

CARNOT E A EVOLUÇÃO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS

Boriss Cimbleiris
Escola de Engenharia da UFMG

RESUMO – É geralmente aceita a opinião de que as “Réflexions” não tiveram quase nenhuma influência desde a sua publicação até a sua redescoberta por Thomson em 1847. Entretanto, novas pesquisas mostraram que durante este intervalo realmente houve influência sobre os engenheiros franceses, que projetaram e construíram máquinas “de fogo” inspirados nas idéias de Carnot (Máquinas de pouco sucesso, é bem verdade). Carnot não conseguiu penetrar é na comunidade acadêmica, devido ao seu estilo e à novidade das idéias, expostas fora do modelo matemático aceito na época.

Segundo a idéia geralmente adotada, Carnot foi um fenômeno singular, tendo criado uma Termodinâmica original “antes do tempo” e que permaneceu ignorada pelos contemporâneos. Teriam sido necessários 23 anos para a sua redescoberta por Thomson em 1847, quando então o meio intelectual europeu já estava pronto para assimilar as idéias de Carnot. Na verdade, a germinação destas sementes foi contínua, conforme ficou aparente nas pesquisas mais recentes.

Limitar-nos-emos aqui a um aspecto apenas da estrutura epistemológica de Carnot, a saber, no que concerne às máquinas térmicas em geral, e não quanto às origens da Termodinâmica clássica. Carnot foi um elo importante na transição das máquinas a vapor para as máquinas de combustão externa (“de ar quente”), e, mais remotamente, as de combustão interna.

O aparecimento de Carnot também foi significativo como uma convergência da História da Ciência com a Ciência da Tecnologia, porquanto o seu discurso é quase sempre o de engenheiro, e, conforme veremos, as primeiras repercussões do seu livro (CARNOT, 1824) foram entre os inventores de máquinas¹.

A motivação e o programa de Carnot

Côncio da necessidade de progresso material, notadamente do uso da energia, e impressionado pela revolução realizada pela máquina

a vapor na Inglaterra, então a principal rival política e econômica da França, Carnot pensou em termos de patriota e de técnico. As primeiras páginas das *Réflexions* constituem uma introdução popular ao momento histórico atual no que concerne ao uso da energia e ao uso inevitável do onipresente calor capaz de ser transformado em movimento: a força motriz do “fogo”. Fogo é palavra-chave na obra de Carnot, tendo um sentido muito amplo. Possivelmente, o óbvio poder mecânico das armas de fogo não deixou de influenciar a terminologia de Carnot, tal como já havia acontecido com Huygens e Watt.

Carnot se propõe a obter os princípios gerais de uma máquina a fogo, aplicáveis “não apenas a máquinas a vapor mas também a quaisquer máquinas a fogo (“machines à feu” = máquinas térmicas), qualquer que seja a substância operante e o seu método de operação” (Ibid., p. 37-94)². Não é nossa intenção repassar aqui o cerrado raciocínio de Carnot, algo que já foi superabundantemente feito por numerosos autores, inclusive por mim mesmo³. O nosso propósito é demonstrar que Carnot foi um elo na cadeia histórica do desenvolvimento das máquinas térmicas, e que a sua influência exerceu-se a princípio através dos estratos inferiores da cultura técnica da sua época. Para tanto é útil rever a história anterior a ele.

1. A enumeração das diversas edições deste livro de 118 páginas e das suas traduções ocuparia espaço excessivo. A edição original já estava esgotada em 1846. Ao leitor interessado recomendamos a edição crítica organizada e comentada por Robert Fox (CARNOT, 1978).

2. Sobre o uso do ar quente, ver (CARNOT, 1824, p. 109-110).

3. Veja-se, por exemplo, para uma análise rigorosa (talvez excessivamente complicada), Truesdell & Bharatha (1977). Para uma exposição simples, Cimbleiris (1967).

