

Alfred Nobel

– O “primeiro químico verde”?

ADÉLIO A.S.C. MACHADO*

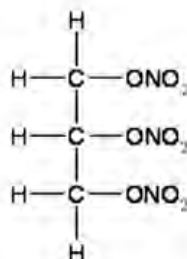
Analisa-se a contribuição de Alfred Nobel (AN), no Sec. XIX, para a emersão do fabrico industrial da nitroglicerina (NG) e de variados explosivos baseados neste composto, e a sua evolução posterior, com vista a mostrar que a resolução dos problemas surgidos no desenvolvimento do processo de síntese industrial dos explosivos de NG envolveu a emergência precoce, com avanço da ordem de um século, de algumas atitudes preconizadas actualmente pela Química Verde (QV) para compatibilizar a prática da Química Industrial com o Desenvolvimento Sustentá-

vel. Paralelamente, aproveitando o ensejo para divulgar a personalidade polifacetada de AN (químico, inventor, empreendedor e industrialista), acrescenta-se-lhe mais uma faceta: a de precursor da QV. Finalmente, faz-se uma análise da actividade de AN sob o ponto de vista dos Doze Princípios da QV, que evidencia que esta envolve duas componentes – uma científica, outra tecnológica – sendo preciso “esverdear” conjuntamente a Química Laboratorial e a Engenharia Química para se praticar Química Industrial Verde.

A Nitroglicerina – o primeiro explosivo molecular

Em meados do séc. XIX, quando a Química Industrial iniciou o seu desenvolvimento, começou a ser investigada a preparação de explosivos alternativos à pólvora,¹ que tinha vindo a ser usada na Europa desde o séc. XIII para fins militares, mas tinha limitações quando utilizada em desmontes (pedreiras, minas, perfuração de túneis para construção de linhas-férreas, abertura de canais, etc.). Estas aplicações civis da pólvora estavam em forte expansão devido ao crescimento da actividade industrial e ao progresso da engenharia civil decorrentes da Revolução Industrial, mas este explosivo mostrava-se pouco poderoso, o que incentivou a procura de sucedâneos. Esta pressão fez emergir um novo campo da química, os chamados *explosivos de elevada potência*, que foi despoletado (palavra adequada ao tema!) pela nitroglicerina (NG, Esquema 1), ou trinitrato de propano-1,2,3- triolilo – o primeiro composto orgânico explosivo obtido por síntese total², cujo lança-

mento e aceitação pelo mercado, após muitas vicissitudes, correspondeu à abertura do que é presentemente uma área importante, e em crescimento,³ da Química Industrial [1].



Esquema 1 Nitroglicerina, aliás trinitrato de propano-1,2,3- triolilo

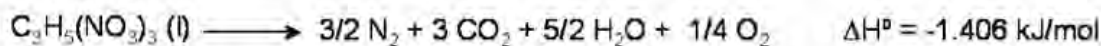
A superioridade como explosivo da NG sobre a pólvora resulta de a sua molécula (ver figura) conter simultaneamente o combustível (a cadeia orgânica) e o oxidante (o oxigénio nos grupos nitro), justapostos de modo a proporcionar contacto perfeito – como a justaposição é feita no interior da molécula, a reacção exotérmica *intramolecular* (Esquema 2) produz uma explosão muito violenta. Pressupondo que a reacção é completa, a NG líquida produz um vo-

lume de gases 12.000 vezes superior ao seu, e a temperatura e pressão atingem momentaneamente, em microsegundos, valores da ordem de 10.000°C e 275.000 atmosferas, respectivamente [2,3].⁴

Embora a NG tivesse sido preparada pela primeira vez por A. Sobrero⁵ [4], o desenvolvimento quer do processo do seu fabrico industrial, quer da sua incorporação em produtos de utilização segura, deve muito ao químico sueco Alfred Nobel (1833-1896, AN). Este químico é conhecido sobretudo por ter legado a sua imensa fortuna, em grande parte resultante dos seus inventos no campo dos explosivos, para constituir a Fundação Nobel, que financia os famosos prémios científicos. No entanto, AN foi um químico e inventor com uma personalidade rica, polifacetada e fascinante [5-9], que merece ser recordada e divulgada aos químicos e engenheiros químicos em formação, particularmente quando, como agora, o desenvolvimento da Química Industrial exige inovação profunda para evoluir para Química Verde (QV).

O *primeiro objectivo* deste artigo é apresentar uma análise global das ca-

*LAQUIPAI, Faculdade de Ciências, R. do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto (amachado@fc.up.pt)



Esquema 2 A superioridade explosiva da NG

racterísticas do trabalho de AN sobre a NG do ponto de vista actual da QV, que mostra que muitas das soluções que ele adoptou para ultrapassar os problemas resultantes da perigosidade do composto, embora tivessem surgido por via empírica, individualmente e separadas no tempo, sem qualquer estratégia sistemática, ilustram a emersão de ideias presentemente encorpadas na QV – são exemplos de medidas de QV implementadas muito antes do seu tempo, que ilustram a génese empírica desta. Um *segundo objectivo* é a divulgação da actividade criativa de AN como químico inventor, inovador e empreendedor, alguém com a mentalidade que o ensino deve propagandear como exemplo, para produzir profissionais que possam ultrapassar as dificuldades actuais da química a nível societário. A discussão a propósito do primeiro objectivo permite atribuir a AN mais uma faceta criativa, que ainda não parece ter-lhe sido reconhecida: a de “primeiro químico verde” – um dos percursores da QV.

A análise da actividade de AN e do desenvolvimento posterior da indústria da NG constitui também um primeiro exemplo de que a contribuição tecnológica foi tanto ou mais importante que a da química de base para a emersão formal da QV – esta teve como origem a prática da tecnologia industrial, muito mais que a da química pura de laboratório. Este é um *terceiro objectivo* deste artigo: fazer notar que a exigência de a QV englobar conjuntamente tanto a Química Laboratorial Verde como a Engenharia Química Verde se manifestou logo no séc. XIX, quando a Engenharia Química ainda nem sequer se tinha individualizado como ramo de saber – e que a QV tem uma dupla natureza que exige simultaneamente Química Académica Verde e Engenharia Química Verde, o que, por vezes, os químicos parecem ignorar.

(Esquema 3), sem intenção de obter um composto explosivo, por reacção de glicerina (propano-1,2,3-triol ou glicerol) com uma mistura de ácidos nítrico e sulfúrico concentrados (mistura sulfonítrica) [4].

Sobrero relatou que, além de ser explosivo, a NG tinha efeitos fisiológicos interessantes e contraditórios (ver adiante). Tendo verificado que o composto, um líquido oleoso, era muito difícil de manejar por explodir descontroladamente, Sobrero descontinuou a sua pesquisa sobre aplicações da NG, alegadamente porque defendia que “a ciência não devia proporcionar empreendimentos nocivos” [6] – uma *primeira medida* que se enquadra na actual postura da QV, que preconiza a eliminação do fabrico e uso, tanto quanto possível, de substâncias perigosas (na Tabela 1, adiante, foram listadas as medidas precoces de QV que emergiram com a utilização da NG). Mais tarde, já no fim da sua vida, Sobrero descaiu desta posição: aceitou ser consultor de uma fábrica de NG montada em Itália por AN. A esta mudança de atitude também se pode atribuir significado em termos de QV: mostra que, como em muitos casos a utilidade das substâncias químicas está intimamente associada às suas propriedades nocivas, é inevitável, por vezes, a preparação e o uso de substâncias perigosas⁶ – então, a QV preconiza a adopção de medidas de segurança adequadas.

Os contributos de AN para domar a NG

Uso de NG líquida como explosivo. As dificuldades de manipulação da NG resultavam de esta ter um comportamento imprevisível, com facetas contraditórias: por vezes explodia inesperadamente quando em repouso, outras vezes,

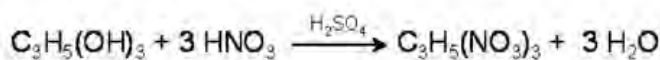
quando se pretendia utilizá-lo, custava a fazer explodir. Mais tarde, descobriu-se que quer a presença de bolhas de ar dispersas no óleo quer resíduos de matéria orgânica provenientes de impurezas da glicerina potenciavam as explosões súbitas, pelo que se passou a exigir maior qualidade desta (> 99,9% de pureza).

