores estáticos
    - 4.3.2.1 - Motores de corrente ondulada
    - 4.3.2.2 - Motores de indução trifásicos
- 4.4 - Locomotivas com motor térmico

RESPONSÁVEL: Manuel Vaz Guedes (Prof. Auxiliar)

#####

DISCIPLINA **TRACÇÃO ELÉCTRICA**  
 ANO LECTIVO **1990/91 - 2º SEMESTRE** ANO DO CURSO **4º (opt.)**  
 CARGA HORÁRIA **3 T + 1 TP = 4 h/sem**  
 PROGRAMA:

- Comboios Eléctricos de Grande Velocidade**
  - Comboios eléctricos de alta velocidade
  - Um recorde de velocidade sobre carris 515,3 km/h
- 1. **Introdução à Tracção Eléctrica**
  - História Breve da Tracção Eléctrica
  - Tracção Eléctrica em Portugal
  - Vantagens da Tracção Eléctrica
- Tracção Urbana**
- 2. **Veículos para Tracção Eléctrica**
  - Problema do Material Circulante
  - Evolução da Locomotiva Eléctrica
  - Locomotivas Eléctricas da Série 5600
- O Troleicarro; O Metropolitano Ligeiro**
- 3. **O Problema Mecânico da Tracção**
  - O Problema Fundamental da Tracção
  - Expressões Usadas no Cálculo do Esforço Resistente
  - Aderência
  - Descarga dos Eixos Devida ao Esforço de Tracção

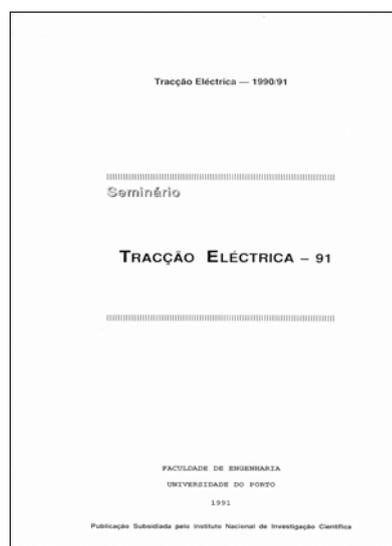
- 
- 4. **Alimentação em Energia dos Veículos de Tracção**  
Alimentação em C.A. das Locomotivas — Linha do Norte
  - 5. **Tracção em Corrente Contínua**  
Motores de tracção de corrente contínua  
Motores série de corrente contínua — aplicações numéricas
  - 6. **Tracção Eléctrica com Motor de Indução Trifásico**  
Motores de tracção de corrente alternada trifásicos  
Máquinas Eléctricas para Veículos de Tracção com Accionamento Trifásico
  - 7. **Veículos Eléctricos**  
Generalidades: veículos eléctricos  
Tractores eléctricos industriais

**SEMINÁRIO**

**Tracção Eléctrica — 91: A Frenagem dos Veículos com Motores de Indução Trifásicos**

**RESPONSÁVEL: Manuel Vaz Guedes (Prof. Associado)**

////////////////////////////////////



## C — Folha semanal nº 3 de 2004 — 07 de Outubro de 2004

Por feliz coincidência ocorre no dia desta aula — *07 de Outubro de 2004* — a passagem do centenário natalício de um antigo Professor da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, que na sua actividade docente, que no seu trabalho de doutoramento, e que na sua vida profissional esteve ligado à Tracção Eléctrica — o Professor *Manuel Corrêa de Barros*.

Manuel Corrêa de Barros licenciou-se em Engenharia Civil (1928) e em Engenharia Electrotécnica (1929), depois de frequentar a Faculdade de Ciências e a Faculdade Técnica, entretanto Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, tendo iniciado a sua carreira docente como 2º Assistente nas aulas do 2º Grupo (*Estradas e Caminhos de Ferro*).

Em Fevereiro de 1942 começou a reger disciplinas do 6º Grupo (*Engenharia Electrotécnica*) entre as quais Máquinas Eléctricas de Corrente Contínua.

Através da análise dos apontamentos publicados para estas disciplinas podemos ver o cuidado posto na selecção dos assuntos, e lembrar como as aulas eram ministradas com um estilo simples mas rigoroso e com elevado nível técnico e científico.



