

Tem nuvem que parece algodão: Aitken e a composição das nuvens

There are clouds that look like cotton: Aitken and the composition of clouds

Mateus Miranda Rodrigues | Universidade Federal do Rio Grande do Norte

mateusmiranda023@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-8050-1915>

Ana Paula Bispo da Silva | Universidade Estadual da Paraíba

silva.anapaulabispo@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8465-0614>

RESUMO Um dos primeiros instrumentos científicos capazes de explicar como as nuvens são formadas pela presença de partículas de poeira no ar foi desenvolvido pelo escocês John Aitken (1839-1919) na década de 1880. Mais tarde, esse instrumento foi aperfeiçoado, permitindo avaliar a quantidade de partículas de poeira presentes em uma dada amostra de ar, por meio de um processo de supersaturação e condensação do vapor d'água contido em um recipiente, sendo tal instrumento batizado de contador de poeira Aitken. Neste trabalho trazemos a tradução comentada de alguns trechos do artigo em que Aitken apresenta o instrumento e as demandas sociais que o levaram a confeccioná-lo.

Palavras-chave meteorologia – John Aitken (1839-1919) – contador de poeira.

ABSTRACT One of the first scientific instruments capable of explaining how clouds are formed by the presence of non-air particles, was developed by Scottish scientist John Aitken (1839-1919) in the 1880s. Later, this instrument was perfected, allowing the evaluation of quantity of dust particles present in a given sample of air, by means of a process of supersaturation and condensation of water vapor contained in a container, such instrument being the Aitken's Dust Counter. In this work we bring the annotated translation of some excerpts from the article in which Aitken presents the instrument and the social demands that led him to make it.

Keywords meteorology – John Aitken (1839-1919) – dust counter.

Introdução

Durante o século XIX, estudos da natureza e de seus fenômenos compunham diferentes áreas. A não disciplinarização permitia o compartilhamento de ideias de diferentes campos que, posteriormente, serviram para trazer novas possibilidades de investigação de fenômenos.

É nesse século também que começa a haver a unificação de teorias, como a constituição do eletromagnetismo e da eletrodinâmica, da termodinâmica etc., e a possibilidade de desenvolvimento de instrumentos e outros artefatos que pretendem reproduzir a natureza no laboratório (Huneman, 2012).

Dessa forma, o século XIX representa um período de intensa criação de novos instrumentos de medidas e de compreensão de fenômenos, principalmente do ponto de vista experimental, fenomenológico. Por outro lado, também é o século do progresso, das máquinas e, conseqüentemente, da poluição. Os estudos de meteorologia nesse período tratavam principalmente com os efeitos desse progresso técnico e científico, tentando entender os novos fenômenos e inventando novos instrumentos para entender e prever o que ocorria na natureza. No Reino Unido,¹ em particular, o famoso *fog* e as mudanças climáticas foram objeto de estudo desde o século anterior, conforme analisam Jankovic (2000) e Golinski (2019).

É nesse cenário que os estudos de John Aitken (1839-1919) sobre a composição das nuvens surgem. Com o objetivo inicial de estudar as nuvens, Aitken formulou uma série de hipóteses na construção de seu contador de poeira, o qual acabará por ter outros fins, servindo de base para a câmara de Wilson e para obtenção dos traços de partículas subatômicas, como abordaremos ao final.

Neste trabalho apresentamos uma introdução aos estudos meteorológicos que influenciaram Aitken, uma breve biografia sua, e alguns trechos do seu trabalho de 1880 em que o contador de poeira é apresentado à Royal Society of Edinburgh.

Estudos meteorológicos no século XIX

Ao longo da história da meteorologia, alguns instrumentos simples que utilizamos em nosso cotidiano para “medir” o clima passaram por um longo processo de desenvolvimento e aperfeiçoamento, levando às vezes décadas até chegar a uma versão capaz de produzir resultados mais precisos. Alguns dos principais instrumentos utilizados em pesquisas meteorológicas são: pluviômetro; higrômetro; termômetro; barômetro e anemômetro (Teague; Gallicchio, 2017). Além desses clássicos instrumentos meteorológicos, há vários outros que são utilizados e foram fundamentais para o desenvolvimento da meteorologia, em específico nos estudos sobre formação de névoa, nuvens e nevoeiros.

Durante o século XIX, surgiu o que chamamos de meteorologia moderna, com uma nova abordagem e acompanhada de novos equipamentos que utilizavam eletricidade, destinados tanto à área das pesquisas sobre o clima quanto ao uso comum (Teague; Gallicchio, 2017). Os estudos dos fenômenos climáticos vieram associados às novas formas de fazer ciência e de transformar a natureza como, por exemplo, o telégrafo elétrico, que inaugurou a possibilidade de transmissão de informações (Anderson, 2005). Assim, não é de se espantar que se iniciasse a transmissão de boletins meteorológicos a partir da segunda metade do século XIX, disponibilizando informações sobre pressão do ar, temperatura, direção do vento, velocidade/força do vento, cobertura de nuvens e tipo de clima ocorrendo em uma dada região do Reino Unido.

1 Optamos por adotar Reino Unido (Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte), uma vez que trazemos considerações sobre fenômenos que ocorreram em Londres e também na Escócia.

Com o avanço da telegrafia, as informações passaram a cobrir regiões mais extensas, até mesmo através dos mares, tornando-se um conhecimento científico estratégico, principalmente para o comércio marítimo. Segundo Anderson (2005), na segunda metade do século XIX os estudos meteorológicos receberam muito investimento no Reino Unido, mas também foram objeto de debates que envolviam estudiosos, conhecimento popular (almanaques com previsões) e autoridades governamentais (interesses estratégicos). No caso tratado aqui, situaremos os estudos meteorológicos do ponto de vista científico, da busca por instrumentos precisos e por conhecimento preditivo.