Apesar da “personalidade caprichosa” da NG, as suas propriedades como explosivo eram tão atraentes, e as pressões societárias para se conseguirem novos explosivos tão fortes, que Immanuel Nobel⁷, pai de AN, resolveu desenvolver o seu fabrico industrial. Em 1863, conjuntamente com o seu filho, montou em Helenburgo, próximo de Estocolmo, uma oficina onde desenvolveu os primeiros processos de produção industrial da NG. Aparentemente, foi AN quem “apresentou” a NG ao seu pai: em S. Petersburgo tinha sido aluno de um professor de química interessado no composto, N. Zinin, e tinha-se encontrado em Paris com Sobrero, cerca de 1851, quando ambos trabalharam no laboratório do Prof. Belouze [5].

Na referida fábrica incipiente, a NG era preparada inicialmente por um processo artesanal: a glicerina era misturada e agitada manualmente com uma mistura sulfonítrica arrefecida, em recipientes de pedra; no fim da reacção, a mistura era adicionada a água arrefecida com gelo. Num processo posterior para realizar a reacção, já tecnicamente mais evoluído, usava-se um reactor de chumbo com a forma de tronco de cone invertido, perfurado na base (uma espécie de funil), a partir do qual a NG formada era recolhida em água arrefecida com gelo. Em ambos os processos, o óleo obtido (NG) era lavado com água morna e com uma solução alcalina (de Na_2CO_3), para remover os ácidos.

A descoberta da NG

A NG foi descoberta em 1847 por A. Sobrero, que a sintetizou ingenuamente



Esquema 3 A síntese da NG por Sobrero

A utilização da NG líquida era muito perigosa, mas AN concebeu e desenvolveu uma série de inventos que possibilitaram o seu manejo e utilização com segurança acrescida. A *primeira grande invenção* de AN foi o detonador (patenteado em 1863) [5,7]: este dispositivo utilizava a explosão de uma pequena quantidade de pólvora, introduzida num recipiente de vidro ou madeira imerso nos vasos de NG, para provocar a detonação mais fiável e segura desta.⁸ A invenção do detonador, muito simples, baseada na observação de que a NG explodia por efeito de um choque (a pólvora requeria uma chama), iniciou uma nova era no uso da NG – revolucionou a tecnologia de utilização desta e dos explosivos posteriormente inventados. Com esta invenção, a mais importante no campo depois da invenção da pólvora, o uso da NG líquida desenvolveu-se muito, porque se mostrava muito eficaz em obras públicas, nomeadamente na perfuração de túneis. Por exemplo, o túnel de linha férrea de Hoosac, Massachusetts, EUA, andava a ser perfurado lentamente pelo método clássico (pólvora, pá e picareta) desde 1848, até que em 1868 começou a ser usada NG – o aumento da eficiência foi brutal e o túnel foi concluído em 1876 [6]. A NG era manufacturada no local (foram preparados 500 toneladas) e aplicada em latas de estanho ou directamente em orifícios perfurados na rocha. O armazenamento e transporte local da NG era feito na forma sólida, após arrefecimento com gelo, o que diminuía a frequência de explosões acidentais e permitia limitar a insegurança. Este caso mostra a emergência precoce de uma *segunda medida* hoje preconizada pela QV: quando há necessidade de utilizar substâncias perigosas deve-se realizar a sua preparação no local e momento de uso, para evitar o transporte a longas distâncias. Claro que no caso da NG líquida, no séc. XIX, este procedimento foi naturalmente ditado por razões de ordem prática – como o transporte da substância era tão perigoso que se tornava quase impossível, AN licenciou o fabrico da NG a empresas mineiras e de construção civil para que pudesse ser fabricada nos locais em que ia ser utilizada. Mesmo

assim, casos houve em que ocorreram explosões com efeitos brutais.

Vicissitudes do desenvolvimento do fabrico industrial da NG. Na realidade, mesmo com todas as precauções e quando feito por pessoal treinado, o manuseamento da NG líquida continuava a ser perigoso. A fábrica de Helenburgo foi destruída por uma explosão em 1864, que matou cinco pessoas, incluindo o irmão mais novo de AN, Emil, e inutilizou o pai Immanuel (teve um ataque cardíaco). AN assumiu então o comando da empresa – melhor, dos seus despojos, a partir dos quais realizou a respectiva recuperação. O fabrico da NG foi proibido em Estocolmo e seu termo, por acção dos ambientalistas da época (tão precoces como as medidas de QV aqui em discussão!) [6], mas como o explosivo já tinha mostrado a sua extraordinária eficácia na construção de linhas de caminho de ferro suecas, foi retomado em barcaças, no meio do Lago Malaren – e, pouco tempo depois, em 1865, quando AN conseguiu obter financiamento (capital de risco industrial, também precoce!) foi instalada nova fábrica num local remoto, em Winterwiken, onde se manteve durante cinco décadas. Paralelamente, AN montou outra fábrica de NG na Alemanha, em Krummel, um vale deserto perto de Hamburgo, que também foi destruída por uma explosão, em 1866. Estes e outros desastres na utilização da NG contribuíram para que a preparação, importação e uso de NG em Inglaterra fosse proibido por uma lei específica do parlamento inglês (Nitroglycerine Act, 1869) [6]. No entanto, em 1871 AN montou uma fábrica na Escócia, não abrangida pela lei inglesa, em Ardeer, um local inóspito perto de Glasgow, ainda hoje em operação. A atitude de “empurrar” as fábricas de NG para locais remotos para diminuir os efeitos nefastos de eventuais explosões, ditada pelo bom senso, é uma *terceira medida* que também se enquadra na actual QV – praticar a química com exposição mínima das populações humanas a compostos nefastos. A este respeito, porém, a QV tem objectivos mais amplos – procura eliminar proactivamente, na maior extensão possível, o fabrico e utilização de substâncias problemáticas, principalmente para não criar oportunidades

de as dispersar no ambiente e provocar riscos de exposição dos humanos e da biosfera a elas.

Invenção da Dinamite. Um *segundo grande invento* de AN, também muito simples e que muito contribuiu para conseguir uma utilização mais segura da NG, foi o da Dinamite (Dinamite N.º1, ver adiante), patenteada em 1867 [5,7]. Após intenso trabalho de laboratório, Nobel descobriu que os problemas de insegurança da NG podiam ser resolvidos por dispersão do óleo num material inerte, a chamada diatomite.⁹ A mistura de NG e diatomite, na proporção de 3:1, originava um explosivo que, embora de potência inferior à NG líquida, era de manuseamento mais fácil e permitia detonações mais suaves e previsíveis – com segurança bastante superior à da NG.¹⁰

A descoberta da Dinamite impôs definitivamente a NG como o *explosivo* que veio eliminar completamente a pólvora da construção civil e minas – em dez anos, Nobel construiu mais catorze fábricas em doze países diferentes e a produção anual de NG passou de 11 para 5.000 toneladas [6]. No fundo, a invenção da Dinamite teve muito sucesso porque, em conjunto com o detonador, proporcionou uma técnica científica para o uso dos explosivos – realizar a detonação com segurança e quando era requerido, com previsibilidade (obter determinismo científico!). O conjunto das duas invenções permitiu domar o uso da energia dos explosivos, impondo-os definitivamente como um factor importante de progresso da civilização graças à sua utilização civil. A invenção da dinamite introduziu, afinal, uma *quarta medida* hoje preconizada pela QV: quando o uso de uma substância perigosa é inevitável, devem-se procurar condições de utilização que minimizem os riscos – por exemplo, diluí-la numa substância inerte.

