

A CIÊNCIA FRANCESA E A ÓPTICA DOS CORPOS EM MOVIMENTO

MAURICIO PIETROCOLA DE OLIVEIRA

RESUMO: Este trabalho tem por objetivo discutir alguns aspectos das pesquisas em óptica na França do século XIX. Nosso estudo será centrado sobre a influência dos movimentos dos corpos sobre a propagação da luz. Procuraremos mostrar que apesar de muito presente nesse programa de pesquisa, os ópticos franceses contribuíram muito pouco nos estudos sobre a interação entre éter luminoso e matéria em movimento. Na última parte do trabalho faremos algumas considerações sobre as causas que impediram a participação francesa nesse domínio de pesquisa.

ABSTRACT: This work aims to discuss some aspects of French optical in the nineteen century. Our study will be centered on the influence of bodies motion on the light path. We try to show that, although very significant in this research program, the French opticians have made few contributions to the study of the interaction between luminous ether and moving matter. In the final part of this work, we make some considerations about the reasons of that.

A Óptica francesa

O estudo da luz na ciência moderna parece estar intimamente relacionado com a pesquisa francesa. Cientistas franceses estiveram presentes nos grandes movimentos de pesquisa que resultaram em avanços no domínio da óptica. Nesse domínio são importantes os nomes de Descartes, Laplace, Malus, Biot, Arago, Fresnel, Foucault, Fizeau, entre outros. Em particular, encontramos entre o final do século XVIII e durante o século XIX uma grande concentração de pesquisas importantes em óptica na França, associadas a trabalhos no programa laplaciano de forças centrais¹ e ao desenvolvimento da teoria ondulatória da luz com Fresnel². Estes resultados faziam da óptica um dos ramos mais produtivos da ciência francesa. Entre os anos 1840 e 1880 aproximadamente um terço de toda produção científica francesa concentrava-se em trabalhos ligados a óptica³. Segundo Davis⁴, a óptica era considerada pelos cientistas franceses uma área nobre pois era composta de trabalhos “não especulativos, precisos e fortemente matematizados - tudo o que era necessário para ganhar a aprovação dos dirigentes da comunidade científica”.

Outra maneira de medir o peso das pesquisas em óptica no contexto da ciência francesa é analisar a proporção dos prêmios dedicados a esse domínio entre aqueles propostos pela Academia de Ciências de Paris. No período entre 1862 e 1878 foram propostos dez temas para o Prêmio “Bordin”, dentre eles cinco concerniam a luz.

No final do século XVIII com os trabalhos de Laplace, a óptica tinha se tornado um dos ramos mais desenvolvidos da física francesa, comparável aos estudos em Mecânica Celeste pela sua precisão e refino teórico⁵. Na sua tentativa de estender a matriz newtoniana a todos domínios da física, o programa laplaciano encontrou na óptica um ramo bastante promissor. Os pesquisadores vinculados a esse programa con-

1 Fox (1975).

2 Silliman (1974), Buchwald (1989)

3 Davis (1986), p. 79

4 Ibid, p. 69.

5 Harman (1982)

seguiam deduzir leis que interpretavam de forma muito boa fenômenos ópticos, tais como a refração atmosférica, a dupla-refração, entre outros. Esses resultados positivos eram vistos por Laplace e seus seguidores como indicativos da superioridade desse ramo da física. Numa hierarquia teórica ele estaria abaixo apenas da Mecânica Celeste, tida como modelo teórico desse, visto sua adequação a uma abordagem baseada em forças centrais.

Essa posição de destaque da óptica não era fortuita, mas consequência de interesses e métodos de trabalho da comunidade científica.

É interessante tentar levantar algumas razões para o desenvolvimento marcante da óptica no contexto da ciência francesa. Parece possível encontrar justificativa desse fato na vinculação entre pesquisas astronômicas e ópticas no contexto francês.

Não parece difícil entender as ligações entre esses domínios de pesquisa. Os astrônomos no seus estudos necessitam de conhecimentos precisos sobre a propagação da luz nos diversos meios, em particular sobre as leis que governam o funcionamento dos equipamentos utilizados nas observações. Essa dependência indica que pesquisas astronômicas bem desenvolvidas pressupõem bons conhecimentos em óptica. Cabe mencionar no entanto, que o conhecimento óptico oriundo dessa simbiose é de uma natureza bastante particular. Esse ponto será precisado mais adiante.