A história das máquinas térmicas antes de Carnot

Embora a partir da descoberta do fogo tenha se desenvolvido uma tecnologia do calor inteiramente satisfatória, ela parece ter sido criada por artesãos anônimos. Quando os clássicos, como por exemplo Lucrecio, falam do calor, é na qualidade de fenômeno natural, mas num contexto filosófico e nunca utilitário. Quando Heron constrói dispositivos funcionais, precursores das máquinas térmicas atuais, é na qualidade de brinquedos mágicos destinados a espantar o vulgo.

Aparentemente, o primeiro vislumbre do uso mecânico do calor vem com o uso da pólvora e as armas de fogo (se não levarmos em conta o uso militar dos foguetes na China). No século XVII Descartes adianta a concepção dinâmica dos elementos da natureza (DESCARTES, 1896, v. 9, p. 66) e proclama a função cognitiva das artes térmicas. Eis uma perspectiva *maquinista*, transmitida a Mersenne e a Huygens. Este, que é filósofo menor do que Descartes, mas certamente um maior físico, é a favor da prática esclarecida pelo conhecimento de princípios teóricos. A pronta ação da pólvora levou-o a conceber uma máquina de levantamento baseada na explosão. Nisto ele pensa desde 1660⁴ e constrói em 1673 (HUYGENS, 1950, v. 22, p. 240-42), tosca embora, mas que funciona. Huygens é tão encantado com ela que chega a sonhar com uma máquina voadora assim propelida (e que é o foguete de propulente sólido?). Papin aprende com Huygens, mas quando chega a construir a sua máquina ela se baseia na ação do vapor – a marmitta (1688) – e, incidentalmente, temos a descrição do primeiro ciclo de vapor, também o mais simples: retangular no plano pV (PAPIN, 1668, p. 500).

Hautefeuille melhora a máquina de Huygens em 1682; uma versão original é o “moulin à feu” de Amontons, 1699 (AMONTONS, 1702, p. 112-26). Entretanto, o aparecimento da máquina a vapor de Newcomen em 1712, realmente prática, relega a linha de desenvolvimento das máquinas de explosão interna a um episódio histórico. O principal obstáculo ao progresso das máquinas a pólvora é a tecnologia disponível. Uma arma de fogo não tem par-

tes móveis a não ser o projétil, na parte submetida ao calor. A máquina a vapor atmosférica, funcionando a temperaturas e pressões modestas é realizável. Cabe mencionar ainda, na linha das máquinas de explosão interna antiga, a de Montgolfier (1936)⁵ e a de Niepce (1807). A primeira, inspirada no artefato hidráulico (atual “carneiro”) inventado pelo próprio Montgolfier, foi descrita num “pli cacheté” depositado em 1784 – aberto unicamente em 1936. Conhecimento técnico só conta quando é comunicado e demonstrado. A máquina de Niepce, o extraordinário “pyroéolophore” (CLERGET, 1925a, b), foi construída e chegou a propelir um barco. O que deve ter impedido o seu uso ulterior é o emprego de pó de licopódio como combustível – a primeira e única máquina assim abastecida. A sua importância pode ter sido o ter servido de inspiração. Em primeiro lugar, a Sadi Carnot, por ter sido o seu pai um dos relatores oficiais da máquina dos Niepce. Em segundo, porque o motor concebido por Diesel – o “motor térmico racional” – deveria ser operado a pó de carvão, e a inspiração de Diesel foi confessadamente o livro de Carnot (DIESEL, 1983, p. 102-4, 411)⁶.

A rápida evolução e domínio total da máquina a vapor nos primórdios da Revolução Industrial relegou os outros tipos de máquina térmica a um segundo plano. Há menção das máquinas de ar quente de Street (1794) e de Rivaz (1807), precedidas pela turbina de Barber (1791), e da máquina já mencionada de Montgolfier. Um marco importante é a patente de Lebon (1801), em que o inventor do gás de carvão o propôs como combustível motor; mas ele foi assassinado antes de ter tido tempo de construir um motor funcional⁷. E a máquina de ar quente de Cayley, proposta em 1807. De todas as máquinas anteriores a Carnot, a melhor concebida teoricamente é a de Stirling (1816)⁸, a primeira de uma série que culmina em 1843 com uma máquina comercial na Escócia. Carnot não menciona a máquina de Stirling, provavelmente pela falha de informação devida ao estado de guerra entre os respectivos países. Entretanto, o ciclo de Stirling é um dos protótipos