Nesse sentido, um dos temas de estudo dos filósofos naturais britânicos durante o século XIX era o nevoeiro, o famoso *fog* que recobria Londres. O *fog* já fazia parte da vida dos londrinos por considerações naturais, com a presença de regiões montanhosas ao redor do rio Tâmisa, que mantinham as nuvens “presas” sobre a cidade. Mas a partir do século XVII, com o consumo do carvão extraído dos mares, a situação foi piorando: o *fog* passou a cobrir grandes extensões com mau cheiro, e uma poeira fina que caía sobre tudo, como uma fumaça (Corton, 2015). No século XIX, a situação se agravou. Segundo Corton (2015) dois *fogs*, em 1805 e 1812, colocaram Londres na escuridão. Além de mais intensos, começaram a durar mais tempo, preenchendo o ar da cidade com partículas de água, e também de poeira e de enxofre, gerados pela queima do carvão, único combustível acessível naquele momento.

Além de Londres, outras regiões do Reino Unido sofriam os efeitos da queima do combustível. Uma das cidades afetadas era Falkirk (cidade onde Aitken residia), localizada no centro da Escócia e nas proximidades da Carron Company, uma das maiores siderúrgicas do Reino Unido (Aitken, 1881a). A Carron Company, também conhecida como Carron Ironworks, foi fundada em 1759, nas margens do rio Carron (próximo de Falkirk), e durante muito tempo foi uma das maiores siderúrgicas da Europa, sendo responsável pela produção de canhões navais e equipamentos para a Marinha (Hamilton, 1928). Para Guasp (2012), a fundação da Carron Company causou um enorme impacto em Falkirk, pois a tornou conhecida como “a cidade de ferro da Escócia”. Mesmo sendo considerada uma cidade pequena, Falkirk passou por uma grande transformação em sua economia na década de 1880, deixando de ser uma cidade com mercado tradicional e tornando-se industrial, sendo considerada o berço da Revolução Industrial na Escócia até os dias de hoje.

Assim, pode-se supor que a utilização do carvão nos fornos siderúrgicos devia produzir muitas nuvens de poluição em Falkirk, e possivelmente, tal fato acabou atraindo o interesse do filósofo natural escocês Aitken para tentar entender a formação das nuvens de poluição.

John Aitken e o estudo das nuvens

O escocês John Aitken (Figura 1), conhecido por suas pesquisas na área da meteorologia, nasceu em 18 de setembro de 1839, na cidade de Falkirk, na Escócia (Knott, 1922). Quando jovem, Aitken estudou na Falkirk Grammar School e em seguida fez o curso de engenharia naval na Universidade de Glasgow, onde foi aluno de William Thomson (1824-1907), também conhecido como *lord Kelvin* (Knott, 1919). Durante dois anos de sua formação, Aitken prestou serviço militar na cidade de Dundee e em seguida passou os três anos seguintes trabalhando com construção naval; porém, devido a problemas de saúde, teve que abandonar essa profissão.

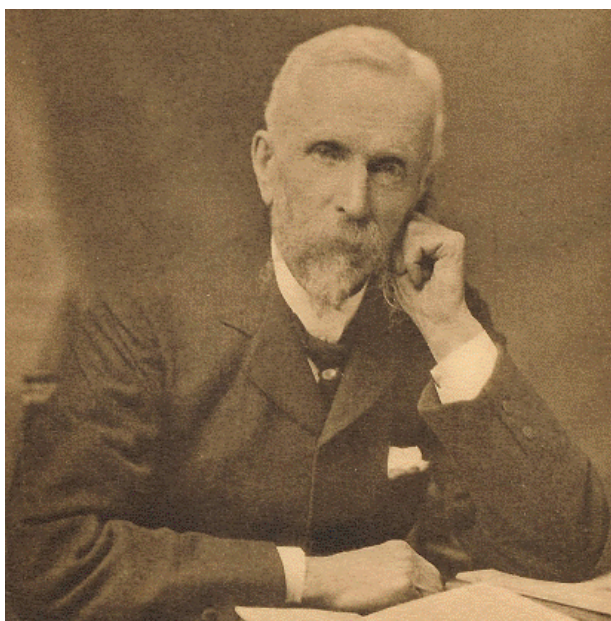


Figura 1: John Aitken. Fonte: Spurny (1998)

Segundo Knott (1922), a formação em engenharia de Aitken foi fundamental na elaboração e montagem de instrumentos científicos e para a realização de novas experiências físicas. Com seus interesses e habilidades na construção e estudo de equipamentos, Aitken transformou a sala de sua casa em Falkirk em laboratório, adaptando o ambiente da seguinte forma:

[...] com um fino torno colocado na frente da janela e guarnecido com todos os tipos de ferramentas dos mais diferentes padrões. Uma bancada de carpinteiro e mesas de trabalho repletas de peças em vidro, sopradores, canos e muitas partes de aparelhos em construção ou abandonados cobriram o espaço, enquanto armários ao longo das paredes continham gavetas cheias de termômetros e outros delicados instrumentos meteorológicos (Knott, 1922, p. 177).²

Era de sua residência que Aitken comunicava seus novos experimentos e resultados à Royal Society of Edinburgh (Knott, 1919). Na década de 1870, ele já publicava os primeiros trabalhos voltados para compreensão das cores nas nuvens, no céu e no mar, e pesquisas sobre a dinâmica dos ciclones e anticiclones. Foi nessa época que Aitken começou as discussões sobre “as condições de ebulição de líquidos e condensação de vapores, que ele mostrou dependerem da presença de superfícies livres separando diferentes estados” (Knott, 1922, p. 177), ou seja, já tentava demonstrar que a formação de nuvens (condensação do vapor d’água atmosférico) ocorria pela presença de núcleos de condensação, sólidos ou líquidos, no ar.

Durante a década de 1880, Aitken publicou vários trabalhos sobre os fenômenos da condensação do vapor d’água atmosférico, os quais afirmavam que a formação de neblina, névoa, nuvens e nevoeiros ocorria por meio de núcleos de condensação gerados a partir de partículas de poeira na atmosfera. Além disso, ele já tentava entender o motivo de as grandes cidades

2 Todas as traduções de trechos em língua estrangeira são livres e foram feitas pelos autores.

estarem sempre cobertas por nevoeiros, e buscava uma forma para dissipá-los. O caminho seguido por Aitken foi inicialmente tentar achar a causa do problema e em seguida buscar a solução. O objetivo de suas experiências era “descobrir o que causava os nevoeiros, na esperança de que, com o conhecimento assim adquirido, pudesse encontrar uma melhor solução” (Aitken, 1881b, p. 311). Outro problema, nessa época, era o acúmulo de fumaça na atmosfera, causada por combustões das siderúrgicas nas cidades. Porém, para Aitken não havia uma clareza do que seria essa “poeira”, constando diferentes definições em seus trabalhos ao longo dos anos.