A astronomia sempre foi um campo de estudo de tradição na ciência francesa. Um indicador dessa sua posição de destaque é a importância da astronomia no contexto mundial: aproximadamente um quarto da população mundial de astrônomos se concentrava em Paris no início da revolução francesa.

Esse desenvolvimento astronômico pode ser avançado como um dos responsáveis pela presença marcante da óptica na ciência desse país. Entretanto, essa vinculação, óptica-astronomia merece ser explicitada. Em particular, uma análise institucional da ciência francesa pode fornecer subsídios para se entender o atrelamento do desenvolvimento da astronomia àquele da óptica.

As relações entre óptica e astronomia francesas.

Começemos por traçar em linhas gerais, algumas instituições importantes no cenário científico francês.

Fundado no final do século XVII, o Observatório de Paris é planejado para o desenvolvimento de pesquisas astronômicas, porém estende atuação à meteorologia e ao geomagnetismo. Pouco tempo depois, ele torná-se uma instituição de referência para a ciência francesa, tendo abrigando pesquisadores importantes como Laplace e outros.

Outra instituição importante no cenário francês foi o “Bureau des Longitudes”, fundado em 1795 com o objetivo de fornecer subsídios ao comércio marítimo pela determinação de longitudes nos mares, pela elaboração de relatórios sobre todos os observatórios da França e pela publicação de tabelas astronômicas. Suas pesquisas, no entanto, não vão se limitar exclusivamente a esse objetivo puramente técnico, direcionando o instituto no desenvolvimento de pesquisas científicas de ponta, particularmente relacionadas a astronomia.

Na passagem do século XVIII para o XIX essas instituições constituíam-se nos pilares da ciência francesa e ambas estavam sob a orientação de Laplace — ele era o diretor do Observatório e destacado membro do corpo de pesquisadores do “Bureau de Longitudes”, juntamente com Lagrange, Cassini IV e Méchain. Seu programa de pesquisa tinha a astronomia como padrão de referência, sendo amplamente desenvolvido na França.

Ocupando esse lugar de destaque na ciência francesa, Laplace recrutava jovens pesquisadores formados em instituições como a Escola Politécnica e a Escola Normal Superior para coloca-os no “Bureau des Longitudes” e no Observatório em projetos de pesquisa de seu interesse. Esses jovens pesquisadores eram posteriormente indicados para postos de pesquisa nas demais instituições francesas, compondo parte importante da comunidade de cientistas da primeira metade do século XIX. Entre eles, destacamos Arago, Biot, Mathieu e Poisson entre outros. Esses personagens desenvolveram na sua maioria trabalhos relacionados à astronomia e à óptica.

Dessa maneira, a influência de Laplace se exercia no Observatório de Paris e no Bureau des Longitudes, mas também compreendia a seção de matemática da Academia de Ciências de Paris, a Escola Normal Superior, a Escola Politécnica, e a Faculdade de ciências. Isso permitia-lhe ditar as linhas de pesquisa

prioritárias a serem desenvolvidas. A pesquisa em astronomia era de certa forma irradiada para os principais centros de pesquisa na França.

Após a morte de Laplace, seu grupo de pesquisa perde força enquanto o prestígio de Arago cresce. Em 1830 ele é eleito secretário perpétuo da seção de matemática da Academia de Ciência e quatro anos mais tarde diretor do Observatório de Paris.

Arago havia sido um dos jovens pesquisadores formados por Laplace, porém seu endosso ao programa laplaciano de forças centrais não era irrestrito. Seu apoio aos trabalhos de Fresnel sobre a teoria ondulatória da luz foi um exemplo marcante nesse sentido.⁶ A influência da astronomia sobre a óptica continua, tendo agora Arago como homem forte e a visão ondulatória como suporte teórico da última. Entretanto, a relação entre esses dois domínios passa a ser conflitante: na concepção ondulatória a hipótese sobre o éter luminoso incomodava os astrônomos, pois a coexistência no espaço de astros em movimento com um meio material não era evidente. Os astrônomos aceitavam mal a idéia de um meio ao mesmo tempo suficientemente rígido para propagar ondas transversais e suficientemente fluídico para permitir a passagem dos astros sem lhes acusar nenhuma resistência.