4. HUYGENS, 1950, v. 22, p. 540. Anotação em seu diário aos 13 de dezembro de 1660.

5. Cf. CABANES, 1936.

6. Também explicitamente em Diesel, 1893.

7. Ver PAYEN, 1964, p. 196.

8. Não se conservou o texto dos cursos. A idéia sobre as máquinas térmicas foi consignada em um “pli cacheté” depositado na Academia de Ciências de Paris aos 2 de janeiro de 1816 e aberto nos nossos dias, conforme Redondi (1980).

simples de ciclo reversível, equivalente ao de Carnot. Uma confirmação da viabilidade prática do ciclo de Stirling com a tecnologia moderna está em que ele é utilizado em motores solares pequenos e, no ciclo inverso, na criogenia.

A idéia de uma máquina térmica geral não é criação de Carnot. Hachette (1811, p. xix) descreve as fontes de potência motriz do fogo de forma abrangente no seu tratado; Monge também o faz no artigo da *Encyclopédie*, escrito em 1789, mas publicado em 1819. Mas o ciclo de Carnot é original e serve de padrão a todos os outros até hoje.

A máquina de Carnot não é realizável praticamente em qualquer das formas concebíveis: nem a gás, nem a vapor, nem com a tecnologia do século XIX, nem com a atual. A análise das causas ocuparia espaço excessivo. Mas o próprio Carnot é clarividente neste ponto, dizendo que “as tentativas de chegar a este resultado seriam mais prejudiciais do que úteis, se outras considerações importantes fossem desprezadas”. Ele quer dizer que além do rendimento térmico há que satisfazer as condições de segurança, durabilidade, solidez, espaço mínimo e custo. Tudo isto é perfeitamente válido hoje e possivelmente o será sempre.

Duas influências imediatas de contemporâneos

É inegável a influência de Clément no pensamento de Carnot. Ele tratou⁹ da teoria geral da produção da potência motriz pelo fogo nos seus cursos no *Conservatoire des Arts et Métiers* em Paris, curso este assistido por Carnot antes de 1824.

Há poucas dúvidas de que tenham se conhecido na época da gestação das *Réflexions* (LERVIG, 1977). Clément escreveu sobre uma teoria geral da produção da potência motriz (energia mecânica) pelo fogo (energia térmica) em opúsculo inédito depositado em 1816 em forma de “pli cacheté” tão do gosto francês (envelope aberto apenas em 1936). Ele menciona o fato de que muitas tentativas foram feitas; mas “infelizmente o sucesso de tais tentativas

foi apenas imaginário, e com a exceção dos canhões não existe uma máquina a expansão do ar que tenha resistido à prova do tempo: são todas umas invenções inúteis” (CLÉMENT, apud CABANES, 1936).

Outra influência inegável é a de Petit (1818), cujo trabalho é mencionado numa nota de pé de página, mas descartado como imperfeito. Petit compra as variações de volume do vapor d'água e do ar e conclui que o trabalho produzido é umas quatro vezes maior no caso do ar. Entretanto, apesar de ter realizado importantes experimentos com Dulong sobre o assunto, Petit admitiu uma variação incorreta do calor específico com a temperatura e um valor errado do calor latente de vaporização da água, conforme foi apontado por Navier (1821).

O ambiente intelectual na época da publicação das *Réflexions*

Era pouco provável que os físicos parisienses ficassem impressionados pelo livro de Carnot, dado o paradigma científico dominante na época (no sentido de Kuhn)¹⁰. O outro fator foi o estilo adotado, destoante do estilo clássico da Física, exemplificado, por exemplo por Laplace, Poisson, Fourier, Navier. Além disso, apesar do valor científico de Carnot pai, e da atuação proeminente deste na *Académie des Sciences*, o filho não tinha acesso à Academia, aréopago máximo da ciência da época. Não é de admirar, portanto, que apesar de ter sido o livro de Carnot mencionado em uma sessão da Academia, não despertou interesse algum na ocasião, e mesmo depois.