Posteriormente, Aitken obteve resultados com suas experiências e conseguiu diferenciar o nevoeiro da fumaça. Essa questão ficou clara quando percebeu que a atmosfera das cidades era seca e sempre estava envolta por fumaça; com isso, dificilmente o ar ficaria em condições de produzir nevoeiros. Na verdade, os nevoeiros que afetavam algumas cidades ocorriam pela condensação de vapores produzidos em diferentes locais (possivelmente produzidos pelas siderúrgicas). Outro fato era que “a poeira simplesmente determinava se iriam condensar em partículas de granulação fina ou grossa” (Aitken, 1881b, p. 312). Ou seja, a granulação fina é a névoa (camadas mais baixas do ar sobre o solo, atingem o ponto de orvalho), enquanto a granulação grossa é o nevoeiro (formação de nuvens em proximidade com o solo).

Aitken concluiu que uma névoa ao nível das ruas é mais clara e dissipa-se rapidamente, pois é formada por um ar consideravelmente mais limpo. Enquanto um nevoeiro sobre a cidade demorava muito mais tempo para dissipar, pois sua formação ocorria juntamente com os resíduos das combustões (Aitken, 1881b). Esse foi um dos fatores que o levou a investigar mais sobre a fenomenologia do processo de condensação da água na natureza.

De acordo com Leone e Robotti (2004, p. 782), no fim do século XIX, Aitken e outros,³ já investigavam há um bom tempo o processo de formação das nuvens e sabiam “o papel desempenhado por partículas de poeira na condensação do vapor de água em gotas de nuvens.” Assim, o processo de formação das nuvens já era conhecido: o ar fica saturado por meio das correntes de convecção (expansão adiabática) e o excesso de vapor d’água separa-se em forma de gotas como nuvens ou neblina (Aitken, 1892; Leone; Robotti, 2004). Também se sabia que a neblina é formada por partículas condensadas finíssimas “que mal caem no ar, uma nuvem tem um grão um pouco mais grosso, enquanto uma névoa (nevoeiro) tem uma textura ainda mais grossa, e a chuva é qualquer uma dessas coisas enquanto cai” (Aitken, 1881a, p. 338).

Apesar disso, ainda era difícil responder qual o motivo de tantas diferenças entre os tipos de condensações, algumas com partículas tão minúsculas que pareciam não ter peso e permaneciam suspensas no ar; enquanto outras tinham granulação maior e caíam rapidamente; cada uma possuía características específicas e únicas, que as distinguíam umas das outras (Aitken, 1881a). Desse modo, um dos grandes problemas da época era reproduzir a fenomenologia das nuvens em laboratório.

Com esse intuito, Aitken desenvolveu um instrumento para investigar o processo de formação da neblina, da névoa e das nuvens por meio da condensação do vapor d’água. Utilizando uma amostra de ar de seu laboratório, ele conseguiu produzir nuvens dentro de um recipiente de vidro, sendo algumas tão brancas, nebulosas e densas que era impossível enxergar através delas (Aitken, 1881a). Usando o mesmo instrumento e filtrando o ar coletado, identificou que

3 São mencionados Paul-Jean Coulier (1824-1890) e Karl Johann Kiessling (1839-1905). Além de Leone e Robotti (2004), sugerimos a leitura de Anderson (2005) para outros trabalhos sobre meteorologia entre os britânicos.

não ocorria a formação de nuvens, porém, o recipiente ficou preenchido com vapor d'água supersaturado, e concluiu Aitken que "ar empoeirado – isto é, ar comum, produz uma densa nuvem branca de vapor condensado. O ar sem poeira não produz nenhum embaçamento" (Aitken, 1881a, p. 338).

Por meio de suas experiências, Aitken definiu que a neblina, névoa ou nuvem não dependiam da combinação de moléculas de vapor d'água para serem formadas, mais sim da condensação do vapor em superfícies livres; e que podiam ser geradas a partir das partículas de poeira presentes no ar, logo:

onde há abundância de poeira, há abundância de "superfícies livres", e o vapor condensado visível forma uma nuvem densa; mas onde não há partículas de poeira presentes, não há "superfícies livres" e nenhum vapor é condensado em sua forma visível, mas permanece em uma condição vaporosa supersaturada até que a circulação o coloque em contato com as "superfícies livres" dos lados do receptor, onde é condensado (Aitken, 1881a, p. 340).

Nesse contexto, Aitken afirmou que o tamanho da poeira influenciava diretamente no tipo de condensação que seria formada, ou seja, só há formação de neblina, névoa e nuvens na natureza, caso haja superfícies livres no ar ambiente.

Aitken (1889) aprimorou seu instrumento de investigação e chegou a uma nova versão, que ficou conhecida como contador de poeiras Aitken, capaz de calcular o número de partículas de poeira em uma amostra de ar saturado dentro de um recipiente.

Contudo, por meio de novas experiências, Aitken percebeu que mesmo na ausência de partículas de poeiras, a formação de nuvens (condensação turva) ainda poderia ocorrer. A explicação para a formação de nuvens, mesmo na ausência de partículas de poeira, foi dada anos mais tarde por Charles Wilson (1869-1959), quando mostrou que íons, ao serem expandidos rapidamente em uma câmara de nuvens, agiam como núcleos de condensação e produziam condensação turva, formada por infinitas gotículas presentes no ar. Tal fato reforçou a hipótese defendida por Aitken, pois só há formação de nuvens quando se tem um núcleo de condensação, ou seja, em "condições atmosféricas comuns, os núcleos nos quais a neblina, as névoas e as nuvens se formam são, fundamentalmente, as partículas de poeira," contudo, tais efeitos podem ser intensificados pela presença de íons no ar (Knott, 1919, p. 338).