Invenção da Nitrogelatina. Posteriormente, foram fabricados centenas de outros explosivos à base de NG, com o nome genérico de dinamites, com variadas bases inertes e com inclusão de diferentes aditivos. A inclusão nas dinamites de substâncias combustíveis ou explosivas, patenteada por AN em 1869,

permitia melhorar a eficiência do explosivo sem afectar a segurança do manuseamento. Por exemplo, a Dinamite N.º 2, que continha nitrato de potássio, carvão, NG (na proporção 72/10/18 em massa) e um pouco de parafina, era especialmente adequada ao uso em desmontes de minas, porque a sua explosão era mais suave que a da Dinamite N.º 1; em contraste, a inclusão de nitrato de amónio permitia aumentar o poder explosivo da dinamite (nas chamadas “extradinamites”) [6]. No entanto, com todos estes explosivos, ocorria por vezes, após longo tempo de armazenagem ou na presença de humidade, separação de NG líquida da mistura, que se concentrava no fundo das embalagens e provocava explosões acidentais. Por isso, AN procurou substituir a base porosa que absorvia a NG por uma substância que a dissolvesse, proporcionando uma mistura estável. Tentou, por exemplo, a nitrocelulose, mas sem êxito – não ocorria mistura adequada.

Anos mais tarde, já em Paris, onde tinha estabelecido residência para estar mais perto das numerosas fábricas que montara em vários países europeus, AN encontrou a solução do problema. Tendo cortado um dedo e aplicado colódio para proteger o golpe, como as dores o mantiveram acordado durante a noite, veio-lhe à mente a ideia de que o colódio podia ser um bom solvente para o efeito.¹¹ Foi imediatamente ao laboratório testar esta possibilidade e aí, às quatro da manhã, emergiu a sua *terceira grande invenção*, a da Nitrogelatina, patenteada em 1876 [5,6]: a incorporação de 7-8% de colódio em NG forma um material gelatinoso, com maior poder explosivo que a dinamite, porque aquele aditivo contribui para a explosão, mas insensível ao choque e à humidade (pode mesmo ser usado debaixo de água) – enfim um explosivo superior às dinamites e que, tal como estas, foi depois modulado por incorporação de outros aditivos. A Nitrogelatina era muito eficaz para desmontar rochas duras e, devido à sua consistência gelatinosa, podia ser aplicada directamente em orifícios perfurados na rocha, pelo que ganhou rapidamente aceitação para aquele fim [6]. Na preparação da Nitrogelatina, AN começou por usar um

solvente (acetona, por exemplo) para facilitar a mistura dos componentes, mas posteriormente verificou que a operação podia ser concretizada eficazmente sem solvente, por adição directa do colódio a NG amornada. Esta foi uma *quinta medida* precoce de QV usada inadvertidamente por AN – hoje a QV preconiza a eliminação de solventes dos processos químicos sempre que possível, já que muitos dos solventes usados na indústria, como meios de reacção ou em separações e purificações, são tóxicos e/ou inflamáveis (além de custarem dinheiro).

Invenção da Balestite. A Balestite foi a *quarta grande invenção* de AN, realizada em Sevrans, em 1887 [5,7], nos arredores de Paris, então a capital francesa (e mundial)¹² da pólvora e explosivos, onde entretanto ele tinha estabelecido um laboratório. A Balestite, ou pólvora Nobel, é uma mistura de NG, nitrocelulose, benzeno e cânfora, cuja combustão não produz partículas sólidas, mas apenas gases – uma “pólvora sem fumo”, a chamada pólvora Nobel. Este novo tipo de explosivo permitiu a eliminação dos inconvenientes do fumo da pólvora clássica, quer para a gestão das operações militares,¹³ quer para a saúde dos artilheiros. Os problemas de saúde profissional dos militares decorrentes do fumo da pólvora eram variados: embora este tivesse efeitos a nível do sistema respiratório, olhos, etc., o problema ocupacional crítico dos artilheiros era muito mais importante do que a simples manutenção da saúde, consistia no próprio risco de vida – o fumo dos canhões indicava ao inimigo a posição das baterias e tornava-as um alvo mais fácil!¹⁴ A arte da guerra consistia então¹⁵ em matar o inimigo sem se deixar matar pelo inimigo, daí o interesse dos militares pela pólvora sem fumo – a Balestite não foi o primeiro explosivo deste tipo,¹⁶ mas mostrou-se mais eficaz que os anteriores.

Mais importante no presente contexto, porém, é referir que o invento da Balestite, embora tal possa parecer insólito em face das funções a que destinava, envolveu uma *sexta medida* dirigida a algo que hoje é um princípio fulcral da QV: as substâncias químicas devem ser inócuas para a saúde humana em todo

o seu ciclo de vida – e, nomeadamente, para quem tem de as utilizar e lidar de perto com elas.

AN: o inventor da multinacional e dos prémios Nobel

As dinamites e quejandos tornaram possíveis as grandes obras de construção civil realizadas nos fins do séc. XIX e princípios do séc. XX.¹⁷ Permitiram, também, um tremendo desenvolvimento das explorações mineiras, quer de profundidade quer a céu aberto. Por outro lado, a Balestite e explosivos similares, revolucionaram as munições militares e a tecnologia das armas de fogo.

A boa aceitação dos explosivos baseados na NG pelo mercado potenciou o desenvolvimento do seu fabrico, mas este também deve muito ao espírito empresarial de AN, que conseguiu desenvolver um conglomerado multinacional de empresas que se estendeu a quase todo o mundo. Excluíam-se os EUA, mercado que AN abandonou em 1885, porque não conseguiu fazer valer os direitos das suas patentes.¹⁸ Os problemas de AN com as patentes resultaram de o conteúdo de novidade científica na sua base, quer no caso do detonador quer no dos explosivos à base de NG, ser limitado – AN limitou-se apenas a ver o que muitos outros poderiam ter visto mas não viram, o que sucede frequentemente com os bons inventos. Estas patentes de AN eram muito simples, mas continham invenções que ganharam facilmente aceitação no mercado porque os produtos eram *inovadores* e tinham elevado valor para os clientes¹⁹ – em termos legais, porém, a simplicidade defendia mal as patentes.

Apesar do seu fracasso industrial no Novo Mundo, quando AN faleceu, em 1896, a sua “multinacional” (possivelmente outro invento de AN, não patenteado) era constituída por 93 fábricas que produziam anualmente 67.500 toneladas de NG formulada em explosivos [6].²⁰ Já no Sec. XX, depois da Primeira Grande Guerra (1914-1918), as suas empresas, amalgamadas com outras, serviram de base à constituição de grandes empresas da Indústria Química inglesa (ICI) e alemã (I. G. Farbenindustrie A/

G) [6]. As suas actividades industriais incluíam também outros ramos, nomeadamente metalurgia e fabrico de armamento (a célebre empresa de armas sueca Bofors), e a exploração de petróleo em Baku, ao longo do Mar Cáspio, no Azerbaijão, então russo (em sociedade com os irmãos) [7].

Foi esta imensa fortuna que permitiu a AN estabelecer, por testamento, a Fundação Nobel, que financia os Prémios Nobel da Química, Física, Fisiologia ou Medicina, Literatura e Paz. Este último testemunha a sua mentalidade pacifista, apesar da actividade das suas empresas ter por base o fabrico de armamento e explosivos para munições – essa mentalidade é bem expressa numa frase escrita por AN: “As armas e munições deviam ser mandadas para o inferno, o lugar adequado para o seu uso” [6].²¹

Evolução tecnológica posterior no fabrico da NG

Controlo do processo industrial. Posteriormente, com a emergência da tecnologia química resultante do desenvolvimento da Indústria Química nos fins do séc. XIX, a reacção de preparação da NG passou a ser realizada em grandes tanques (reactores cilíndricos com diâmetro da ordem de 1-2 m), arrefecidos com misturas refrigerantes (água arrefecida por mistura com sal), que circulava em serpentinas interiores. O caudal de água era ajustado por um operário que, ao longo das várias horas que demorava a reacção, tinha de ler continuamente a temperatura da mistura e manipular as válvulas de admissão do refrigerante para a não deixar subir acima de 10°C. Como medida proactiva de conseguir segurança nas operações, adoptou-se uma solução interessante [10]: o operador, se quisesse sentar-se, só podia usar um banco de pé único, não enterrado no solo – se se deixasse adormecer, caía!²² A utilização do sistema operador/banco de pé único na indústria da NG introduziu uma *sétima medida* hoje preconizada pela QV, dirigida ao processo industrial: as reacções químicas e demais operações incluídas nos processos químicos devem ser continuamente monitorizadas e controladas para se conse-

guir a sua optimização com vista à segurança, à minimização de resíduos, etc.

