

Wallace Hume Carothers – Nylon, a primeira fibra sintética; Neopreno, a primeira borracha sintética

Raquel Gonçalves Maia¹

Departamento de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
rmcgonc@gmail.com

Wallace Hume Carothers – Nylon, the first synthetic fiber; Neoprene, the first synthetic rubber – *Many of the essential components of our world have a deep debt to the scientific achievements of Wallace Hume Carothers. In a meteoric career, Carothers' mind has outlined synthetic rubber – neoprene, polyesters and the first and exciting totally synthetic fiber – nylon; and, from the "Purity Hall", the famous DuPont Experimental Station laboratory where Carothers worked, they jumped into the industrial stardom. Neoprene serves the automotive, the electrical and the civil construction industries... and dresses the lover of water sports like diving and surfing. The textile industry weaves stockings and tights, lingerie and bathing suits in a thousand shapes and a thousand colors – with nylon always present.*

Born in 1896 in Burlington, Iowa, Wallace Carothers received his Ph.D. from the University of Illinois and taught at the Universities of Illinois and Harvard before joining DuPont as Director of Research in Organic Chemistry and Polymers.

He was a man of culture, loved music, singing and poetry as well as chemistry. Tormented by mental disorders, he died before the age of 41, several months before his daughter was born.

Muitos dos componentes essenciais do nosso mundo têm uma profunda dívida para com as conquistas científicas de Wallace Hume Carothers. A mente de Carothers delineou, numa carreira meteórica, a borracha sintética – o neopreno, poliésteres e a primeira e excitante fibra totalmente sintética – o nylon; e, da Purity Hall, o famoso laboratório da Experimental Station da DuPont onde Carothers trabalhava, saltaram para o estrelado industrial. O neopreno serve a indústria automóvel, elétrica, de construção civil... e veste o amante de desportos náuticos, mergulho, surf. A indústria têxtil tece as meias e os collants, a lingerie e os fatos de banho de mil formas e mil cores – com o nylon sempre presente.

Nascido em 1896 em Burlington, Iowa, Wallace Carothers doutorou-se na Universidade de Illinois e foi professor nas Universidades de Illinois e de Harvard, antes de integrar a DuPont como diretor de investigação em Química Orgânica e Polímeros.

Muito culto, amava a música, o canto e a poesia tanto quanto a química. Atormentado por distúrbios mentais, partiu antes de completar 41 anos de idade e vários meses antes da filha nascer.

1. O novo conhecimento

Wallace Hume Carothers foi o mais velho dos quatro filhos do casal Ira Hume Carothers e Mary Evalena McMullin. Nasceu em 27 de abril de 1896 em Burlington, no Iowa [1-4].

O pai era professor e vice-presidente no Capital City Commercial College. Este primoroso amanuense via o seu filho como seu seguidor, eventualmente com estudos mais avançados de estenografia e contabilidade. Vir Wallace a ser cientista, investigador – químico, físico..., professor universitário, nunca tal terá ocorrido a Ira Carothers. O rapaz era tímido, submisso, *slow learner*, a seu ver. A mãe foi mais perspicaz. Descobriu que o filho se interessava por ciência; que, sentado nos degraus da Biblioteca Pública, devorava *The New Knowledge* de Duncan [5]. A radioatividade, a energia, as teorias atômicas, a origem da vida... a resolução dos mistérios! Os elementos da Tabela Periódica, os verdadeiros deuses do Universo... No seu quarto, o jovem Wallace construiu um laboratório.

Wallace completou o ensino secundário em 1914, passou o ano seguinte a estudar no Commercial College, e partiu para o Tarkio College no Missouri, fundado pela Igreja Presbiteriana Unida. Estudava e trabalhava em *part-time* no Departamento Comercial. Desde cedo ganhou o cognome de *Prof* por parte dos colegas.

O laboratório! Wallace delira na pequena cave onde uma bancada e um par de secretárias quase preenchem o espaço. Os tubos de ensaio, os balões, os *gobelets* e os *erlenmeyers*... termómetros, manómetros, uma balança analítica... Os elementos, o carbono, a química orgânica... As moléculas, a sua composição atômica, as suas propriedades, a sua estrutura... Sente que está ali a sua casa, um sonho tornado realidade. Arthur Pardee (1885–1962), o professor de química do *College*, dirá que Wallace era “uma pessoa notável”, com uma destreza intelectual e manual invulgar; incita-o a ir mais longe, a enfrentar um doutoramento.