As experiências produzidas por Aitken também foram de grande importância para os trabalhos desenvolvidos por Joseph John Thomson (1856-1940), pois em suas clássicas experiências "sobre a massa e a carga de um elétron, utilizou o método de condensação de Aitken para obter uma das medições das quais dependia a determinação destas duas pequenas quantidades" (Knott, 1922, p. 179). Desse modo, nota-se que John Aitken foi um dos pioneiros na produção de nuvens "artificiais" em laboratório, dando início a uma nova linha de pesquisa em meteorologia, que atualmente é conhecida como ciência dos aerossóis atmosféricos (Knott, 1922).

Por seus trabalhos, Aitken foi eleito membro da Royal Society of Edinburgh em 1875, e da Royal Society of London em 1889 e recebeu outros prêmios (Knott, 1919). John Aitken faleceu em 14 de novembro de 1919, ainda na cidade de Falkirk.

Tradução do artigo “Sobre o número de partículas de poeira na atmosfera”

O artigo traduzido aqui (Aitken, 1889) foi lido perante a Royal Society of Edinburgh em 1888 e publicado no volume XXXV da *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* em 1889. A tradução foi feita pelos autores utilizando a fonte de 1889 e também a republicação on-line pela Cambridge University Press (6 jul. 2012, p. 1-19). A numeração das páginas adota a versão on-line.

Sobre o número de partículas de poeira na atmosfera

“As partículas alegres que povoam os raios de sol.”

Milton

A matéria sólida que flutua em nossa atmosfera está se tornando cada vez mais interessante à medida que gradualmente percebemos o papel importante que desempenha na economia da natureza, seja em seus aspectos físicos, fisiológicos ou meteorológicos. Um ponto fundamental sobre o qual temos atualmente muito pouca informação precisa, é quanto ao número de partículas sólidas presentes em nossa atmosfera. Sabemos que elas são muito numerosas, e parece provável que o número varie sob diferentes condições climáticas; mas sobre qual número de partículas está realmente presente sob quaisquer condições, e como o número varia, temos atualmente muito pouca ideia. Nesse campo de pesquisa, os fisiologistas estão muito à frente dos físicos, pois eles criaram meios de contar o número de germes vivos flutuando em nossa atmosfera, e já temos uma boa quantidade de informações sobre como esse número varia sob diferentes condições.

Parte da nossa ignorância em relação à matéria orgânica e inorgânica morta flutuando na atmosfera pode, sem dúvida, ser devido à dificuldade aparente de uma investigação desse tipo, na qual muitas das partículas a serem contadas são tão extremamente pequenas que não apenas são invisíveis a olho nu, mas estão além dos maiores poderes do microscópio. Mas, embora esse possa ser o caso, a verdadeira razão da nossa ignorância sobre esse assunto parece ser que ninguém se dedicou seriamente à sua investigação; o problema, embora aparentemente de considerável dificuldade, revelou-se ser de solução comparativamente simples, quando o grau de precisão exigido não é muito. Quando consideramos os números com os quais temos que lidar e as condições do problema, a precisão perfeita não parece de fato possível. [p. 1].

Introdução ao método de contagem

Aqui apresentarei um método que criei e desenvolvi para contar o número de partículas de poeira em qualquer amostra de ar; e os números que foram obtidos ajudarão, espero, a dar definição às nossas ideias quanto ao número de partículas flutuando na atmosfera, tanto em condições naturais quanto artificiais.

Ao abordar a solução desse problema, diferentes ideias surgiram quanto à maneira de contar as partículas, mas todas dependiam do princípio fundamental de torná-las visíveis por

meio da supersaturação do vapor do ar no qual estavam flutuando. Sob essas condições, cada partícula de poeira se torna um centro de condensação, e o que era invisível por si só, se torna bastante visível por seus efeitos, à medida que cada partícula de poeira invisível se torna um centro de condensação e cresce em uma gota facilmente visível.

O método mais simples de executar essa ideia seria colocar dentro de um receptor de vidro o ar a ser testado, junto com um pouco de água, e causar supersaturação reduzindo a pressão no receptor por meio de uma bomba. Sabemos que sob essas condições ocorre uma condensação nebulosa; todo o receptor se tornando embalado com pequenas partículas brancas, tão pequenas que, embora visíveis a olho nu, flutuam no ar. Cada uma das partículas de neblina assim produzidas têm uma partícula de poeira como núcleo. Agora, pode ser possível conceber alguns meios de fazer uma estimativa do número dessas partículas de neblina, por algum tipo de medição microscópica da distância média entre seus centros. Mas, supondo que tivéssemos feito isso, não teríamos resolvido o problema de forma alguma. Essas partículas de neblina não representam todas as partículas de poeira presentes no ar; apenas aquelas que têm a maior afinidade pelo vapor são visíveis; uma grande proporção não tem vapor condensado nelas. Poderíamos, depois de contá-las, permitir que essas partículas visíveis se acomodassem e, então, novamente produzir supersaturação, o que revelaria mais algumas partículas. Esse processo, no entanto, precisaria ser repetido um grande número de vezes antes que a última delas se tornasse visível e, como não podemos evitar a evaporação de algumas gotas, muitas das partículas seriam contadas duas vezes; no geral, todo o processo parecia muito complicado e insatisfatório para valer a pena tentar.

A sugestão mais esperançosa era colocar no receptor apenas uma quantidade muito pequena e medida do ar a ser testado, misturado com uma quantidade grande e conhecida de ar sem poeira perfeitamente filtrado, de modo que as partículas ficassem tão distantes que, ao ser feita a supersaturação, todas elas se tornariam centros de condensação e, assim, por um tratamento, cada partícula se tornaria visível e seria contada. No teste, a primeira parte desse plano foi considerada de fácil realização; simplesmente aumentando a proporção de ar livre de poeira para o ar empoeirado chegou-se a uma situação em que cada partícula foi tornada visível por uma supersaturação.

Voltando agora para o método adotado para contar as gotas. Ao experimentar a condensação no ar supersaturado contendo partículas de poeira, notei que quando as partículas são poucas, as gotas são grandes, isto é, grandes comparativamente ao que são quando a condensação ocorre no ar comum; tão grandes são elas que são facilmente vistas [p. 2] caindo como chuva fina. Agora, parecia-me que seria possível contar o número de gotas que caíam em uma determinada área. Se isso pudesse ser feito, então o problema prometia ser simples. Tudo o que seria necessário seria fixar um pequeno palco⁴ ou plataforma dentro do receptor, a uma distância conhecida do topo, ter a superfície dessa plataforma dividida em quadrados de tamanho conhecido e, então, simplesmente contando o número de gotas que caíam em um dos pequenos quadrados, seria fácil fazer uma estimativa do número de partículas de poeira no ar testado.