Claro que o bárbaro processo de manter o operador desperto só lhe disponibilizando um pé no assento, embora eficaz, era intrinsecamente inseguro – o sono podia magoar o operário. O uso do risco de estatelamento para impedir o risco do adormecimento (e da explosão do reactor), constitui um exemplo do valor da competição – o mundo real é tão complexo que, frequentemente, para atingir um objectivo tem de se actuar também sobre outro complementar (o objectivo é multidimensional). Esta é uma *oitava ideia* também hoje usada pela QV: um dos objectivos desta é a eliminação dos resíduos – os resíduos que se *deixa de obter* colateralmente são tão importantes no design de uma via de síntese como o composto principal *que se quer obter*, ou seja, o objectivo da QV é duplo: *obter* o composto desejado e *não obter* resíduos. Para isso, procura-se hoje estabelecer métodos de síntese em que a produtividade atómica [11,12] seja elevada – em que os átomos dos reagentes sejam incorporados no produto desejado na maior extensão possível. A QV usa métricas que medem a extensão desta incorporação, por exemplo, a *economia atómica* [13]. A *síntese ideal* terá economia atómica igual a 100%: neste caso, todos os átomos dos reagentes são englobados na molécula do produto desejado – não “sobram” átomos para produtos colaterais ou resíduos.

O fabrico moderno da NG. Ao longo da primeira metade do séc. XX, em consequência dos progressos na tecnologia química, o fabrico industrial da NG em tanques aperfeiçoou-se muito, por exemplo, introduziu-se a reciclagem dos ácidos não consumidos na reacção e melhoraram-se as condições de segurança. No entanto, os riscos do fabrico continuaram elevados até que, nos anos cinquenta, os reactores de tanque foram substituídos por pequenos reactores de fluxo concebidos especialmente para os atenuar [14, 15]. Estes reactores funcionam de modo semelhante a uma trompa de água: a injeção de mistura sulfonítrica num tubo de forma adequada suga glicerina por um tubo lateral e permite uma mistura eficaz dos rea-

gentes e a ocorrência rápida da reacção (o tempo de residência do material no reactor é da ordem de 2 min). O inventário de NG no reactor é da ordem do kg e o total na linha de fabrico, que inclui uma unidade de arrefecimento e um separador centrífugo onde se realiza também a lavagem do produto, não excede 5 kg. Como as quantidades manejadas são baixas, os danos de potenciais explosões diminuem muito; além disso, como as dimensões do equipamento são pequenas, o processo pode ser isolado com uma parede de protecção eficaz para os limitar, sendo controlado do exterior [10].

Estas medidas para aumentar a segurança foram conseguidas à custa do que hoje se chama a *intensificação do processo* – produzir o mesmo (ou mais) em instalações de menores dimensões, à custa de melhorias de eficiência, por exemplo, das operações de transferência de massa e de calor. Aparentemente, a intensificação do processo na Química Industrial foi feita pela primeira vez na indústria da NG, em meados do séc. XX – e constitui, portanto, uma *nona medida* de QV antes do tempo. Presentemente, a QV preconiza o chamado *design de processos químicos inerentemente seguros* e, no âmbito desta atitude, a intensificação do processo é um dos objectivos perseguidos com intenção [15].

O uso da NG como fármaco e a sua toxicidade

Para além dos explosivos, há um outro campo em que a NG também mostrou propriedades interessantes – o da saúde. Embora a NG seja tóxica, dilata os vasos sanguíneos – é um vasodilatador com aplicações terapêuticas. Logo após a descoberta desta característica por Sobrero, a substância começou a ser investigada e usada como fármaco, quer pelos médicos tradicionais quer pelos homeopatas [16]. No campo da medicina tradicional, o médico Brunton²³ estabeleceu, em 1867, que a NG proporcionava um tratamento tão eficaz para a angina de peito como o nitrato de amilo – e esta aplicação pacífica tem-se mantido até aos nossos dias. Um dos primeiros processos de tratamento com NG consistia em aplicar o remédio

ao doente a partir de um penso adesivo que se colava à pele e proporcionava a sua difusão para a corrente sanguínea.²⁴ Hoje, o composto continua a ser usada como fármaco, mas em pastilhas que se colocam debaixo da língua ou em pulverizadores para inalação. No entanto, só mais de cem anos depois da descoberta da utilidade médica da NG, é que se identificou o modo como actua como vasodilatador – é devido à libertação do óxido nítrico (monóxido de azoto), por acção de uma ou mais enzimas ainda não identificadas (a descoberta valeu aos seus autores, Furchgott, Ignarro e Murad, o Nobel da Medicina de 1998) [17].²⁵

Estes factos mostram que se deve procurar sempre realizar a exploração cabal das múltiplas aplicações das substâncias químicas em campos diversos para obstar à proliferação de novas substâncias sintéticas, cuja dispersão no ambiente tantos danos tem provocado. Esta atitude poderia ser apresentada como uma *décima medida* de QV sugerida precocemente pelo uso da NG, mas não é algo que os químicos possam aceitar facilmente – afinal de contas, põe em causa a actividade mais nobre da química moderna, conceber e preparar novas moléculas (e, claro, poderia contribuir para o desemprego profissional da classe).

Em 1881, na sequência de conflitos comerciais com o governo francês por causa da Balestite, cujo fabrico acabou por ser proibido em França, AN estabeleceu-se em Sanremo (Itália). A sua saúde, sempre precária, vinha-se deteriorando cada vez mais. Foi-lhe diagnosticada angina de peito e receitadas pastilhas de Trinitrin (“NG rebaptizada, para não assustar o boticário e o doente”, segundo o próprio [5]) mas o tratamento não surtiu efeito – faleceu prematuramente com 63 anos [18].

Os efeitos da NG sobre a saúde humana são complexos. Segundo hoje se sabe, a exposição ao composto causa intoxicação, que pode provocar sintomas variados [18,19]. Por exemplo, quando a exposição à substância é elevada e ocorre absorção pela pele, a NG provoca dores de cabeça.²⁶ A NG não causa danos agudos e irreversíveis à saúde humana

mas, embora pouco se saiba quanto aos efeitos de exposição prolongada, provavelmente a tolerância adquirida limita o efeito dos tratamentos da angina de peito com a droga. A história clínica da crescente debilidade da saúde de AN, segundo os conhecimentos toxicológicos actuais sobre a NG, sugere que uma intoxicação crónica devida à exposição praticamente diária ao composto, quer no laboratório quer em experiências de detonação, durante mais de 30 anos (a partir de 1864), tenha sido um factor importante para os seus crescentes problemas de saúde e a sua morte prematura [18]. O próprio AN considerou uma ironia do destino ser tratado com NG [5] – mas afinal a ironia foi ainda maior: o perigoso composto, cuja utilização AN tinha conseguido “domesticar” e que lhe proporcionara uma imensa fortuna, não o curou porque tinha vindo a intoxicá-lo lentamente!

Intensificação a nível molecular da produtividade funcional química

Quando a NG explode produz um enorme volume de gases quentes, que provocam um grande aumento de pressão, tal como sucede com a pólvora, mas a escala dos acontecimentos da detonação é muito maior.²⁷ A superioridade como explosivo da NG sobre a pólvora resulta de a sua molécula conter simultaneamente o combustível e oxidante, justapostos intramolecularmente de modo a tornar eficaz a reacção de explosão, ao proporcionar a libertação praticamente instantânea de uma grande quantidade de energia num volume mínimo (o próprio volume molecular!). Embora esta propriedade tivesse sido obtida sem intenção, o acaso proporcionou na NG um *design molecular* perfeito para um explosivo!