Entretanto, Wallace Carothers é nomeado “instrutor de química” no Tarkio College, atrasando a sua própria formação institucional. Propositadamente? Receio de enfrentar o pai? Carothers sabe que não regressará a Des Moines, que não será professor de ensino comercial técnico. Será

¹ Professora Catedrática aposentada.

químico, cientista, investigador na fronteira do desconhecido. Mas ciência nova não se faz no *little old Tarkio*. Inscreve, então, o seu nome no programa de doutoramento da Universidade de Illinois, em Urbana.

2. Illinois e Dakota do Sul

Quando no outono de 1920 Wallace Carothers iniciou o seu trabalho para doutoramento, o Departamento de Química da Universidade de Illinois era já um dos maiores e mais conceituados nos EUA – liderado pelo proeminente William A. Noyes (1857–1941), assistido pelo brilhante químico orgânico Roger Adams (1889–1971) desde 1916.

Professores-investigadores e alunos viviam em eferescente entusiasmo científico. Carothers integrou o ambiente com o mesmo ânimo. Aí permanecerá cinco anos, com um ano de intervalo, sob a orientação de Adams, *The Chief*, e a supervisão do seu “braço direito”, Carl Shipp Marvel (1894–1988), mais conhecido por *Speed Marvel*. Problemas monetários obrigaram-no a aceitar, por um ano letivo, o posto de professor-instrutor no Departamento de Química da Universidade de Dakota do Sul. Foi um ano extraordinário. Carothers envolve-se com os problemas científicos em profundidade. Sente que tem de compreender o que é uma ligação química, qual o papel dos eletrões dos átomos na formação das moléculas, como e porquê ocorrem as reações químicas. Estuda os trabalhos de Gilbert Lewis (1875–1946) e de Irving Langmuir (1881–1957; Prémio Nobel da Química em 1932) e, em 1923, publica o seu primeiro artigo científico, fruto de investigação independente, sobre a aplicação da teoria do octeto, no *Journal of the American Chemical Society* [6].

De regresso a Illinois, Carothers trás uma reputação de investigador em crescendo. Considerado por todos o melhor aluno de química orgânica e, por muitos, o melhor aluno de química-física, matemática, física e técnicas laboratoriais, Carothers finaliza a sua tese de doutoramento sobre a ação catalítica do óxido de platina (vulgarmente chamado “catalisador de Adams”) na hidrogenação de lípidos insaturados. Trabalho interessante, mas rotineiro, excessivamente empírico a seu ver.

Em princípios de 1924 envia um novo trabalho independente para publicação: *The Double Bond* [7], onde explicitamente começa por citar Lewis e o seu famoso artigo *The Atom and the Molecule* [8], para em seguida justificar a reatividade da dupla ligação e propor um mecanismo para a hidrogenação catalítica. Polémico... Corajoso... Pouco resistiu à erosão do tempo, mas abriu caminho a novas revelações. *Speed Marvel* dirá que Carothers foi protagonista de um dos artigos fundamentais em química orgânica. Demonstrado fica que Wallace Carothers era muito mais do que um bom aluno, era um cientista de ideias próprias, vitais, potencialmente um líder.

A Universidade de Illinois nomeia Carothers assistente no Departamento de Química. Carothers está cansado. Tem vinte e oito anos, deseja um futuro, sonha com um laboratório próprio, testar as suas ideias, porventura de interesse comercial. Mas as indecisões levam-no a aguardar o destino passivamente.

3. DuPont, em Wilmington, Delaware

Em 1916, Roger Adams tinha deixado a Universidade de Harvard, em Cambridge, Massachusetts, a fim de integrar a Universidade de Illinois. Em seu lugar ficou James Bryant Conant (1893–1978) que associou ao ensino o espírito competitivo da investigação académica. Dez anos depois, a Universidade de Harvard era já uma escola de elevado nível de excelência. O preenchimento de uma vaga de instrutor em Química Orgânica Estrutural e a recomendação de Adams levam Carothers para Harvard. Embora reconhecendo a enorme expansão da Universidade, os fundos substanciais para investigação, a grande liberdade e independência temática e o benefício de se lecionar poucas horas, *academic paradise*, Wallace sentiu dificuldade de adaptação ao regime da Universidade de Harvard. O seu progresso científico foi lento, perdido em múltiplas hipóteses que não concretizava. E, porventura, o feliz “assédio” da DuPont ter-lhe-á prendido ideias e movimentos.