4 Aitken usa *stage*. Para o contexto da experiência e pelo fato dele também usar plataforma, entendemos que esteja se referindo a uma superfície onde haveria o depósito.

Suponhamos, por exemplo, que a plataforma fosse pautada com linhas em ângulos retos entre si, e a 1 mm de distância, e suponha que ela [a plataforma] fosse fixada a 1 cm do topo do receptor. Então, digamos que uma gota cai em cada quadradinho; isso daria 100 gotas por centímetro quadrado, e, como há apenas 1 cm de ar acima da plataforma, haverá exatamente 100 partículas por centímetro cúbico de ar no receptor; e sabendo a quantidade em que o ar foi diluído com ar puro, e expandido pela bomba, o cálculo para o número de partículas no ar testado é facilmente feito. Esse era o plano que parecia prometer mais sucesso se os detalhes pudessem ser executados a contento.

A primeira coisa para a qual direcionamos a atenção foi encontrar o tipo mais adequado de palco ou plataforma para receber as gotas, no qual elas pudessem ser mais facilmente vistas e contadas. Esse problema simples levou muito tempo para ser resolvido;⁵ e agora que as dificuldades foram superadas, e o aparelho foi arranjado de forma que as gotas são facilmente vistas, e rapidamente contadas, é difícil acreditar que tenha levado tanto tempo.⁶ A primeira plataforma de contagem tentada foi um pequeno pedaço de espelho de vidro, pautado na parte de trás com linhas finas, em ângulos retos entre si, e a 1 mm de distância. A parte de trás do espelho foi coberta com verniz preto para mostrar as linhas claramente. A plataforma foi apoiada dentro do receptor a uma distância de 1 cm do topo, e sua superfície foi examinada por meio de uma lupa, e então foi iluminada por uma chama de gás colocada a uma curta distância e ligeiramente acima dela.

Esse pequeno espelho deu resultados que a princípio pareciam altamente satisfatórios, as gotas sendo claramente visíveis em sua superfície com o auxílio da lupa. Mas, quando chegou a hora de contar as gotas, a inadequação do arranjo era evidente; pois na maior parte de sua superfície as gotas pareciam duplas, e a confusão produzida pelas imagens refletidas fez com que seu uso fosse abandonado imediatamente. O próximo arranjo tentado foi um espelho feito de vidro muito grosso, de modo que a imagem refletida pudesse ficar completamente fora de foco; mas o resultado não foi satisfatório, pois as linhas cruzadas nessa plataforma tiveram que ser gravadas na superfície superior, e essas linhas fizeram com que uma grande quantidade de luz fosse refletida do espelho, e impediram que as gotas fossem vistas tão facilmente quanto no primeiro espelho. A tentativa seguinte foi feita com vidro de microscópio, no qual depusitei prata da maneira usual; mas, embora o vidro fino aproximasse a gota e sua imagem refletida, teve que ser abandonado, pois todas as amostras desse tipo de vidro testadas eram muito ásperas e cheias de partículas, e apenas o vidro com melhor acabamento é adequado para esse propósito.

Depois disso, os espelhos de vidro foram abandonados, e outro arranjo foi tentado. Em vez de usar um espelho iluminado de cima, a plataforma agora era iluminada de baixo, e uma pequena peça [p. 3] de vidro fino e cuidadosamente selecionado foi usada em vez do espelho. O vidro tinha linhas finas gravadas em sua superfície. Esse arranjo deu resultados muito bons, embora não tão satisfatórios em alguns aspectos quanto o espelho, se a imagem dupla desse último pudesse ser eliminada. As tentativas foram agora, portanto, direcionadas para ver se o arranjo do espelho não poderia ser melhorado. Para eliminar a dupla reflexão, um espelho de

5 Interessante notar que num experimento, nem sempre as maiores dificuldade são relativas às grandes questões – como por exemplo o problema ou as hipóteses – mas aos acessórios, como suportes e detalhes. Em geral, esses “detalhes” não são nem revelados nos relatos dos estudiosos.

6 Adaptação de “are very easily seen, and quickly counted, it is difficult to see how the time has been spent”.

prata parecia ser a melhor coisa, se pudesse ser suficientemente perfeito em sua superfície. Minhas primeiras tentativas nessa direção foram feitas com prata depositada em placas de vidro altamente polidas, sendo usado o lado prateado do vidro. Esses espelhos deram resultados altamente satisfatórios, mas eram muito delicados, sendo facilmente destruídos pela água. Com alguma dificuldade, no entanto, consegui obter placas de prata sólida com uma superfície suficientemente perfeita para o propósito.

Espelhos de prata, com linhas finas riscadas a 1 mm de distância, são agora os únicos usados, e funcionam muito bem, embora exijam considerável atenção para mantê-los em condições de funcionamento. Antes de começar o trabalho, o espelho é sempre polido, ocasionalmente em uma roda de polimento com *rouge*,⁷ e finalizado em uma roda de lã. No polimento, deve-se tomar cuidado para que a placa seja sempre esfregada em linhas retas em uma direção e ao longo de um conjunto, e que sempre ao longo do mesmo conjunto de linhas riscadas e através do outro conjunto, sem fricções cruzadas ou circulares. A razão para isso é que, quando as marcas de fricção estão todas na mesma direção, é possível organizar a direção dessas fricções em relação à posição da luz de modo que a superfície do espelho pareça preta e as gotas brilhem intensamente em sua superfície.

Sobre o receptor é colocada uma tampa, escurecida por dentro para excluir toda a luz, exceto a que vem da chama de gás, e uma abertura é feita no topo dela através da qual a plataforma é vista por meio de uma lente. O espelho requer cuidado em seu ajuste com relação à posição da luz para permitir que as gotas sejam facilmente vistas. Ele deve ser girado de modo que uma diagonal para os pequenos quadrados em sua superfície aponte para a luz. Quando a iluminação é ajustada corretamente, o espelho parece preto ao olhar através da lente, enquanto as linhas são distintamente, mas não brilhantemente, iluminadas; e quando as gotas caem no espelho, elas aparecem como manchas brilhantes na superfície preta.