A audiência possível de Carnot eram os engenheiros e os técnicos (que hoje diríamos “de grau médio”). Havia na época os extremos educacionais na França, dos “*mécanciens autodidactes*” e dos “*ingénieurs*” alunos da *École Polytechnique*, de formação ampla e abrangente. Isto antes de 1800; com a criação do *Con-*

⁹ Não se conservou o texto dos cursos. A idéia sobre as máquinas térmicas foi consignada em um “pli cacheté” depositado na Academia de Ciências de Paris aos 2 Jan. 1816 e aberto nos nossos dias, conforme Redondi (1980). *Nota do Editor*: As notas dos cursos de Clément foram recentemente publicadas por Philip Lervig, *BJHS*, v. 18, p. 147-197, 1985.

¹⁰ Não sei se podemos falar em um paradigma de Carnot, já que paradigma é um conceito coletivo, que se forma pela comunidade científica lentamente, até que se obtenha um consenso. Ele tinha é uma cosmovisão “calorífica” diferente do paradigma newtoniano-laplaciano da época. Respingando os pontos básicos, as idéias originais de Carnot são: máquina térmica cíclica encarada de um ponto de vista global; valor maior dos “graus superiores do calorífico”; rendimento ligado à função de Carnot $F_c = dT/T$; necessidade de dois reservatórios de calor; reversibilidade ou recuperabilidade das condições iniciais. A ênfase dos acadêmicos como Poisson e Fourier é sobre as condições microscópicas, fluxo de calor, equações diferenciais do “movimento do calor”; processos, mas não ciclos.

servatoire des Arts et Métiers em 1800 e da *École Centrale des Arts et Manufactures* (em 1829, portanto posterior à feitura das *Réflexions*), houve formação de engenheiros intermediários.

O movimento filosófico e social colocou o crescimento industrial em evidência. É particularmente significativo o interesse pela tecnologia do Saint-Simonismo. Este movimento socialista utópico foi postulado sobre um ideal de propagação do conhecimento científico como condição de progresso real. Veremos a sua importância para Carnot.

A *Association Polytechnique*, fundada por Auguste Comte, congregava os antigos alunos da *École Polytechnique*. Carnot associou-se e participava das reuniões. Conheceu Comte através do seu irmão Hippolyte (provavelmente), que não era engenheiro, mas era ativo no Saint-Simonismo, tendo sido secretário de Saint-Simon. Hippolyte procurou fazer com que os engenheiros dessem instrução popular em tecnologia e ciência. O Saint-Simonismo desintegrou-se com a retirada de Comte (1824), seguida da morte de Saint-Simon, mas deixou uma trilha visível. Inclusive no pensamento econômico de Carnot, tal como aparece nos seus manuscritos econômicos inéditos, recentemente publicados (GRINEVALD, 1976; CIMBLERIS, 1985).

A participação de Carnot na *Association Polytechnique* é talvez a única atividade participativa de Carnot após a feitura do livro. Bastante solitário, e durante algum tempo afastado de Paris pelo serviço militar, Carnot mantinha algumas relações entre os ex-colegas. É importante o necrológio de Gondinet (1833) por nos dar a opinião de colegas sobre Carnot. Este documento acha-se reproduzido em apêndice ao livro de Redondi (1980). Gondinet reconhece que Carnot contribuiu “importantes teoremas que mais tarde foram confirmados por experiência direta” (referindo-se, provavelmente, à física dos gases). A mentalidade politécnica favorecia a experiência matematizável; isto se vê na afirmativa de que o livro de Carnot “não se acha na forma ordinária da escrita científica”. Gondinet torna claro que o pensamento de Carnot não estava de acordo com os critérios metodológicos do paradigma reinante.

Traços da influência imediata de Carnot

Até há pouco tempo os historiadores da Termodinâmica afirmavam que a obra de Carnot

permaneceu ignorada até a sua “redescoberta” por Thomson em 1847. Devemos a Redondi (1980) a revelação de que de fato houve vários inventores de máquinas, a partir de 1835 (portanto, após a morte de Carnot), que utilizaram as suas diretrizes, e que na sua maioria reconhecem expressamente esta dívida intelectual. Na maioria trata-se de engenheiros que levaram os seus inventos até a realização de engenhos operantes, que, no entanto não tiveram sucesso prático.