A síntese da NG abriu um novo campo aplicado da química, o dos modernos *explosivos e propelantes* [1],²⁸ de potência muito mais elevada que a clássica pólvora. Todos estes compostos possuem nas respectivas moléculas, além de elementos combustíveis (carbono, hidrogénio, etc., em estados de oxidação oxidáveis), o oxigénio necessário à combustão – a “mistura” de combustí-

vel com oxidante é feita no interior da molécula,²⁹ o que torna possível uma *intensificação de funções da química*,³⁰ neste caso a produção de energia concentrada para provocar a explosão. Esta intensificação, por ser embutida num produto químico a nível intramolecular, permite aumentar a *sua produtividade funcional* – obter melhores efeitos quanto aos objectivos desejados, com menos átomos.

Esta foi uma *décima primeira ideia* também assumida pela QV: o design molecular é a base quer do já referido conceito de economia atómica, que diz respeito apenas à *produtividade atómica* das reacções de síntese, quer da *produtividade funcional*, de alcance mais lato – visa conceber as moléculas para que cumpram eficazmente as funções desejadas, sem danos colaterais no ambiente e com um mínimo de átomos [12].

Discussão

A análise do desenvolvimento do fabrico e modos de utilização da NG realizado por AN mostra que a prática empírica da química dos explosivos moleculares, logo que esta começou a ser realizada à escala industrial, fez emergir ideias e conduziu a atitudes inovadoras quanto ao fabrico e manipulação das substâncias perigosas. O avanço de conhecimento operado por AN constitui um germe da atitude que presentemente, cerca de 150 anos depois da descoberta da NG, está a ser encorpada na QV: a procura da realização da química com uma mentalidade sistemática de precaução quanto a segurança e efeitos no ambiente, tanto quanto possível embutida nas próprias moléculas, de modo a minimizar os variados riscos (físicos, toxicológicos, etc.) das numerosas substâncias químicas fabricadas pela Química Industrial – que a sociedade requer e usa liberalmente, e de que uma parte significativa acaba dispersa no ambiente.

Na Tabela 1 inclui-se uma tentativa de sistematização das medidas implementadas pela indústria da NG descritas atrás em termos dos Doze Princípios da QV [20,21]. A tabela mostra que todas as onze atitudes, com a excepção da décima, se “encaixam”,

Tabela 1 Medidas precoces de QV no fabrico e uso de nitroglicerina (NG)

Medida	Princípio da QV*
A. SOBRERO 1 ► 1846: Sobrero sintetiza a NG mas abandona a sua investigação por ser demasiado perigosa <i>Evitar o fabrico e utilização de substâncias perigosas</i>	1. Prevenção proactiva
A. NOBEL 2 ► 1863-...: Nobel licencia o fabrico de NG a empresas de construção civil e mineiras <i>Preparar as substâncias perigosas no local de utilização</i>	12. Prevenção de acidentes
3 ► 1864-...: Proibições de fabrico da NG “empurram” as fábricas para locais remotos <i>Praticar a química de modo a provocar exposição mínima dos humanos a compostos perigosos</i>	12. Prevenção de acidentes
4 ► 1867: Nobel inventa a Dynamite (dispersão da NG em diatomite) <i>Procurar condições de utilização das substâncias perigosas que minimizem os riscos</i>	12. Prevenção de acidentes
5 ► 1875: Nobel inventa a Nitrogelatina (mistura directa de colódio em NG sem solvente) <i>Evitar o uso de solventes desnecessários</i>	5. Evitar o uso de reagentes auxiliares
6 ► 1887: Nobel inventa a Balestite (“pólvora sem fumo”) Usar substâncias inócuas para a saúde humana em todo o seu ciclo de vida	1. Prevenção proactiva
7 ► Fins do Sec. XIX-...: Fabrico em tanques com operador sentado em banco de um só pé <i>Monitorizar as reacções químicas continuamente para otimizar a sua realização quanto a segurança</i>	11. Análise para a prevenção
8 ► Idem (multidimensionalidade do objectivo) <i>Preparar compostos sem obter colateralmente resíduos (aumentar a economia atómica)</i>	2. Economia atómica
DESENVOLVIMENTOS POSTERIORES E OUTROS 9 ► 1950-...: Fabrico industrial de NG em pequenos reactores de fluxo <i>Intensificar o processo químico industrial (praticar o design de processos químicos inerentemente seguros)</i>	12. Prevenção de acidentes
10 ► 1867-...: Uso de NG como fármaco <i>Explorar cabalmente as possibilidades de utilização das substâncias conhecidas</i>	?
11 ► A molécula de NG justapõe átomos de oxigénio e de elementos combustíveis (C e H) <i>Praticar o design molecular para obter as funções desejadas</i>	4. Planificação a nível molecular

*) A numeração dos Princípios é a da sua ordenação habitual [20,21]. Os Princípios foram designados por títulos curtos que descrevem o seu conteúdo.

melhor ou pior, quer nos dois princípios fundamentais que definem a postura da QV (1 e 2), quer em três dos seus princípios operacionais (4, 5 e 12). Quatro das medidas dirigem-se ao Princípio 12, que postula uma prática da química inerentemente segura

quanto à prevenção de acidentes. Este objectivo sempre foi muito importante na Engenharia Química, já que os acidentes começaram a ocorrer logo que se montaram instalações industriais de grande escala³¹ e foram-se diversificando à medida que a Indústria Quí-

mica cresceu. A partir de meados do séc. XX,³² a prevenção ganhou importância crescente e começou a condicionar cada vez mais a concepção dos processos industriais logo a partir da fase de desenvolvimento de processo [15].

Estes factos (e outros) mostram que muito antes de se começar a falar de QV, já se praticava a Engenharia Química Verde. E evidenciam que a QV tem de englobar simultaneamente tanto a Química Verde como a Engenharia Química Verde, em aliança contínua que as potencie mutuamente e permita acrescentar “valor verde” à Química Industrial. Uma boa química de base, que proporcione uma síntese verde de um composto, pode ser “amarelecida” pela Engenharia Química se o desenvolvimento de processo “não for verde”; em contraste, se não é possível conceber uma química de base tão verde quanto desejável, a Engenharia Química pode atenuar a deficiência de “verdura” da síntese mediante um desenvolvimento do processo que controle os problemas críticos.

Conclusões

Em suma, as invenções de AN e outras subsequentes sobre o desenvolvimento, fabrico industrial e aplicações tecnológicas da NG, quando analisadas em sequência, definem uma via de descoberta da QV – embora não planificado, o itinerário percorrido por AN dirigia-se implicitamente a uma meta, a segurança na implementação e uso da química, hoje o objectivo fundamental da QV. Por isso se pode dizer que AN, além de inventor (registou 355 patentes), empreendedor, industrialista da química e filantropo, foi também, inadvertidamente (sem postura intencional nem sequer consciente), um dos precursores da QV – pode ser considerado o “primeiro químico verde”! E um químico verde versátil, que praticou simultaneamente a QV de laboratório (procura de formulações adequadas a obter produtos seguros) e a Engenharia Química Verde (dirigida à prevenção de acidentes no fabrico e manipulação do produto).³³ Pensando melhor, este facto é natural: afinal a QV visa rever a Química Industrial no que concerne à perigosidade dos produtos que prepara e AN foi um químico que passou a vida a trabalhar com produtos perigosos – o bom senso empurrou-o para a QV!