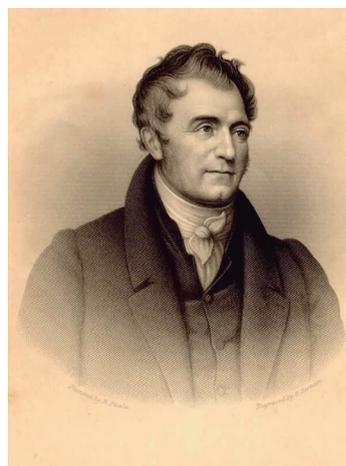


Figura 1 – Éleuthère Irénée du Pont de Nemours.

A E. I. du Pont de Nemours and Company, a DuPont, era uma das maiores e mais bem sucedidas sociedades comerciais dos EUA. Foi fundada por Éleuthère Irénée du Pont de Nemours (1771–1834), que estudara química com Antoine Lavoisier, em 1802; era, então, uma fábrica de manufatura de pólvora. Os filhos e genro de Éleuthère Irénée continuaram a obra e, em sucessão no interior da família du Pont, o legado continuou. Abandonou em devido tempo a pólvora e outros artefactos bélicos e expandiu-se por áreas comerciais de relevo. Lamot du Pont (1880–1952) foi seu presidente entre 1926 e 1940.

Em 1903 foi criada a *Experimental Station*, junto da fábrica de pólvora de Brandywine – com o fim de promover a investigação científica “como uma grande plataforma para o crescimento industrial”. A química era dominante. Charles Stine (1882–1954) foi diretor do Departamento de Química da DuPont desde 1924 até 1930. Stine era um apoiante incondicional dos benefícios da investigação fundamental. Sustentando que os interesses comerciais ficavam defendidos com uma abordagem teórica e nunca simplesmente empírica, conseguiu que Lamot du Pont e a administração da DuPont lhe dessem a oportunidade de

pôr em prática o seu programa: *Pure Science Work*. O recrutamento de investigadores universitários de excelência começou de imediato e, durante um bom número de anos, as criações por eles protagonizadas foram altamente lucrativas. Na *Experimental Station*, um novo espaço ganhou o nome informal de *Purity Hall*; e, jocosamente, os seus investigadores o de *Virgins*.

Estamos em 1927. Ainda nesse ano, a DuPont oferece a Wallace Carothers o cargo de líder de investigação em química orgânica. Uma troca de correspondência, uma visita convidada à *Experimental Station*... Seria necessário que a DuPont adquirisse a instrumentação adequada, o pessoal qualificado... que lhe fosse garantido um tempo “indefinido” para investigação fundamental, escreve Carothers. É o próprio Stine que a tudo responde e tudo assegura; e o ordenado sugerido vai aumentando em cada nova carta.

Em 9 de outubro de 1927, Wallace Carothers recusa a proposta, em 13 do mesmo mês escreve afirmando a sua relutância em rejeitar a oferta, e em 1 de novembro decide aceitar o cargo na DuPont. E apresenta desde logo um programa de investigação: construir macromoléculas, polímeros, com massa molecular superior a 4021 [9] e testar a hipótese de Hermann Staudinger (1881–1965; Prémio Nobel da Química em 1953) de que as grandes moléculas orgânicas... eram mesmo moléculas, macromoléculas, e não agregados de pequenas moléculas justapostas por forças desconhecidas. Stine encoraja Carothers a perseguir o seu interesse em polímeros e reações de polimerização.

4. Construção de macromoléculas

Em fevereiro de 1928, Wallace Carothers instalou-se em Wilmington e começou a trabalhar de imediato na *Experimental Station*.



© Smithsonian Institution Archives. Image # SIA2008-0359

Figura 2 – Wallace Carothers no seu laboratório na DuPont.

Para sintetizar macromoléculas, comprovar a hipótese de Staudinger e evitar confusões sobre o produto formado, Carothers escolheu uma reação comum, a reação de ácidos carboxílicos com álcoois a fim de produzir ésteres. Mas, e aqui vem o toque de génio, quer as moléculas de álcool, quer as de ácido deveriam ser bifuncionais. Sendo cada molécula bifuncional, com duas extremidades que podem reagir, vai-se formando passo a passo uma cadeia polimérica longa com estrutura bem conhecida.