Manuel Corrêa de Barros Júnior  
07/10/1904 – 21/04/1991



Em 1944 foi-lhe conferido por unanimidade do Júri o grau de Doutor em Engenharia Electrotécnica, tendo apresentado a dissertação “*Comprimentos Virtuais dos Caminhos de Ferro Eléctricos*”.

Nesta dissertação e partindo da noção de *comprimento virtual* — é o comprimento que teria uma linha hipotética de caminho de ferro, de características definidas e uniformes (geralmente em recta e patamar) equivalente à linha real, sob um determinado critério de equivalência. Esses critérios dependem de várias grandezas físicas características do problema em estudo: determinação dos tempos de percurso (horários), fixação das tarifas, e comparação de traçados.

Nas linhas de tracção eléctrica, o comprimento virtual é importante no estudo do consumo da energia eléctrica; atendendo a que esse consumo interessa à previsão das despesas, e é fundamental no dimensionamento da instalação eléctrica de alimentação dos veículos. Mas é maior a dificuldade em determinar o comprimento virtual de uma linha férrea porque são particulares as características da tracção eléctrica; basta verificar que na tracção a vapor ou na tracção diesel-eléctrica não é possível a recuperação de energia nas descidas.

Nesta dissertação Manuel Corrêa de Barros faz um resumo histórico dos trabalhos anteriormente realizados, apesar das dificuldades em obter elementos bibliográficos em tempo de guerra, e depois estuda profundamente o comprimento virtual referente ao consumo de energia, oferecendo um conjunto de tabelas e ábacos baseados em valores característicos assumidos pelos projectistas que o precederam.

Desde Junho de 1931 até Junho de 1945 trabalhou como engenheiro na Central Termoeléctrica de Massarelos da Companhia Carris do Porto. Foi um período interessante e difícil da vida desta Central, quando se deu a sua modernização passando a Central produtora de energia em corrente alternada com turbo-grupos, e quando começaram a ser

utilizados os rectificadores de vapor de mercúrio.

Também na parte final deste tempo em que trabalhou na Central de Massarelos, o Professor



Manuel Corrêa de Barros colaborou na resolução do problema da queima do carvão Duriense (S. Pedro da Cova), de má qualidade mas disponível, quando a guerra tinha tornado quase impossível a importação de carvão (antracite).

Depois do seu doutoramento, em 1944, Manuel Corrêa de Barros foi contratado como professor catedrático

do 6º Grupo da FEUP, tendo-se jubilado em 1974. Durante a sua vida académica regeu as disciplinas de Electrotecnicia Teórica, Medidas Eléctricas, Máquinas Eléctricas de Corrente Contínua, Máquinas Eléctricas de Corrente Alternada, Electrónica Aplicada, Máquinas Primárias, Telecomunicações (1ª parte), Aplicações de Electricidade (2ª p). Em situação excepcional regeu ainda a disciplina de Turbomáquinas (1ª e 2ª p) do Curso de Engenharia Mecânica.

O professor Manuel Corrêa de Barros na selecção das matérias do programa de cada disciplina mostrou sempre um grande cuidado e procurou o equilíbrio entre a experiência profissional, as necessidades técnicas previsíveis para o País e a consulta de uma bibliografia dedicada e actualizada.

No ano de 1945 Manuel Corrêa de Barros começou a trabalhar como engenheiro electrotécnico para empresas de produtoras de porcelanas eléctricas. Como Director do Gabinete e Laboratório de Estudos da Fábrica de Porcelana da Vista Alegre, deve-se-lhe a orientação dos trabalhos que levaram ao desenvolvimento dos isoladores empregues desde a década de cinquenta na electrificação das linhas de caminho de ferro nacionais (Linha do Norte e Linha de Sintra). Devem-se-lhe também estudos sobre a amostragem de isoladores para ensaio, sobre a definição de aspectos técnicos desses ensaios e a criação de um Laboratório Electrotécnico de Ensaio de Isoladores.

Traduzindo a sua elevada cultura humanística publicou em 1945 um ciclo de “*Lições de Filosofia Tomista*” e em 1982 publicou ainda um último livro “*Reflexões de um Estudioso de S. Tomás de Aquino*”. Para além de outras obras de empenhada cultura Cristã, fez, com fina sensibilidade, a tradução para português dos poemas de Elisabeth Barret Browning “*Sonnets from the Portuguese*”.



- MVG -