Nesse contexto, o interesse despertado em Arago pelo trabalho de Fresnel foi determinante para a continuidade das pesquisas nessa área. Sua influência sobre as principais instituições de pesquisa francesa auxiliou muito o avanço e consolidação da óptica ondulatória. Abre-se com Fresnel um novo período na óptica francesa. A partir de 1820 desenvolve-se a abordagem ondulatória aos fenômenos luminosos.

Sob o comando de Arago o Observatório de Paris continua a ter uma papel decisivo no desenvolvimento da pesquisa francesa, a exemplo do que acontecera no período laplaciano. Arago vai constituir grupos de pesquisadores que se interessavam principalmente aos estudos descritivos em óptica, na elaboração e verificação experimental de leis, contrariamente ao tipo de trabalho mais ligado à dinâmica do éter que iria se instalar pouco tempo depois na Grã-bretanha com Stokes e outros. O grupo de Arago era constituído por Fizeau, Foucault, Jamin, Laugier, Goujon, E. Becquerel e Charles Mathieu. Uma quantidade inumerável de resultados foi obtido por esses pesquisadores, ampliando consideravelmente o conhecimento da óptica. Esses trabalhos foram elaborados por recomendação de Arago, que tornava-se assim o grande mentor intelectual da pesquisa óptica que se realizava na França.

Entre as grandes contribuições da pesquisa sobre óptica nesse período podemos destacar a comparação da velocidade da luz na água e no ar e as medidas da velocidade da luz no ar por meios terrestres elaboradas por Fizeau e Foucault, os trabalhos de Becquerel sobre os raios ultra-violetas (ditos raios químicos na época), a repetição de todos os trabalhos de Fresnel para os raios infra-vermelhos e ultra-violetas, o desenvolvimento de instrumentos astronômicos por Foucault, e uma série outros resultados relacionados a descoberta de novos fenômenos ópticos (como a polarização rotatória), medidas experimentais mais precisas, etc.⁷

Esse apoio recebido pela pesquisa em óptica durante o final do século XVIII e século XIX foi um dos fatores responsáveis pela posição de destaque que elas tiveram no cenário internacional nesse período.

A influência do movimento sobre a propagação da luz

Entre as diversas áreas de pesquisa sobre a luz, nos interessa particularmente a relações entre o movimento dos corpos e sua influência na propagação luminosa. Esse tipo de pesquisa parece surgir a partir de um trabalho de Bradley de 1728 sobre variações na posição da estrela Gama da constelação do Dragão. Propondo-se a medir o fenômeno de paralaxe Bradley mede na verdade um efeito originário do movimento da Terra em sua órbita, que fica conhecido sob o nome de aberração estelar⁸. A interpretação que passa a ser aceita para o fenômeno baseia-se na composição entre o movimento orbital terrestre e a

6 Arago é o único membro da comissão destinada a analisar os trabalhos sobre difração para um prêmio na Academia de Ciência a incentivar Fresnel na interpretação ondulatória do mesmo. Em outro episódio, sobre uma experiência realizada por ele próprio em 1810 sobre o desvio da luz refratada num prisma em movimento, ele propõe a Fresnel interpretá-la via teoria ondulatória, visto ser a explicação corpuscular pouco convincente na sua opinião.

7 Whittaker (1951)

8 Originário pela posição aparente das estrelas devido a variação do ponto de observação sobre a órbita da Terra. Para mais informações, ver Pietrocola(1993)

velocidade de propagação da luz. Sendo realizado no contexto da óptica newtoniana, sua interpretação como um efeito de composição de movimentos não causou inicialmente nenhuma estranheza à comunidade científica da época. Outros trabalhos se seguiram a este, seja medindo a aberração para outros astros, seja procurando precisar a forma como a composição entre os movimentos da luz e da Terra se compunham, por exemplo, na presença de meios refringentes, no interior de telescópios etc⁹.