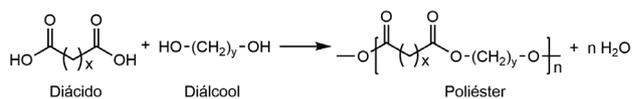


Figura 3 – Reação geral de formação de poliésteres.

Carothers projetava as experiências e os seus assistentes efetuavam-nas. Ao longo dos anos, o grupo de investigação pôde contar com cerca de 20 assistentes, em geral, não mais de 10 de cada vez: Donald Coffman, James Arvin, Frank van Natta, Ralph Jacobson, George Dorough, Glen Jones, Gerard Berchet, Arnold Collins, Martin Cupery, Harry Dykstra, Edgar Spanagel, James Kirby, Joseph Labovsky, Paul Flory (1910–1985; Prémio Nobel da Química em 1974) e um colaborador e amigo de elite: Julian Hill (1904–1996).

Os poliésteres obtidos por síntese entre 1929 e 1931 responderam a todas as questões levantadas. Tinham massa molecular muito elevada, e eram “construídos” com ligações de valência comuns.

Staudinger tinha razão. Carothers demonstrou-o. O caos na química orgânica dos polímeros foi eliminado. Grande feito! Publicado na *Chemical Reviews* em 1931, tendo por único autor Wallace Carothers, este documento de 74 páginas, é uma referência na história da polimerização [10]. Novos termos foram por ele introduzidos: “unidade repetitiva”, “copolímero”, “terminador”... Os polímeros naturais, a celulose e a seda, e os polímeros sintéticos, os poliésteres, eram “superpolímeros” – uma vez que a sua massa molecular ultrapassava 10000, obtidos por “condensação polimérica” – dado que na união de moléculas eram eliminadas moléculas pequenas. A borracha natural era também um superpolímero, mas um “polímero por adição” – visto que todos os átomos das moléculas que se unem passam a fazer parte do polímero.

Entretanto, Wallace Carothers usava a sua “varinha mágica” e fazia emergir um produto de grande interesse comercial – borracha sintética, o neopreno.

5. Neopreno

Na DuPont já há muito que se procurava obter uma “borracha” sintética. Elmer Bolton (1886–1968), o novo diretor do Departamento de Química da DuPont, sucessor de Charles Stine, fora o primeiro a pensar no risonho futuro de um composto que pudesse substituir a borracha natural.



Figura 4 – Julius Nieuwland no seu laboratório na Universidade de Notre Dame.

Por volta de 1920, o Reverendo Julius Nieuwland (1878–1936), professor na Universidade de Notre Dame em South Bend, Indiana, tinha conseguido polimerizar acetileno usando como catalisador um sal de cobre. Bolton pensou que tal processo poderia conduzir à formação de butadieno e, a partir deste, a um polímero por adição com as características da borracha natural. Bolton pôs Carothers ao corrente e, em janeiro de 1930, Carothers visitou Nieuwland em Notre Dame. Ambos amantes de ciência e de poesia, entenderam-se na perfeição. Nieuwland preparava então divinilacetileno, em presença de cloreto de cobre e ácido clorídrico, mas formava-se sempre uma “impureza”, o vinilacetileno.

De regresso, Carothers isola o vinilacetileno, trata-o com diferentes reagentes e pede a Gerard Berchet, que analise as transformações ocorridas. As amostras aguardavam o reconhecimento de Berchet quando Arnold Collins verificou que na água de lavagem permanecia uma substância em emulsão, que dava lugar a um produto sólido. Sólido, mas extremamente elástico e extensível! Era policloropreno, a primeira borracha sintética produzida no mundo!

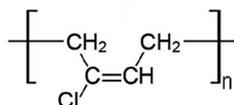


Figura 5 – Policloropreno.

A invenção da primeira borracha sintética só foi anunciada em novembro de 1931, no *Organic Chemistry Symposium* da American Chemical Society que teve lugar na Yale University, em New Haven. Foi registada sob o nome de *DuPrene*. Em 1936 tomou o nome de *Neoprene* (ou Neopreno, em português). Aparência, elasticidade, resiliência, robustez e resistência ao calor, a abrasivos, a óleos, a gasolina e a outros solventes, resistência ao tempo de armazenamento, ao ozono, ao oxigénio e a outros gases destrutivos... Em suma, em muitos aspetos melhor do que a borracha natural.