Uma ilustração interessante da condição esferoidal é frequentemente vista nesses experimentos. Quando a plataforma está ligeiramente mais quente do que as gotas, elas não aderem à placa, mas rolam em sua superfície, movendo-se em direção à parte mais baixa. Elas deslizam sobre os pequenos quadrados até encontrarem uma linha de limite na qual caem e na qual rolam para baixo até evaporarem completamente. Elas encontram tão pouca resistência em seu movimento, que é quase impossível fazer a plataforma tão perfeitamente horizontal que elas não rolem para um lado ou para o outro. Esse rolamento das gotas interfere muito na contagem, mas, como pode ser facilmente evitado, a contagem nunca deve ser feita enquanto a plataforma estiver nessa condição; porque, além da dificuldade de contagem, algumas gotas evaporam antes que possam ser contadas. Placas de vidro parecem ser mais propensas a essa dificuldade do que as de prata, provavelmente porque o vidro absorve melhor do que a prata o calor radiante da chama iluminadora. [p. 5]

7 *Rouge* se refere à parte abrasiva (granulação) da roda de polimento, que determinará a qualidade do acabamento. Para materiais mais delicados, o *rouge* deve ser mais delicado; enquanto que para materiais mais duros, mais rígido.

Descrição do aparelho

Tendo dado um esboço geral do método empregado para contar as partículas, descreverei agora mais particularmente o aparelho usado pela primeira vez nessa investigação. O arranjo geral do aparelho é mostrado na Figura 1.⁸ Todo o aparelho é do tipo mais simples e pode ser facilmente obtido pronto, com exceção da pequena plataforma na qual as gotas são contadas. As diferentes plataformas usadas nesta investigação foram elaboradas por mim com o auxílio de um instrumento simples construído para esse propósito, mas que não precisa ser descrito aqui. Na figura, **A** é o receptor de teste no qual o ar sob investigação é introduzido, e dentro do qual as partículas são contadas. É um frasco de vidro comum com fundo plano, e apoiado em uma posição invertida. **B** é uma bomba de ar conectada com **A** pelo tubo de borracha-da-índia⁹ **C**. Deve ser explicado que a bomba **B** é desenhada na posição mostrada no esboço para a conveniência da ilustração. No aparelho real, ela é fixada horizontalmente um pouco acima do nível da mesa, pois esta posição foi considerada a mais conveniente para fazer um curso da bomba enquanto o olho é mantido firmemente aplicado à lupa. **D** é um filtro de algodão conectado com **A** por meio do tubo **E**. Os tubos **C** e **E** passam por uma rolha de borracha-da-índia em **A** e projetam-se para cima no receptor; **C** vai até aproximadamente o meio; enquanto **E** sobe até perto do topo e forma o suporte no qual a plataforma de contagem **O** é fixada. **F** é uma torneira para fechar a conexão entre o receptor **A** e o filtro **D**.

O ar a ser testado é introduzido no frasco **G**. Este frasco é provido de uma rolha de borracha-da-índia, através da qual passam os dois tubos **I** e **K**. O tubo **I** entra apenas uma curta distância no frasco e é provido da torneira **H**. O ramo superior dessa torneira se comunica com o tubo **E** por meio da junta móvel hermética **L**. O outro tubo **K** preso ao frasco **G** passa para baixo até perto do fundo do frasco, enquanto do lado de fora ele é conectado com o pequeno recipiente de vidro **M** da maneira mostrada, por meio de um comprimento de tubo de borracha-da-índia. O recipiente **M** é feito grande o suficiente para conter alguns centímetros cúbicos de água e, na extremidade inferior, na parte estreita, há uma linha de índice gravada. Acima do recipiente **M** é suportada a bureta **N**.

Para manter o ar sob exame saturado com vapor, um pouco de água é colocado no receptor **A**, e de tempos em tempos o receptor é invertido, e a água é movida dentro do frasco de modo a molhar as paredes internas. Para permitir que isso seja feito facilmente, há uma quebra no tubo de metal **E**, logo abaixo da torneira **F**, que é unida por meio de um pequeno pedaço de tubo de borracha-da-índia, de modo que quando o anel que sustenta o receptor é removido, ele pode ser girado em qualquer direção para colocar a água de dentro em contato com todas as partes internas.

A plataforma **O** na qual as gotas são contadas, como explicado, é feita de uma pequena placa de prata altamente polida; tem pouco mais de 1 cm², e é pautada com linhas muito finas em ângulos retos entre si e a 1 mm de distância.¹⁰ A plataforma é sustentada dentro do receptor **A** por meio do tubo **E** exatamente 1 cm abaixo do topo plano do receptor. O objetivo de

8 O aparelho é apresentado no início do artigo mas, para facilitar a associação das letras e funções, o colocaremos no meio do texto.

9 Refere-se ao látex extraído de uma árvore da Índia (*Ficus elastica*), também conhecida como seringueira-da-índia.

10 Cabe destacar o tamanho da plataforma que servirá para a contagem das gotas e os detalhes de linhas tracejadas com 1mm.