Deixarei a enumeração destes discípulos espirituais de Carnot a um apêndice.

Não podemos esquecer, de forma alguma, a importante Memória de Clapeyron de 1834, publicada, como era próprio, no *Journal de l'École Polytechnique*¹¹. Clapeyron toma o axioma de Carnot (a saber, a impossibilidade do moto perpétuo)¹² e desenvolve as suas idéias, colocando-as em forma matemática, usando o diagrama p-V (que é dito de Clapeyron, mas foi usado na época de Watt) e os resultados experimentais mais recentes do que os acessíveis a Carnot, a saber, de Delaroche e Berard, Arago e Dulong.

A partir daí, lentamente, Carnot passa a ser citado pelos autores de textos didáticos. Assim, Flachet (1835), Poncelet (1841, p. 202) embora apenas na segunda edição da sua *Mecânica Industrial*; Laboulaye, 1845, no seu *Dicionário*¹³. Em 1847 dá-se a “redescoberta” por Thomson, de um exemplar das *Réflexions* conseguido a muito custo, e o resto é história consagrada, embora ainda sujeita a reinterpretações.

A máquina a vapor impera até os anos 60 e mesmo nos 30 anos seguintes. Fixamos a data de 1860 por ser a do motor a gás de Lenoir, sem compressão, mas viável. A patente de Beau de Rochas (1861) passa despercebida na época, mas introduz o ciclo Otto e o motor de quatro tempos. Seguem-se vários motores a gás, mas o marco seguinte é o motor de Otto e Lan-

11. Clapeyron (1834). Também em Pogg. An. V. 59, p. 446-556, 1843; tradução inglesa de Eric Mendoza na sua edição de Carnot. Este último livro constitui uma coletânea ao alcance da bolsa do estudante, dos originais de Carnot, Clapeyron e Clausius, com excelente introdução de Mendoza.

12. Sobre o rendimento térmico, prevalecem entre, digamos, $\eta = 0,97$ e $0,99$, outros fatores. Enquanto um aumento do rendimento entre $0,05$ e $0,10$ é decisivo, na região por ora utópica dos 90% não é a conversão do calor que decidirá o projeto e sim, provavelmente, a disponibilidade de materiais refratários.

13. LABOYLAYE, 1863. Reproduzido em REDONDI, 1980, p. 231-2.

gen de 1868, que inaugura a era do motor a combustível líquido. Diesel (1893) tenta realizar o ciclo de Carnot, não o consegue, mas neste afã cria o motor de combustão interna de maior rendimento até agora realizado. Cito isto por ser um exemplo da profunda influência que Carnot continuou exercendo na Termodinâmica aplicada. O seu ciclo continua sendo o padrão de comparação universalmente utilizado, ainda que não seja o único ciclo reversível, nem o mais simples e nem aproximadamente realizável na prática.

APÊNDICE

Os inventores de máquinas térmicas na década de 1830 na França influenciados pelas idéias de Carnot

Na relação seguinte utilizamos basicamente as informações de Redondi (1980).

1 – Boucherot (1835)

Um funcionário em Neufchâtel descreve o *Pyroaéromoteur*, dispositivo esférico com aquecimento direto do ar. Menciona as *Réflexions* como fonte da idéia da pré-compressão.

2 – Burdin (1836)

Máquina de ar quente, obviamente inspirada em Carnot, mas onde ele não é citado. Apresentado na *Académie* e publicado nos *Annales de Mines*.

3 – Bresson (1836)

Projeto descrito em uma carta à *Académie* onde o autor acusa a influência de Carnot (“acho que o livro foi publicado em 1821”). O *enginairfeu* foi realmente construído e funcionou. Este inventor frequentou o curso de Clément no *Conservatoire*. As suas invenções anteriores incluem o uso de tubos de ferro fundido para ar quente, um forno hermeticamente vedado e um filtro de óleo para o ar. Um outro “pli cacheté” de 1838, aberto em 1936, encontra-se a idéia de misturar o ar quente com frio, a fim de não forçar o metal. O autor parece não ter percebido que assim perdia o rendimento térmico. Entretanto, menciona os problemas de resistência dos materiais, da corrosão pelas cin-

zas e as dificuldades com a lubrificação e a compressão.