© Hagley Museum & Library

Figura 6 – Wallace Carothers e o neopreno.

6. Nylon

Os poliésteres de Carothers originavam fibras, mas estas não tinham a resistência necessária para se tornarem

fibras têxteis com interesse comercial. Por que não criar, então, poliamidas? As poliamidas são semelhantes aos poliésteres, mas a ligação amida é muito mais estável. Se fosse possível reduzi-las a fio, muito provavelmente resistiriam à água quente e aos materiais comuns de lavagem. Em julho de 1931 já Julian Hill tinha conseguido produzir superpoliamidas, mas não em matéria filamentosa – talvez fossem “super” demais... O tempo e o estudo ajudaram a superar os problemas essencialmente técnicos. Foram testadas 81 potenciais combinações entre diaminas e diácidos.

Com uma diamina de cinco átomos de carbono (pentano-1,5-diamina ou cadaverina) e um diácido de 10 átomos de carbono (ácido decanodioico ou ácido sebácico), em julho de 1934 Donald Coffman e o seu colega W.R. Peterson fizeram surgir o tão promissor polímero-5,10. Carothers não estava presente. A fibra, comparada com a seda natural, era mais forte, mais elástica, mais resistente ao mofo e à traça. A poliamida-5,10 era muito interessante dum ponto de vista de ciência pura, mas não de investimento industrial, uma vez que os reagentes eram produtos caros e escassos. O estudo sistemático continuou.

Foi Gerard Berchet que, em 28 de fevereiro de 1935, coadjuvado por Harry Dykstra, produziu um atraente superpolímero, com brilho de pérola. A poliamida-6,6 fora obtida a partir de derivados químicos do benzeno, um subproduto de baixo valor do carvão ou do petróleo bruto: hexano-1,6-diamina e ácido hexanodioico (ou ácido adípico).

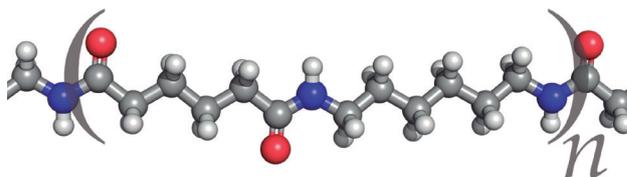
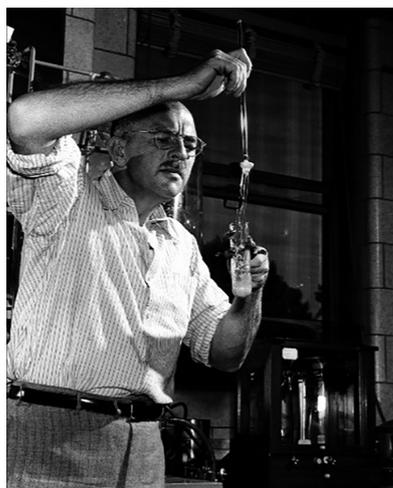


Figura 7 – Nylon-6,6.

A poliamida-6,6 foi um dos maiores êxitos de sempre da DuPont. As suas excepcionais qualidades mecânicas, elétricas e térmicas permitiam a sua introdução num grande conjunto de indústrias. Para além de poder substituir a seda na manufatura de vestuário, o seu objetivo principal, podia também substituir com vantagem metais e materiais de construção, atendendo à sua leveza, baixo coeficiente de atrito, bom isolamento elétrico e boa resistência à fadiga e a agentes químicos. A escolha do seu nome passou por várias versões. Em sucessão: “No-run”, “Nuron”, “Nilon” e, finalmente, para soar como um *nerve tonic*, *Nylon*. O nylon foi a primeira fibra totalmente sintética a ser comercializada. Mas entre a sua invenção e o seu lançamento no mercado muito foi necessário ultrapassar: problemas técnicos, testes, avaliação, melhoramentos, fição.

A estratégia de *marketing* da DuPont foi espantosa. Vários meses antes do começo das vendas de produtos de nylon podia ler-se nos jornais que tinham sido confeccionados com a “primeira fibra têxtil orgânica produzida pelo homem”, que era “tão forte quanto o aço e tão fina quanto uma teia de aranha”. O público entusiasmou-se, as mulheres deliraram. No dia 15 de maio de 1940, um certo número de lojas selecionadas lançou 5 milhões de pares de meias de nylon com um sucesso retumbante. Todas se venderam nesse mesmo dia!