Claro que a designação de AN como químico verde é metafórica – na altura, a química era uma ciência macroscópica,

totalmente empírica,³⁴ e o conhecimento dos efeitos da sua prática na saúde humana era limitado. Por exemplo, as nitrações envolviam uma atmosfera ocupacional muito perigosa, devido aos vapores ácidos de ácido sulfúrico, ácido nítrico e óxidos derivados, e a esperança de vida dos respectivos operários era muito mais baixa que a da população em geral (por sua vez muito mais baixa que a actual), como então sucedia, aliás, em quase todas as fábricas de química e metalurgia. No entanto, embora ainda com muitas lacunas quanta à “verdura” da química praticada, a actividade desenvolvida por AN contém já numerosas facetas que prenunciavam a QV.

A personalidade multifacetada de AN compara-se à de Edison,³⁵ que tinha características semelhantes quanto a capacidade inventiva e de empreendedorismo, e é apresentado frequentemente pelos físicos e engenheiros como o grande primeiro inventor – o *inventor da invenção* [22]. AN não lhe fica atrás neste campo – é uma figura que os químicos e engenheiros químicos podem usar para contrapor a Edison, tanto mais que o precedeu.³⁶

A actividade de AN englobou simultaneamente tanto Química Verde como Engenharia Química Verde e, por isso, evidenciou desde logo a necessidade de conjugar eficaz e continuamente os dois ramos da química numa aliança contínua para praticar a Química Industrial Verde. Esta ideia encontra suporte no chamado Relatório Breslow, publicado recentemente pela *National Academy of Sciences* dos EUA [23], onde se discute conjuntamente o futuro da Química e da Engenharia Química, quando em relatórios anteriores com o mesmo fito se abordava só um dos ramos (por exemplo, respectivamente, nos Relatórios Pimentel [24] e Amundson [25]).

Para concluir, três observações. Primeiro, deve-se referir, em abono da verdade, que os russos afirmam que a dinamite foi uma invenção russa, feita pelo Coronel Petrushevskii, colaborador do Prof. Zinin, que não a patenteou por razões de segredo militar (mas recebeu em paga um prémio pecuniário e uma pensão vitalícia do Exército) [6]. Estes factos mostram quanto a História é, por

vezes, aleatória – se a História fosse justa e tivesse havido patente russa, possivelmente não haveria hoje Prémios Nobel.

Segundo, o tema desenvolvido neste artigo é um bom exemplo de quanto uma abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade (STS)³⁷, ou melhor, presentemente, Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (STSE) [26,27] permite obter uma visão holística e rica da Química Industrial, que desde a emergência como tal, no séc. XIX, foi um aglomerado íntimo de ciência e tecnologia, pela sua própria natureza integrada num contexto humano, societário e, conforme só mais tarde se veio a tomar consciência, ambiental.

Finalmente, poderá ainda perguntar-se: se os germes da QV surgiram no Sec. XIX, porque é que o Homem demorou tanto tempo a tomar consciência dos efeitos nefastos da Química Industrial e da necessidade de mudar a sua trajectória de desenvolvimento para a QV? Uma possível resposta é que o conhecimento humano, que incluiu os conhecimentos científico e técnico como casos particulares, é como a culinária – em ambos os casos a concretização é complexa e os produtos demoram tempo a apurar! Estes factos implicam que, no ensino da ciência e tecnologia, seja premente acrescentar à visão tradicional do racionalismo cartesiano, dirigido ao reducionismo, a visão holística do pensamento sistémico, que permita atender à complexidade.

Notas

- 1 A pólvora, o explosivo clássico inventado na China no Sec. III a. C. [2] é uma mistura de carvão vegetal e enxofre (combustíveis, redutores), com nitrato de potássio, KNO_3 (oxidante), previamente moídos – em que a granulometria dos pós limita a interpenetração mútua das substâncias e afecta as características da explosão.
- 2 Na mesma altura foi preparado outro explosivo molecular orgânico, a nitrocelulose (trinitrocelulose), por nitração de algodão (síntese parcial, realizada por Schönbain, 1846), cujo uso em minas foi quase logo descontinuado porque incontrolável. Mais tarde, este material foi recuperado como

- componente de explosivos (na sequência de trabalho de Brown, 1868) [2].
- 3 Por exemplo, em 2000, nos EUA, o consumo virtual *per capita* de explosivos foi quase 10 ton [1].
 - 4 Em contraste, na pólvora, uma mistura, a explosão resulta de uma reacção *intermolecular*, $8 \text{ C(s)} + 3 \text{ S(s)} + 10 \text{ KNO}_3\text{(s)} \rightarrow 2 \text{ K}_2\text{CO}_3\text{(s)} + 3 \text{ K}_2\text{SO}_4\text{(s)} + 6 \text{ CO}_2\text{(g)} + 5 \text{ N}_2\text{(g)}$ e a temperatura não excede 2.700°C e a pressão 6.000 atmosferas, obtidas em milissegundos[3]. A equação anterior é simplista, porque a combustão dá origem a numerosos produtos, mas evidencia a formação de fumos (formados por K_2CO_3 , K_2SO_4 e outros componentes).
 - 5 A. Sobrero (1812-1888) foi um médico italiano (de Turim), que se converteu em químico (uma conversão então frequente) [28].
 - 6 Em ciência e tecnologia, a benignidade e o perigo ocorrem frequentemente juntos (tal como na vida real) – o chamado *paradoxo do Bem e do Mal* ou *natureza dual da ciência*, de que só se tomou plena consciência em meados do séc. XX, depois da Segunda Grande Guerra Mundial [29]. Por isso, as implicações éticas da ciência e tecnologia são difíceis de gerir: há necessidade de se estabelecer compromissos equilibrados entre o Bem e o Mal, o que pode ser uma actividade mais diabólica do que angélica! A QV tem como objectivo fulcral eliminar ou atenuar os riscos da Química – adopta uma atitude humanamente positiva: embora não resolva o paradoxo do Bem e do Mal, procura “desequilibrá-lo” a favor do Bem.
 - 7 Immanuel Nobel (1801-1872) foi um inventor e fabricante de armas sueco, interessado em explosivos [28]. Tendo emigrado para a Rússia (S. Petersburgo) em 1837, tinha concebido, desenvolvido e manufacturado minas de pólvora para uso em terra e no mar [6], então um tipo de equipamento militar tão inovador que teve inicialmente dificuldades em o fazer aceitar pelos militares, que demoraram muito tempo a decidir quem deveria ser armado com ele – o exército ou a marinha [7]. A decisão só foi tomada quando a estava iminente a Guerra da Crimeia (1853-1856) com a Turquia, durante a qual a família Nobel prosperou; perda da guerra, porém, o novo governo russo mudou de fornecedor de armas, a empresa faliu e Nobel regressou à Suécia, em 1859. Os acontecimentos referidos no texto ocorreram depois.
 - 8 Pouco depois, a pólvora foi substituída no detonador por fulminato de mercúrio, Hg(CNO)_2 , mais fácil de fazer explodir [7].
 - 9 A diatomite é um material natural, proveniente das conchas de microorganismos chamados diatomáceas, formado por sílica hidratada, porosa, com capacidade de absorver líquidos. O material constituía o solo de Krummel, o que naturalmente proporcionou a AN inspiração para o usar.
 - 10 O nome escolhido para o material, Dinamite (com origem na palavra grega *dynamis*, que significa força), revela outra faceta de Nobel, o seu sentido comercial [6]: é atractivo e sugere bem a forte potência explosiva do produto – uma moderna agência de marketing não teria feito melhor!
 - 11 O colódio (por vezes designado dinitrocelulose) é constituído por celulose parcialmente nitrada, na (tri)nitrocelulose a nitrção é completa.
 - 12 O desenvolvimento da indústria da pólvora francesa deve-se, em grande parte, a Lavoisier (1743-1794), que foi comissário da *Régie des Poudres* (Administração da Pólvora) de 1775 a 1792 e empreendeu profundas reformas na respectiva indústria [30].
 - 13 O fumo dificultava a inspecção dos movimentos do inimigo e a transmissão de ordens a distância, então feita por técnicas visuais – bandeiras, etc.
 - 14 A artilharia tinha já assimilado a cinemática o suficiente para aperfeiçoar a balística – aumentar a precisão de tiro: a guerra tinha evoluído de artesanal para científica e tecnológica, com aumento da escala da morte. Este facto observou-se já nitidamente na Guerra da Secessão (1861-1865) dos EUA, tendo depois havido um novo escalamento nas duas Grandes Guerras Mundiais do Sec. XX (1914-1918 e 1939-45) [31].
 - 15 Presentemente, procura-se desenvolver a Guerra Verde – a introdução das pólvoras sem fumo foi uma primeira medida, precoce, dirigida a esta.
 - 16 O primeiro foi a chamada Pólvora B, ou *pirocelulose*, constituída por nitrocelulose gelatinizada por mistura com éter e álcool, que depois era prensada e cortada em flocos (inventada pelo francês P. Vieille, 1886) [3]. Em Inglaterra, foi quase logo introduzida uma variante, a Cordite [7].
 - 17 Por exemplo, a passagem sob os Alpes em S. Gotardo, com 80 túneis (1872-82); e os canais de Corinto (1881-93) e do Panamá (1904-14) [6].
 - 18 Nos EUA, companhias rivais fabricavam produtos similares às dinamites, mas variando os suportes inertes e os aditivos, a que davam outros nomes e que legalmente conseguiam fazer cair fora das patentes (muitos dos nomes eram tão sugestivos da potência explosiva como o de dinamite, por exemplo, “Pó de Hércules”, “Pó de Atlas”, “Vigorite”, etc.) [6].
 - 19 A inovação é a invenção que penetra sustentadamente no mercado porque os utentes lucram com ela e sentem o seu valor – caso tal não suceda, a invenção, embora tecnicamente interessante, não traz embutida inovação tecnológica adequada (é “uma engenhoca meramente artística”). A inovação é sempre disruptora [32], por exemplo, a aceitação da NG pelo mercado levou praticamente ao desaparecimento da indústria da pólvora.
 - 20 No arranque do fabrico industrial, trinta anos antes, a produção foi de 11 toneladas/ano, o que corresponde a uma taxa média de crescimento anual de 34% (na primeira década, esta foi de 84%). Estes valores causarão inveja a qualquer empreendedor actual!
 - 21 Para a consolidação da decisão de AN de instituir os Prémios Nobel parece ter contribuído um obituário precoce, publicado por engano em 1888 num jornal francês, aquando da morte de um seu irmão, intitulado “Morreu o mercador da morte”, em que ele surgia descrito como “o homem que enriqueceu ao tornar possível matar mais pessoas mais rapidamente do que nunca antes” [9] – o teor do artigo teria levado AN a pensar na necessidade de melhorar a sua reputação póstuma. Outro factor que o teria influenciado foi uma longa amizade com a escritora austríaca, e pacifista de renome, Bertha von Suttner (pseudónimo Bertha Oulot), com quem se correspondeu intensamente nos últimos anos de vida [7] – e que ganhou o Nobel da Paz em 1905 [33].
 - 22 É interessante referir que após os enormes progressos no domínio da segurança ao longo do Sec. XX, umas das ideias básicas da moderna Segurança de Sistemas continua a ser ter em atenção as “capacidades e limitações das pessoas e a sua tendência para comportamentos imprevisíveis” [34], afinal a motivação para o banco de pé único.
 - 23 T. L. Brunton (1844-1916) foi um prestigiado médico e investigador em Edimburgo.
 - 24 Há mesmo registo de um caso em que ocorreu explosão do remédio quando o paciente foi sujeito simultaneamente a choques eléctricos (felizmente sem outros