4 – Pelletan (1838)

Ex-aluno da *Polytechnique*, foi professor numa escola provincial de medicina. A sua carta de 12 de novembro de 1837 foi lida na sessão de 13 de novembro e publicada nas *Comptes Rendus* (5, 704, 1837). O combustível preconizado era gás de carvão a ser queimado em vaso fechado a 300°C. Máquina “em construção na oficina de M. Beauvisage”.

5 – Franchot (1836)

Este inventor bastante respeitado só veio a publicar um relato da sua máquina de ar quente em 1841 (nos *Comptes Rendus* e no *Le Technologiste*). Ele reconhece a influência das idéias de Carnot ao discutir as bases teóricas da máquina. Esta máquina foi construída na Inglaterra por Haseltine e Codner em Brumley-Bridge, Middlesex.

O reconhecimento do mérito de Franchot foi tardio. As máquinas de ar quente de Ericsson impressionaram os europeus pelo seu desempenho na propulsão marítima. Assim, por volta de 1850, os franceses se interessaram em ver se algum compatriota teria algo comparável. Foi assim que se concedeu o prêmio Montyon a Franchot, em 1853.

Resumidamente, trata-se de máquina de dois cilindros, entre os quais está intercalado um trocador de calor regenerativo (o “calefacteur”), de tubos metálicos delgados cheios de tela metálica. Franchot dispensa o êmbolo (presente, por exemplo, na máquina de Stirling) como sendo uma “capacidade neutra” prejudicial. As temperaturas extremas são de 325 a 20°C, respectivamente, operando-se com ar a 6 at.

Franchot escreveu uma “Memória sobre a teoria de Carnot” e apresentou-a na *Académie*, mas em seguida teve menos sorte. O trabalho não foi publicado por ter morrido o “referee”. Franchot reclama, uma nova comissão é nomeada (Lamé e Morin), mas é inútil. Em 1853 Franchot deposita um “pli cacheté” na *Académie*, em que trata dum “moteur sériaire” – motores sincronizados por mecanismos de biela e manivela. O envelope foi aberto em 1976 a pedido de Redondi. Vale lembrar ainda o motor solar, que foi tratado com desprezo.