© Hagley Museum & Library

Figura 8 – Julian Hill recriando a síntese do nylon (1941).

Durante a Segunda Guerra Mundial, toda a produção de nylon foi dirigida para o fabrico de paraquedas. Terminada a guerra, o retorno foi igualmente deslumbrante. Em muitos locais formaram-se longas filas para aquisição das famosas meias.



© Hagley Museum & Library

Figura 9 – Uma multidão alinha-se para a compra de meias de nylon. São Francisco, 1946.

7. Em memória

Alto, elegante, atlético, Wallace Carothers dos dias bons sempre se mostrava impecavelmente vestido para a ocasião. O fato escuro de lã, casaco e colete meticulosamente abotoados, camisa formal e gravata a preceito. Corte de cabelo severo. E, para uma boa pescaria, as calças impermeáveis e as botas de abotoadura até aos joelhos. Tinha um trato gentil, cuidadoso, isento. *Will you please...* era um dos seus começos de frase favoritos, a que se seguia uma prescrição de trabalho.

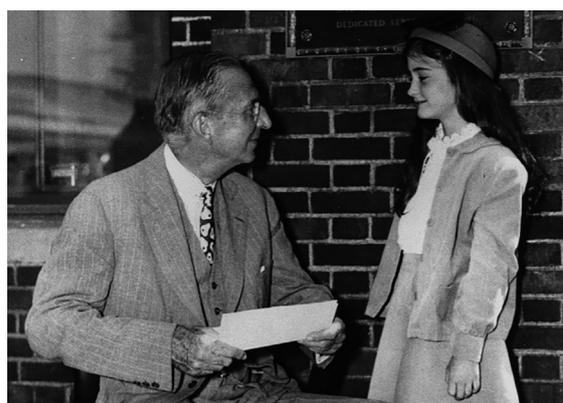
Desde cedo que um transtorno mental o acompanhava. Melancolia e pessimismo... por vezes, até a sua tão amada investigação científica perdia o encantamento. Vivia em permanente obsessão de nunca mais vir a ter uma ideia científica inovadora. Fixado na sua própria depressão, apoderava-se dele um mutismo soturno que o impedia de fazer as escolhas mais simples, escrever uma carta,

levantar um braço. “Quando estava deprimido, era um ser humano muito triste”, assim o descreveu Labovsky. Bem pelo contrário, quando *in high spirits* era jovial, brilhante, a pessoa mais interessante que gostamos de ter por perto. O avanço da medicina permite diagnosticar, hoje em dia, a sua perturbação mental de doença “maníaco-depressiva”, ou “transtorno bipolar”.

Wallace Carothers adorava poesia. Dizia ele que a poesia não aliviava as dores da depressão, mas pintava a melancolia de bonitas cores. Sempre o atraíram profundamente os poemas sobre a morte. Citava com frequência Swinburne e o seu poema “O Jardim de Proserpina”: [...] *Que nenhuma vida viva para sempre;/ Que homens mortos nunca se levantem* [11]; e sempre transportava uma cápsula de cianeto de potássio no seu bolso.

A partir de 1934 foi várias vezes internado, de *motu próprio*, para tratamento psiquiátrico. Em 28 de abril de 1937 deslocou-se até Filadélfia e pediu para ser internado no The Institute of the Pennsylvania Hospital. Contudo, logo na manhã seguinte, saiu e hospedou-se num hotel próximo. A cápsula de cianeto arrancou-o à vida e ao insuportável sofrimento. O seu corpo foi transportado para Wilmington e aí cremado.

Por volta de 1931, Carothers apaixonara-se por Sylvia Chalfant Windle, Moore por casamento. Era uma jovem extremamente sedutora. Tornaram-se amantes. Ela veio a divorciar-se em 1933, mas um previsível comprometimento com Wallace não se verificou. O romance acabou, mas as consequências sobre Carothers talvez não. Algum tempo depois, casou com Helen Everett Sweetman, bem conhecida de todos, uma vez que trabalhava na repartição de patentes da DuPont. Helen estudara química e graduara-se no *Women's College* da Universidade de Delaware em 1933. O casamento teve lugar em Nova Iorque, em fevereiro de 1936, na ausência de qualquer familiar. A filha de Wallace e Helen Carothers nasceu em 26 de novembro de 1937, cerca de sete meses depois do falecimento do pai. Chamou-se Jane.