efeitos nocivos que não o susto, dada a baixa dose de NG) [6].

- 25 O monóxido de azoto tem variados papéis fisiológicos no corpo humano como mensageiro celular, apesar de ser um perigoso poluente, por exemplo, é expelido pelos escapes dos automóveis em quantidades significativas, embora mitigadas após estes terem sido munidos com conversores catalíticos, sendo um dos agentes precursores da neblina fotoquímica.
- 26 Nos tempos em que se não tomavam precauções dirigidas à segurança no trabalho, as dores de cabeça constituam uma doença profissional sentida pelos operários das fábricas de NG (conhecida pelo nome de “cabeça de NG”). As dores diminuíam quando a exposição se prolongava por umas semanas, o que levava os operários que se tinham de afastar temporariamente do trabalho a munirem-se de uma pequena amostra de NG para usar na banda do chapéu e se manterem “aclimatados” à substância, apesar de este tratamento ser perigoso e proibido [6].
- 27 A palavra *detonação* foi introduzida para designar a explosão da NG e outros explosivos de elevada potência (vem do latim, de *tonare*, a mesma raiz de trovão!) [6].
- 28 Propelantes são combustíveis para propulsão. A diferença entre explosivos e propelantes é que nestes últimos a combustão é mais suave, previsível e sem detonação (produção de onda de choque), o que permite a sua utilização na propulsão de veículos, foguetões, etc. [1].
- 29 Daí a designação *explosivos moleculares* usada como alternativa a *explosivos de elevada potência*.
- 30 Não confundir com a *intensificação do processo químico* referida atrás.
- 31 O primeiro grande acidente da Indústria Química ocorreu em 1921, em Oppau (Alemanha), numa fábrica onde se realizava o processo de Haber-Bosch para a síntese do amoníaco, pouco depois da sua concepção (1910) – uma explosão no armazém de fertilizantes, ao manipular uma mistura de NH_4NO_3 e $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, destruiu a fábrica e uma grande parte da povoação e provocou 500 vítimas mortais e cerca de 1.000 feridos [35].
- 32 Um outro grande acidente industrial, também com NH_4NO_3 , funcionou como uma das forças motrizes de desenvolvimento da prevenção de acidentes na Indústria Química. Aconteceu em 1947, na cidade portuária de Texas City, no Texas, EUA, uma pequena cidade (18.000 habitantes) onde existiam variadas fábricas de quí-

mica (refinarias, fertilizantes, etc.). Uma explosão num barco que estava a carregar o fertilizante provocou efeitos em cadeia e o maior acidente da história da Indústria Química dos EUA – 581 mortos, mais de 3500 feridos, destruição de um terço da cidade e de muitas das instalações industriais, e prejuízos de muitos milhões de dólares (da época) [36].

- 33 Como a Engenharia Química só surgiu como ramo específico do conhecimento nos princípios do Sec. XX, também se pode dizer que AN foi um dos seus precursores.
- 34 Na altura, o conhecimento sobre equilíbrio, cinética e termodinâmica química mal começava a emergir – e a estrutura atómica e ligação química (química quântica) demorariam mais algumas décadas, até ao Sec. XX [37].
- 35 Thomas A. Edison (1847-1931) foi um inventor norte-americano, autodidacta, que inventou o fonógrafo e aperfeiçoou o telégrafo e a lâmpada de incandescência, etc. (registou 1180 patentes) [28].
- 36 É interessante notar que ambos inovaram numa área global muito importante para a civilização (inovaram também noutras) – a energia: Edison, no campo da energia eléctrica (lâmpada de incandescência, produção e distribuição ao domicílio de electricidade, diversos equipamentos para o seu uso, etc.); AN, no campo da produção de energia química concentrada – os explosivos. E que, presentemente, a situação energética mundial evidencia a necessidade premente de se continuar a inovar na mesma área!
- 37 Usam-se aqui as siglas habituais em língua inglesa.

Bibliografia

Sugestões para leituras adicionais: *Sobre explosivos* – Ref. 2: uma excelente introdução à química dos modernos explosivos, de leitura fácil. Refs. 1 e 27: capítulos sobre o fabrico industrial da NG, dinamites e outros explosivos, em livros sobre a Indústria Química de leitura profissional. *Sobre AN* – Ref. 5: versão oficial da biografia e actividades de AN. Ref. 6: versão mais saborosa da biografia de AN, com o sal que os bons historiadores põem na História. Ref. 7: artigo de origem sueca, esclarecedor quanto à personalidade multifacetada de AN. Ref. 8: artigo curto de homenagem a AN no centenário da sua morte

(1896), mas incisivo quanto ao contexto histórico e significado da sua actividade (adequado para alunos do secundário). Ref. 9: biografia curta, com a sobriedade típica da Enciclopédia Britânica. *Sobre o uso da NG (e outros compostos nitro) como fármaco* – Ref. 11: livro de leitura fácil mas ilustrativa sobre o papel biológico do monóxido de azoto. *Sobre a química moderna* – Ref. 37: história dos conceitos. Ref. 23: futuro.