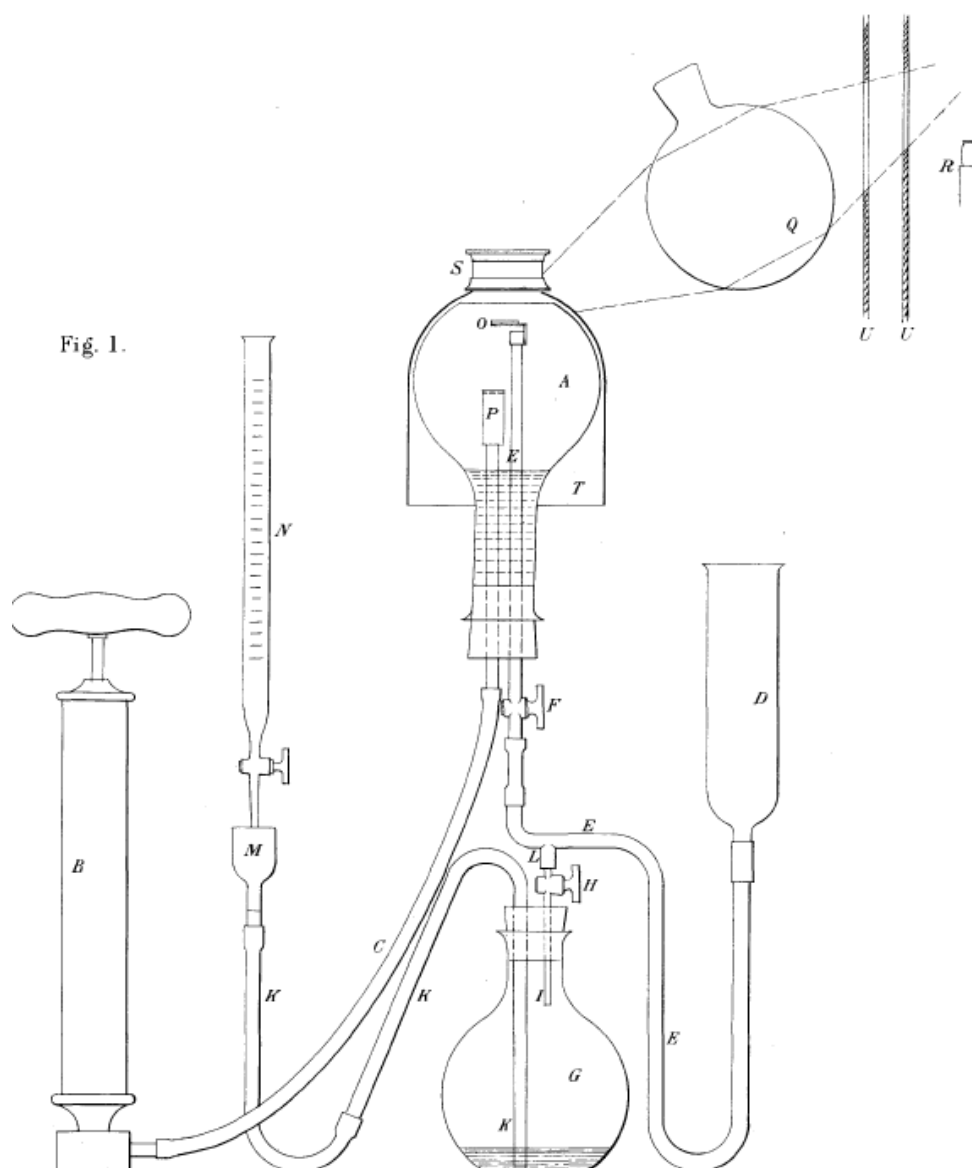


Figura 2: Ilustração representando o aparelho completo. Fonte: Aitken (1889).

fixar a plataforma ao topo do tubo de entrada é que ela [a plataforma] fica frequentemente [p. 6] coberta com um depósito pesado de orvalho, em cujo estado é completamente inútil, mas quando montada da maneira mostrada, o orvalho é facilmente removido aquecendo o tubo **E**, sendo o calor levado para a plataforma pelo ar que entra em sua passagem, do filtro para o receptor. Note-se que a plataforma não é colocada centralmente sobre o tubo **E**. Esse arranjo foi adotado porque foi observado que mantém a plataforma nas melhores condições de trabalho. Se a plataforma estiver muito quente, as gotas rolam e evaporam rapidamente; por outro lado, se estiver muito fria, a superfície fica molhada e a contagem torna-se impossível. Note-se que o ar que entra tende a resfriar a plataforma, e é melhor confinar o resfriamento a um lado da plataforma, porque, por esse arranjo, geralmente há alguma parte dela na temperatura mais adequada para fácil contagem; e, como apenas um ou às vezes quatro quadradinhos são necessários, sempre há muitos para selecionar entre as centenas na plataforma. A plataforma é

vista através do fundo do frasco, por meio de uma lupa composta **S**. Um instrumento comum e barato, disponível na maioria dos oculistas, mostrou-se bastante adequado para esse propósito.

O tubo **C**, conectando a bomba com o receptor, termina dentro do receptor em uma ampliação **P**, que é preenchido com algodão por uma razão que será explicada mais tarde. A plataforma **O** é iluminada por meio da chama de gás **R**, cuja luz passa pelo frasco esférico **Q**, que é preenchido com água. Esta lente esférica (a água e o frasco **Q** atuam como lente) ameniza o calor dos raios e concentra a luz na plataforma. **T** é uma tela que envolve o receptor **A**, para cortar toda a luz, exceto a que é concentrada na plataforma pela lente **Q**, e é escurecida por dentro para verificar a reflexão.