O desenvolvimento dessas pesquisas entre movimento da Terra e propagação luminosa tem uma relação íntima com a ciência francesa. No que concerne a aberração, sua relação com os pressupostos da teoria newtoniana, que pareciam claros e isentos de contradição, tornou-se conflitante com a multiplicação das observações astronômicas. A constância do valor da aberração exigia considerar que a velocidade da luz era também constante e independente da grandeza e distância dos astros à Terra. A resolução dessa questão era apontada por Laplace como fundamental para a teoria corpuscular e mereceu um tratamento especial com a designação de Arago e Biot para uma investigação detalhada.

As pesquisas relacionadas a essa questão continuaram dentro da teoria ondulatória com a proposição de Frenel de uma hipótese sobre o arrastamento parcial do éter, que buscava interpretar uma experiência realizada por Arago em 1810 dentro do contexto da investigação encomendada por Laplace.

Pouco a pouco, a relação luz e movimento passa a ser para a ciência francesa uma questão da maior importância, visto de um lado os progressos obtido por Fresnel na interpretação dos fenômenos ópticos pela visão ondulatória e as dificuldades de se conceber o espaço até então vazio como um meio material por onde se deslocavam corpos em altas velocidades. Pela vinculação mencionada acima entre óptica e astronomia, o desenvolvimento de um modelo ondulatório para a luz deveria contemplar necessariamente a interpretação de fenômenos que se originariam do movimento dos corpos em relação ao éter, mais particularmente sobre as influências que esse movimento causaria na forma de propagação luminosa.

A contribuição de Fresnel seguiram-se várias outras de cientistas franceses: a de Babinet sobre a ausência de efeitos do movimento da Terra sobre a propagação da luz em uma placa de vidro e sobre o fenômeno de difração; a experiência de Fizeau para determinar o grau de arrastamento das ondas luminosas pela água em movimento, elaborada para se transformar em experimentus crucis entre as hipóteses de Fresnel e Stokes; a proposta de Fizeau para os efeitos causados pelo movimento do observador e da fonte na frequência da luz, etc¹⁰. O interesse dessa questão no meio francês pode ser também medido pela participação de trabalhos relacionados sobre esse tema nos Comptes Rendus da Academia de Ciências de Paris e pela instituição em 1872 dessa questão como tema do Grande Prêmio de Ciências Matemáticas¹¹.

Esse prêmio é obtido por Mascart com um trabalho amplo sobre os efeitos do movimento terrestre sobre os fenômenos ópticos, onde são analisados de forma muito precisa a refração, a difração, a dupla-refração retilínea e circular, os anéis formados por reflexão e por lâminas mixtas¹².

Esses trabalhos representaram um grande progresso no conhecimento da influência do movimento sobre a propagação da luz, contribuindo para o estabelecimento da teoria ondulatória. Em particular, a fórmula deduzida por Fresnel a partir da hipótese do éter parcialmente arrastado consolida-se como a forma de descrever a propagação da luz em corpos refringentes em movimento.

O trabalho de Mascart para o Grande Prêmio da Academia de Ciências parece apontar para uma nova fase dessas pesquisas, que costumou-se designar de óptica dos corpos em movimento¹³.

As pesquisas que passam a ser desenvolvidas vão procurar estabelecer modelos precisos sobre como as leis que governam os fenômenos ópticos se comportam em sistemas em movimento. Ultrapassa-se simplesmente o desejo de entender o efeitos do movimento de um corpo sobre modos determinados de propagação da luz, para uma análise mais global e integrada da luz em corpos em movimento¹⁴.

9 Boscovich, Michel e outros. Ver Tonnelat (1971)

10 Pietrocola (1992)

11 O tema era "Rechercher expérimentalement les modifications qu'éprouve la lumière dans son mode de propagation et ses propriétés, par suite du mouvement de la source lumineuse et du mouvement de l'observateur". Para mais detalhes, ver Pietrocola (1992), introdução geral.