© Hagley Museum & Library

Figura 10 – Lammot DuPont conversando com Jane Carothers (1946).

Como investigador, Carothers foi extraordinário. Nos nove anos passados na DuPont, registou mais de cinco dezenas de patentes e foram muitos os artigos científicos que publicou. Acreditava que, ao longo de toda a sua vida, tinha tido uma única “boa ideia” – a síntese e a estrutura dos polímeros. Mas que grande “ideia”! Com ela abarcou e deu asas a um vastíssimo campo reacional de construção

de polímeros de condensação em “bancada de laboratório”, com extensa aplicação industrial e comercial.

Na primavera de 1936, foi eleito membro da National Academy of Sciences, juntamente com Orville Wright, criador do aeroplano com seu irmão Wilbur, e Leo Baekeland, o inventor do primeiro plástico sintético, a baquelite. Que grande honra! Carothers e Baekeland foram os primeiros químicos orgânicos industriais a serem reconhecidos com o maior prêmio científico que os EUA concedem.

Hermann Staudinger, em 1953, e Paul Flory, em 1974, receberam o Prêmio Nobel da Química pelos seus estudos sobre polimerização. Fosse Wallace Carothers vivo que a probabilidade de o ter recebido, sozinho ou partilhado, não é pura especulação. Assim escreveu Paul Flory na sua *Biographical – The Nobel Prize* [12]: “Após a conclusão do meu doutoramento em 1934, entrei para o Departamento de Investigação Central da DuPont Company. Tive a boa sorte de integrar o pequeno grupo chefiado pelo Dr. Wallace H. Carothers, inventor do nylon e do neopreno, e um cientista de extraordinário fôlego e originalidade. Foi através da minha associação com ele que comecei a interessar-me pela exploração dos fundamentos da polimerização e das substâncias poliméricas. A sua convicção de que os polímeros eram objetos merecedores de investigação científica mostrou-se contagiante”.

Agradecimento

Ao Hagley Museum and Library, que tão generosamente permitiu a reprodução de fotografias da sua formidável coleção de arquivo e, em particular, a Angela Achad, arquivista de referência e especialista em arquivos digitais.

Referências

- [1] R. Gonçalves-Maia, “Wallace Carothers – Nylon, a primeira fibra sintética; Neopreno, a primeira borracha sintética”, Coleção “Dos Átomos e das Moléculas”, vol. 7, Edições Colibri, Lisboa (em publicação).
- [2] M.E. Hermes, “Enough for one Lifetime: Wallace Carothers, Inventor of Nylon”, American Chemical Society e Chemical Heritage Foundation, 1996.
- [3] S.B. McGrayne, “Prometheans in the Lab: Chemistry and the Making of Modern World”, Cap. 7: “Nylon and Wallace Hume Carothers”, McGraw-Hill, Nova Iorque, 2001.
- [4] Y. Furukawa, “Inventing Polymer Science – Staudinger, Carothers, and the Emergence of Macromolecular Chemistry”, Chemical Sciences in Society, University of Pennsylvania Press, Filadélfia, 1998.
- [5] R.K. Duncan, “The New Knowledge”, A.S. Barnes & Company, Nova Iorque, 1906.
<https://archive.org/details/newknowledge00dunrich>
- [6] W.H. Carothers, *J. Am. Chem. Soc.* **45** (1923) 1734–1738.
- [7] W.H. Carothers, *J. Am. Chem. Soc.* **46** (1924) 2226–2236.
- [8] G.L. Lewis, *J. Am. Chem. Soc.* **38** (1916) 762–785.
- [9] O número mágico 4021 era pertença do químico orgânico alemão Emil Fischer (1852–1919; Prêmio Nobel da Química em 1902). A ele se deve a síntese de um derivado da maltose, cuja massa molecular tinha o elevadíssimo valor de 4021 – excedia o de qualquer produto de síntese.
- [10] W.H. Carothers, *Chem. Rev.* **8** (1931) 353–426.
- [11] A.C. Swinburne, “Poems and Ballads and Atalanta in Calydon”, ed. K. Haynes, pag. 136–138, Penguin Classics, Londres, 2000.
- [12] P.J. Flory, *Biographical – The Nobel Prize*
<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1974/flory/auto-biography/>