Revista da SBHC, n. 6, p. 39-44, 1991

LISTA BIBLIOGRÁFICA

- AMONTONS, G. Moyen de substituer commodement l'action du feu à la force des hommes et des chevaux. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, Paris, p. 112-126, 1702.
- CABANES, Ch. Joseph Montgolfier inventeur du moteur à combustion interne. *Nature*, Paris, v. 64, p. 252-55, 363-8, 1936.
- CARNOT, Sadi. *Réflexions sur la puissance motrice du feu et les moyens propres à développer cette puissance*. Paris: Bachelier, 1824.
- _____. *Réflexions sur la puissance motrice du feu et les moyens propres à développer cette puissance*. Paris: J. Vrin, 1978. Edição crítica organizada e comentada por Robert Fox.
- CIMBLERIS, B. Reflexions on the motive power of a mind. *Physis*, v. 9, n. 4, p. 393-420, 1967.
- _____. O pensamento econômico de Carnot. *Bol. Soc. Bras. Hist. Ciência*, v. 3, p. 22-4, 1985.
- CLAPEYRON, E. Mémoire sur la puissance motrice du feu. *Journal de l'École Polytechnique*, v. 16, p. 153-75, 1834.
- CLERGET, P. Reconstitution du moteur à explosion des frères Niepce de 1806. *Comptes Rendus*, v. 180, p. 905-8, 1925a.
- _____. Nouvelles recherches sur les origines du moteur à combustion. *La Technique aéronautique*, v. 19, p. 98-118, 1925b.
- DESCARTES, R. Principes de Philosophie. In: ADAM; TANNERY (org.) *Oeuvres*. Paris, 1896-1911. V. 9.
- DIESEL, Eugen. *Diesel – der Mensch, das Werk, das Schicksal*. Munchen, Wilhelm Heyne Verlag, 1938.
- DIESEL, Rudolf. *Theorie und Konstruktion eines rationalen Warmemotors zum Ersatz der Dampfmaschinen und der heute bekannten Verbrennungsmotoren*. Berlin: Springer, 1893.
- GRINEVALD, J. Présentation d'un manuscrit inédit de Sadi Carnot. In: *Sadi Carnot et l'Essor de la Thermodynamique*. Paris: Ed. du CNRS, p. 383-388, 1976.
- MACHETTE, J. N. P. *Traité élémentaire des machines*. Paris, 1811.
- HUYGENS, Ch. *Oeuvres Complètes*. Den Haag: Nederlands Wetenschaps Maatschappij, 1888-1950.
- _____. Nouvelle force mouvante par le moyen de la poudre à canon et de l'air. In: *Oeuvres*, v. 22, p. 240-242. Publicado em 10/02/1673.
- LABOULAYE, Ch. Mécanique. In: *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, v. 2, p. 2323, Paris, 1863. Reproduzido em Redondi, 1980, p. 231-32.
- LEBON, Ph. *Développement des moyens qui viennent d'être proposés pour employer plus utilement les combustibles*. Patente francesa de 28 de setembro de 1799, com acréscimos de 25 de agosto de 1801.
- LERVIG, P. Sadi Carnot and Nicolas Clément. *Proc. 15th International Congress of the History of Sciences*. Edinburgh, p. 292-303, 1977.
- MONY-FLACHAT, St. *Traité élémentaire de mécanique industrielle*. Paris, 1835.
- MONTGOLFIER, Joseph. Pli cacheté. *Comptes Rendus*, v. 292, p. 791-3, 1936.
- NAVIER, C. L. M. N. Note sur l'action mécanique des combustibles. *Annales de Chimie et de Physique* (2), v. 11, p. 369, 1821.
- NIEPCE, Joseph-Nicephore; NIEPCE, Claude. *Pyréolophore ou machine dont le principe moteur est l'air dilaté par le feu*. Patente francesa, inédita, de 3 de abril de 1807. Seus desenhos encontram-se no Musée Denon.
- PAPIN, Denis. Dyonisii Papini De novo pulveris pyriis usu. *Acta Eruditorum*, Leipzig, 1668.
- PAYEN, J. *Les moteurs à combustion interne*. Paris, 1964.
- _____. *Capital et machine à vapeur*. Paris, 1969.
- PETIT, A. Th. Sur l'emploi du principe des forces vives dans le calcul de l'effet des machines. *Annales de Chimie et de Physique* (2), v. 8, p. 287-305, 1818.
- PONCELET, H. V. *Introduction à la mécanique industrielle. Physique expérimentale*. 2. ed. Metz-Paris, 1841.
- REDONDI, Pietro. *L'accueil des idées de Sadi Carnot et la technologie française de 1820 à 1860. De la légende à l'histoire*. Paris: Vrin, 1980.
- STIRLING, Robert; STIRLING, James. *Air Engines*. British Patents, nº 5456, 1827 e nº 8652, 1840.
- TRUESDELL, C.; BHARATHA, S. *The concepts and logic of classical thermodynamics as a theory of heat engines*. New York: Springer-Verlag, 1977.

ABSTRACT – The commonly held view is that Carnot's "Réflexions" had practically no influence on its publication in 1824 and for another 23 years, until rediscovered by Thomson. However, recent research (Redondi) showed its influence on French engineers, manifested in projects of "fire" (hot air) engines. Some were built, but were not practical. Carnot made no impression on French academic science, due to his style and to what amounted to a dissenting paradigm. His is an engineer's discourse grounded on new physical ideas. Carnot signals a convergence of the history of science with the history of technology. Carnot's predecessors work on hot air engines is reviewed.

(Recebido em 11/3/91)

Revista da SBHC, n. 6, p. 39-44, 1991