12 Ver Pietrocola (1992).

13 Hirose (1976)

14 Outro trabalho que parece similar ao de Mascart é o de Lorentz de 1887.

O desenvolvimento dessa linha de pesquisa, como pode-se constatar pela análise dos trabalhos relacionados a esse domínio, necessitou entrar no questionamento mais específico entre as relações entre éter e matéria ponderável¹⁵. Essas pesquisas valeram-se num primeiro momento de modelos fundamentados num éter elástico e na modificação de suas propriedades quando em contato com a matéria em movimento. Posteriormente, com a convicção da natureza eletromagnética da luz, os trabalhos passaram a adotar modelos de éter de natureza eletromagnético. O que começa como óptica de corpos em movimento transforma-se num domínio mais amplo quando passa a ser considerada seriamente a natureza eletromagnética da luz feita por Maxwell em 1864¹⁶. Os modelos passam ser elaborados sobre um éter eletromagnético e sua relação com a matéria em movimento e costuma-se definir essa linha de pesquisa como e eletrodinâmica dos corpos em movimento¹⁷.

Inicialmente os estudos nessa área partem das hipóteses levadas no período anterior sobre a velocidade relativa entre éter e matéria em movimento. Mais precisamente, são consideradas as hipóteses de Fresnel e Stokes¹⁸. Procura-se analisar as duas hipóteses e julgar de um lado sua adequação a uma abordagem eletromagnética e de outro sua capacidade em descrever as experiências sobre a influência do movimento sobre os fenômenos ópticos. Os resultados experimentais e teóricos obtidos no período anterior ao da visão eletromagnética da luz são nesse momento fundamentais na elaboração de modelos eletromagnético para o éter.

Analisando os artigos desse período¹⁹ pode-se concluir o quanto foram importantes os resultados das pesquisas realizadas na França no período anterior. Definimos esse período como de pesquisas “cinemáticas”, visto não avançarem no campo das relações dinâmicas entre éter e matéria²⁰. As teorias dinâmicas sobre o eletromagnetismo do período posterior trabalhavam as relações entre o éter e a matéria ponderável que explicassem a cinemática necessária a correta interpretação dos dados experimentais²¹.

Embora as pesquisas do período cinemático não pudessem definir qual o estado de movimento do éter em relação à matéria ponderável, resultados importantes foram obtidos, como a validade do coeficiente de arrastamento parcial de Fresnel utilizado no cálculo da velocidade da luz em corpos em movimento. Para muitos cientistas, a hipótese de Fresnel por embasar a dedução dessa fórmula e interpretar diretamente o fenômeno de aberração das estrelas, era tida como mais provável que a de Stokes. Em todo caso, parece certo que as teorias eletrodinâmicas de corpos em movimento foram tributárias dos resultados obtidos no programa de pesquisa cinemático sobre luz e movimento dos corpos.

Questão de fundo

No fim do século XIX as pesquisas em Física defrontavam-se com vários problemas, que como se verificou a posteriori, iriam modificar as bases da ciência moderna. A eletrodinâmica dos corpos em movimento era um desses problemas. Sua solução necessitou de reformulações impensáveis no início do programa, ou seja nas noções de tempo e espaço.

Ao analisar a evolução desse programa, de seu início provável nos trabalhos de Maxwell, Hertz e Lorentz até a proposição do artigo de Einstein de 1905 é patente a inexpressiva participação de pesquisadores franceses. Embora seja difícil localizar um país sede para tais pesquisas nessa área, parece-nos clara a participação minoritária da ciência francesa. Vale ressaltar, porém, que não estamos subestimando a participação de H. Poincaré nesse programa. Todavia, ela não é representativa das preocupações da ciência francesa da época.

Pelo estágio de avanço das pesquisas francesas concernindo a influência do movimento sobre a óptica é lícito questionar quais motivos levaram-na a não ter participação expressiva no programa relativo à óptica/eletrodinâmica dos corpos em movimento. Sendo portadora de uma tradição muito grande em

15 Harman(1982)

16 Abrantes (1988).

17 Hertz, Lorentz e outros;

18 O artigo de Lorentz de 1886 é um bom exemplo disso.

19 Hertz (1890), Lorentz (1892, 1895), Poincaré (1904) e outros. Ver Miller (1981)

20 Ver Pietrocola (1992), conclusão.

21 Vale notar que essa cinemática baseava-se fundamentalmente na fórmula de velocidades de Fresnel e era aplicável às experiências de primeira ordem em v/c .