- 1 B. Hansen, F. F. Chen e M. D. McPherson, Chemical Explosives and Rockets Propellants, em J.A. Kent (ed), *Riegel's Handbook of Industrial Chemistry*, 10.^a ed., Kluwer (2003) Cap.31, 1317-1363.
- 2 J. Akhavan, The Chemistry of Explosives, 2.^a ed., RSC (2004).
- 3 C. Baker, The Development of Explosives, Educ. Chem. 41 (2004) 159-161.
- 4 A. Sobrero, Sur plusieurs composés détonants produit avec l'acide nitrique et le sucre, la dextrine, la lécithine, la mannite et la glycérine, Compt. Rend. Acad. Sci. 24(1847) 247-248.
- 5 Nobel Foundation, Nobel e-Museum, <http://www.nobel.se> (acesso em 2006/07/17).
- 6 G. I. Brown, The Big Bang – A History of Explosives, Sutton (1999), Cap.8 e 9, 92-121.
- 7 J. E. Jorpes, Alfred Nobel, J. Chem. Ed. 37(1960) 328-334.
- 8 J. Hudson, Alfred Nobel – A Centennial Tribute, Educ. Chem. 33 (1996) 150-151.
- 9 Nobel, Alfred Bernhard, *Encyclopedia Britannica 2005 – Deluxe Edition CD* (2005).
- 10 J. E. Dolan, Molecular Energy – The Development of Explosives, Chem. Brit. 21 (1985) 732-737.
- 11 A. Steinbach e R. Winkenbach, Choose Processes for Their Productivity, Chem. Eng. 107(4) (2000) 94-104
- 12 S. L. Y. Tang, R. L. Smith e M. Poliakoff, Principles of Green Chemistry: Productively, Green Chem. 7 (2005) 761-762.
- 13 B. M. Trost, The Atom Economy – A Search for Synthetic Efficiency, Science 254 (1991) 1471-147.
- 14 G. T. Austin, Shreve's Chemical Process Industries, 5.^a ed, McGraw-Hill (1984) Cap.22, 389-408.
- 15 T. Kletz, Process Plants: A Handbook for Inherently Safer Design, Taylor & Francis (1998) 26-30.

- 16 N. I. Foster e N. D. Heindel, *The Discovery of Nitroglycerine: Its Preparation and Therapeutic Utility*, J. Chem. Ed. **58** (1981) 364-5.
- 17 A. Butler e R. Nicholson, *Life, Death and Nitric Oxide*, RSC (2003).
- 18 S. S. Kantha, *Medical Hypotheses*, **49** (1997) 303-306.
- 19 E. Bingham, B. Cohns e C. H. Powell, *Patty's Toxicology*, 5.^a ed., Wiley (2001)
- 20 P. T. Anastas e J. C. Warner, *Green Chemistry – Theory and Practice*, Oxford (1998) 30.
- 21 A. A. S. C. Machado, Química e Desenvolvimento Sustentável – QV, QUIVES, QUISUS, Química – Boletim da SPQ. 95 (2004) 59-67.
- 22 R. Uhlig (ed.), *James Dyson's History of Great Inventions*, Robinson (2002) 100, 117-118.
- 23 R. Breslow e M. V. Tirrell, *Beyond the Molecular Frontier – Challenges for Chemistry and Chemical Engineering*, NAP (2003).
- 24 G. C. Pimentel, *Opportunities in Chemistry*, NAP (1985).
- 25 N. R. Amudson, *Frontiers in Chemical Engineering: Research Needs and Opportunities*, NAP (1988).
- 26 J. Solomon e G. Aikenhead (eds.), *STS Education – International Perspectives on Reform*, TC Press (1994).
- 27 D. Hodson, *Time for Action: Science Education for an Alternative Future*, Int. J. Sci. Educ. **25**(6) (2003) 645-670.
- 28 L. Day e I. McNeil (eds.), *Biographical Dictionary of the History of Technology*, Routledge (1996), [8a] 522-523 (AN); [8b] 523-524 (I. Nobel); [8c] 655-656. (A. Sobrero). [8d] 231-233 (T. A. Edison).
- 29 B. Appleyard, *Understanding the Present – An Alternative History of Science*, Taurisparke (2004) 126.
- 30 J. P. Poirier, *Lavoisier – Chemist, Biologist, Economist*, Penn (1998) 89-94.
- 31 B. Hayes, *Statistics of Deadly Quarrels*, Am. Sci. **90**(1)(2002) 10-15.
- 32 J. M. Utterback, *Mastering the Dynamics of Innovation*, Harvard BSP (1994).
- 33 Suttner, Bertha, Freifau von, *Encyclopedia Britannica 2005 – Deluxe Edition CD*.
- 34 F. A. Manuele, *On The Practice of Safety*, 3.^a ed, Wiley-Interscience (2003) 329.
- 35 T. Ketz, *Dispelling Chemical Engineering Myths*, 3.^a ed, Taylor & Francis (1966) 88.
- 36 H. W. Stephens, *The Texas City Disaster*, University of Texas Press (1997).
- 37 K. J. Laidler, *The World of Physical Chemistry*, Oxford (1995)

Atualidades Científicas

Anunciada a descoberta do elemento 118

Cientistas do Chemistry, Materials and Life Sciences Directorate do Lawrence Livermore National Laboratory, em colaboração com investigadores de Dubna, Joint Institute for Nuclear Research (JINR) na Rússia, anunciaram a descoberta de um novo elemento superpesado, o elemento 118. Através de experiências realizadas no ciclotrão JINR U400, entre Fevereiro e Junho de 2005, os investigadores observaram cadeias de decaimento que demonstram a existência do elemento 118. Nestas cadeias de decaimento, o já previamente observado elemento 116 é obtido através de decaimento alfa do elemento 118. Os resultados foram publicados na edição de Outubro de 2006 da revista *Physical Review C*. A experiência produziu três átomos do elemento 118 através do bombardeamento de um alvo de califór-

nio por iões de cálcio. Assim, a equipa constatou os decaimentos sucessivos do elemento 118 a elemento 116 e posteriormente deste ao elemento 114. Prevê-se que o elemento 118 seja um gás nobre e que se situe imediatamente abaixo do rádon na tabela periódica de elementos.

Ken Moody, o responsável da equipa de Livermore afirma “As propriedades de decaimento de todos os isótopos que produzimos até agora indiciam a existência de uma ilha de estabilidade, o que pressupõe que talvez tenhamos sorte se tentarmos produzir elementos ainda mais pesados”. A ilha de estabilidade é um termo da física nuclear que descreve a possibilidade da existência de elementos pesados, desde que estes possuam um número mágico particularmente estável de prótons (114) e de neutrões (186). Tal permitiria que certos isótopos de alguns elementos transurâ-

nicos (com número atómico superior a 92) fossem muito mais estáveis do que outros, e assim decaíssem muito mais lentamente.

O grupo de Livermore tem colaborado nas descobertas de vários elementos novos ao longo dos anos. Em 1999 e 2001, o Laboratório anunciou a descoberta dos elementos 114 e 116, respectivamente. Em 2004, a equipa Livermore-Dubna observou a existência dos elementos 113 e 115. No futuro, a equipa pretende continuar a mapear a região adjacente à ilha de estabilidade. Para isso, planeia em 2007, a tentativa de produção do elemento 120 através do bombardeamento de um alvo de plutónio por isótopos de ferro.

(adaptado do comunicado para a imprensa do Lawrence Livermore National Laboratory – www.llnl.gov/pao/news/news_releases/2006/NR-06-10-03.html).

Paulo Brito