óptica e desenvolvido pesquisas de ponta no período “cinemático”, não seria natural esperar uma continuidade dessas pesquisas no programa dinâmico?

Não será nosso objetivo nesse trabalho, no entanto, apresentar respostas definitivas a essa questão. Proporemos apenas alguns idéias que acreditamos possam auxiliar o entendimento da questão.

Elementos de resposta

A primeira explicação à não participação da ciência francesa nas pesquisas sobre a óptica dos corpos em movimento parece vir do estilo de pesquisa em óptica desenvolvida na França. Uma das qualidades dos estudos desenvolvidos em óptica apontada por Laplace era sua precisão matemática e objetividade, dado ser um domínio da natureza passível de ser interpretada com um número pequeno de hipóteses contidas numa estrutura teórica coesa e consistente.

Fresnel procura manter essa mesma “limpidês” teórica para a teoria ondulatória apesar das complicações que a introdução de um éter luminoso acarretava. Suas considerações teóricas vão se limitar o máximo possível ao nível cinemático, isso é, sobre as formas como a luz se propagaria nos diversos meios, as formas de interferência dos raios luminosos, etc, não propondo vínculos entre as propriedades físicas do éter e as fórmulas descritivas avançadas por ele. A excessão ficou por conta do fenômeno de polarização, que Fresnel interpreta a partir de hipóteses acerca da rigidez do éter²².

Talvez essa necessidade de uma teoria óptica limpa, sem a inclusão de hipóteses arbitrárias seja uma característica da ciência francesa, onde podemos encontrar eco nas críticas dirigidas contra a mecânica newtoniana pela corrente racionalista no século XVIII. Seria um estilo científico que, em particular, a diferenciaria da ciência britânica, como sugere Duhem²³.

Podemos também entender essa característica da óptica francesa através da sua vinculação com as pesquisas em astronomia, que discutimos acima. Na verdade, a óptica necessária aos estudos astronômicos é basicamente “cinemática”, isso é sem vinculação com modelos dinâmicos sobre a natureza interna da luz. Um conhecimento aprofundado nas leis que governam a propagação luminosa é suficiente para amparar pesquisas em óptica.

Acompanhando a história da óptica ondulatória, o desenvolvimento de estudos sobre a dinâmica do éter é intenso na Grã-Bretanha, principalmente pelos pesquisadores da Universidade de Cambridge²⁴. É no entanto possível encontrar excessões na comunidade científica francesa. No que concerne a óptica dos corpos em movimento, Boussinesq é quem foge a regra, publicando vários trabalhos sobre o éter luminoso como sólido elástico, avançando hipótese sobre suas relações com a matéria ponderável em movimento.

Outro elemento de resposta viria certamente da resistência francesa as idéias maxwellianas²⁵. A óptica dos corpos em movimento desenvolveu-se principalmente sob a teoria eletromagnética, embora algumas tentativas iniciais tenham sido feitas num modelo puramente mecânico, tendo o éter basicamente propriedades elásticas²⁶. A demora na introdução da teoria de Maxwell talvez tenha colocado a ciência francesa desarmada frente aos problemas que surgiam no contexto da ciência mundial. O abandono tardio da tradição elétrica de Ampère impediu o acompanhamento dos progressos obtidos pelo programa Maxwelliano na interpretação da óptica de corpos em movimento.

Considerações finais

Parece-nos que no caso específico da óptica dos corpos em movimento, o peso da tradição astronômica durante muito tempo foi “motor” no desenvolvimento do conhecimento científico, inviabilizou a efetiva participação francesa num tema da maior importância para o futuro da ciência moderna. O termo

22 Buchwald (1981).

23 Segundo Duhem, a ciência britânica apoiaria-se mais em imagens mecânicas dos fenômenos. Duhem, “A escola inglesa e as teorias físicas”, in Mariconda (1989).

24 É importante lembrar que segundo Harman, as pesquisas britânicas sobre a dinâmica do éter têm sido motivada por uma artigo de Cauchy de 1830 sobre o tratamento do éter como sólido elástico, que pareceu não ter muita repercussão na França, mas acabou encontrando eco no outro lado do Canal da Mancha. Harman (1982).

25 Abrantes (1985)

26 Por exemplo, o trabalho de Boussinesq acima citado.

“obstáculo epistemológico” de Gaston Bachelard, parece-nos apropriado para definir o papel dessa tradição no contexto da óptica francesa.

Pretendemos com esse trabalho ter levantado algumas questões de interesse sobre a óptica francesa do século XIX e apontado o papel desempenhado pela organização da pesquisa no desenvolvimento da mesma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANTES, P.** *La réception en France des théories de Maxwell concernant l'électricité et le magnétisme*. Thèse de doctorat de troisième cycle, Université de Paris I, 1985.
- BUCHWALD, Z.** “The quantitative ether in the first half of the nineteenth century”, dans *Conceptions of ether*, Cantor(1981).
- . FROM MAXWELL to MICROPHYSICS, Aspects of Electromagnetic Theory in the Last Quarter of the Nineteenth Century, The university of Chicago Press, Chicago, 1985.
- . “The Optics of Moving Bodies as a peripheral concern before the 1890s”, *The Michelson Era in America Science 1870-1930*, Cleveland, 1988
- . THE RISE of the WAVE THEORY of LIGHT, Optical and Experimental in the Early Nineteenth Century, The University of Chicago Press, Chicago, 1989.
- DAVIS, J.L.** “The influence of astronomy on the character of physics in mid-nineteenth France”, *Historical Studies in the Physics and Biological Sciences*, vol 16, part I, p. 59.
- FOX, R.** “The rise and fall of laplacian physics”. *History Studies in the Physical Sciences* 4, (1975), 89-136.
- HARMAN, P. M.** *Energy, Force, and Matter-* The conceptual development of nineteenth-century physics, , cambridge, 1985.
- HERIVEL, J.** “Aspects of French theoretical Physics in the Nineteenth Century”. *Brit. J. Hist. Science*, vol. 3, p. 109.
- HIROSIGE** “Origins of Lorentz Theory of Electrons and the Concept of the Electromagnetic Field”, *Hist. Studies in The Physical Sciences* , vol. 1, p.151, 1969.
- . “The Ether Problem, The Mechanistic worldview and the Origins of The Theory of Relativity”, *Hist. Studies in The Physical Sciences* , vol. 7, p. 3 , 1976.
- LORENTZ, H. A.** “De l'influence du mouvement de la Terre sur les phénomènes lumineux”, *Archives Néerlandaises*, T. XXI (1887), p.101.
- . “*Versuch einer theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten körpern*”, Leiden, Bull, 1895; Version anglaise dans the Principle of Relativity, Dover, New York, 1952.
- MARICONDA, P.** “A filosofia da Física de Pierre Duhem”. *Ciência e Filosofia*, Fac de Filosofia Letras e Ciências Humanas, USP, S.P., 1989.
- MILLER, A.** *Albert Einstein's Special Theory of relativity*; Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1981.
- PIETROCOLA-OLIVEIRA** *E.Mascart et l'optique des corps en mouvement*, Universidade Paris 7, Paris: França. Tese de doutorado não publicada
- . Fresnel e o arrastamento parcial do éter: a influência do movimento da Terra sobre a propagação da luz. *Caderno catarinense de ensino de física*, v. 10, n. 2, 1993.
- SILLIMAN, R.** Fresnel and the Emergence of Physics as a Discipline. *Hist. Studies in the Physical Sciences*, 4, p.137, 1974.
- TONNELAT, M. A** “*L'Histoire du Principe de Relativité*”. Paris: Flammarion, 1971.

WILSON, D. George Gabriel Stokes on Stellar Aberration and Luminiferous Ether, *The British Journal for the History of Science*, v. VI, part. I, n° 21, 1972

WHITTAKER, E. *A History of the Theories of Aether and Electricity*, 1989, New York: Dover Publications, 1989. 2 v.

MAURICIO PIETROCOLA PINTO DE OLIVEIRA é Físico e Doutor em História da Ciência pela Universidade Paris VII. É professor do Instituto de Física da UFSC

Endereço: Instituto de Física Campus da Trindade - CEP: 88.040-900 - Florianópolis - Santa Catarina - Brasil

Revista da SBHC, n. 13, p. 45-52, 1995