Suponha agora que o aparelho esteja instalado conforme mostrado na figura [Fig. 1], e que desejamos testar uma amostra de ar; a primeira coisa a ser feita é fechar a torneira **H** e abrir **F**. A bomba **B** agora está funcionando, e o ar é puxado através do filtro **D**, isso é feito por algum tempo até que o ar comece a ser purificado; ou a maior parte do ar pode ser bombeada para fora e o ar filtrado pode entrar. Depois que isso for feito, a torneira **F** é fechada, e a bomba é golpeada; a condensação então ocorre dentro do frasco, e se o ar estiver quase puro, as gotas são grandes e logo se acomodam. Depois que elas caem, a torneira **F** é novamente aberta, e o ar filtrado pode entrar; quando é novamente fechada, e a bomba é golpeada novamente. Isso é repetido até que toda a condensação no frasco pare. O ar dentro do receptor está agora livre de todas as partículas de poeira. A torneira **F** é então fechada, o tubo **K** desconectado de **M**, e a torneira **H** retirada de seu encaixe hermético **L**. O frasco **G** sendo assim completamente desconectado do aparelho, sua rolha é removida, ele é enchido com água e levado para o local de onde desejamos tirar uma amostra do ar a ser testado. Aqui a água é quase toda esvaziada do frasco, e o ar entra para tomar seu lugar. A rolha deve agora ser firmemente encaixada, a torneira fechada e o tubo **K** preenchido com água e preso. Retornando com o frasco ao aparelho, a torneira **H** é cuidadosamente encaixada em seu lugar, o tubo **K** conectado com **M**, a parte inferior de **M** sendo enchida de água, tomando cuidado para que nenhum ar fique preso entre a água no tubo e a água em **M**. A torneira **H** é aberta, e permite a água [p. 7] passar de **M** para o frasco, até que a água em **M** caia para a linha de índice. O ar que foi deslocado por esse processo, do frasco **G**, entra no tubo **E**, e se move na direção do filtro. Um ou dois golpes da bomba e condensações correspondentes da maneira explicada logo eliminam o ar impuro. Depois que toda a condensação cessa, um pouco de água, digamos 1 cc [centímetro cúbico ou cm^3], é permitido correr da bureta **N** para **M**, e um golpe da bomba é dado, tomando cuidado para que ambas as torneiras de passagem estejam previamente fechadas. A torneira de passagem **H** é agora aberta até que a água em **M** caia para a linha de índice, após isso é fechada. Por esse processo, 1 cc de ar é deslocado do frasco **G** e enviado para o tubo **E**. A torneira **F** agora está aberta e, como havíamos feito anteriormente um curso da bomba, o ar entra rapidamente do filtro e carrega 1 cc de ar empoeirado junto com ele para o receptor. A plataforma é agora cuidadosamente observada através da lupa, e um curso da bomba é feito, o olhar sendo firmemente fixado em um quadrado selecionado na plataforma. Imediatamente, uma chuva muito fina é vista caindo, e as gotas que caem no quadrado selecionado são contadas. Se a plataforma estiver muito quente, as gotas evaporam rapidamente, e a atenção deve ser confinada a um quadrado; mas em certas condições, ainda difíceis de manter, as gotas permanecem visíveis por um tempo considerável, então o número pode ser contado em muitos quadrados, e uma média rapidamente obtida; mas na maioria das condições da plataforma, o teste deve ser repetido

frequentemente antes que uma média satisfatória possa ser obtida. A quantidade medida de água deve ser novamente colocada em **M**, e seu equivalente de ar deslocado de **G** para o tubo **E**, e levado para o receptor de teste, a condensação produzida, as gotas contadas por, digamos, dez vezes, e a média tomada.

Não se deve enviar muito ar empoeirado para o receptor de teste de uma só vez, ou as gotas ficarão muito próximas para serem contadas; e, além disso, nem todas elas serão lançadas para baixo; algumas delas permanecerão como pó e cairão se uma segunda expansão for feita. Não é preciso ocorrer qualquer erro por haver muitas partículas presentes, pois na prática há uma verificação constante do número admitido da seguinte maneira: – após a expansão ter sido feita e as gotas contadas, a torneira **F** é aberta, e é permitido o ar filtrado entrar. A bomba é então golpeada para preparar o receptor para aspirar o ar para o próximo teste, e se, enquanto esse golpe estiver sendo feito, observarmos a plataforma, veremos se alguma gota cai ou não. Se nenhuma cair, então a quantidade de ar empoeirado admitida está dentro dos limites corretos; mas, se alguma gota aparecer, então foi usado muito [ar], e menos água deve ser colocada em **M** para o próximo teste. Se nenhuma condensação ocorreu após esse golpe ter sido feito, a quantidade medida de ar empoeirado é novamente passada para dentro do tubo **E**, e levada para dentro do receptor para outro teste. Uma verificação completa é então mantida em cada teste, garantindo que todas as partículas em cada quantidade de ar testada tenham sido lançadas para baixo.

*[exemplo de resultados possíveis e de imprecisão do aparelho]*¹¹

Sobre algumas precauções necessárias

[p. 8] Ao desenvolver um processo desse tipo, era de se esperar que muitas dificuldades se apresentassem. A maioria delas já foi superada, porém mais de uma vez a tarefa pareceu sem esperança. Tudo dava certo por um tempo, então de repente tudo desmoronava. O número de partículas contadas nos testes sucessivos do mesmo ar era razoavelmente constante por um número de vezes; então aumentava para uma quantidade que excede em muito os limites dos erros de observação. Agora que a estrada está limpa e as principais obstruções removidas, é difícil, olhando para trás, ver onde estavam as obstruções, pois sua causa e a maneira de evitá-las são agora tão [p. 9] evidentes.¹² Se não fosse pelo meu caderno de anotações e o intervalo de tempo que decorreu desde que os testes preliminares foram feitos com o aparelho – tempo que foi gasto na limpeza dessas obstruções, – não se teria consciência de que elas existiram. Como, no entanto, essas mesmas dificuldades provavelmente ocorrerão a qualquer um que possa ser induzido a seguir essa linha de investigação, é aconselhável que alguma referência seja feita a elas, e a maneira pela qual elas podem ser evitadas seja apontada.

11 Além de trazer alguns exemplos, Aitken também apresenta a possibilidade de trocar a bomba e o mecanismo de bombeamento por um gasômetro. Entendemos como desnecessário detalhar.

12 Merece destaque a reflexão de Aitken quanto à prática experimental e procedimental, e aos possíveis problemas durante o experimento. Em geral, nos trabalhos finais publicados, raramente um estudioso revela os problemas que teve no experimento, apresentando apenas o “que deu certo”. Joule é um exemplo disso, que em publicações do mesmo período omite passos, materiais, erros etc. (Martins; Silva, 2021).

Quando os vários testes do mesmo ar deram resultados tão diferentes, pensou-se inicialmente que a diferença poderia ser devido à filtragem imperfeita. No processo descrito, pegamos uma quantidade de ar filtrado e misturamos com uma pequena quantidade do ar empoeirado que desejamos testar, e assumimos que todos os centros de condensação eram partículas de poeira contidas no ar empoeirado. Agora, é muito evidente que, se o ar puro for filtrado de forma imperfeita, nossos resultados não serão verdadeiros, e os números variarão com a filtragem mais ou menos perfeita do ar. Como então a filtragem do ar está na raiz do problema, pensou-se ser aconselhável estudar esse processo mais detalhadamente e determinar se é possível, por meio de algodão, filtrar todas as partículas de poeira e, se possível, determinar as condições sob as quais isso pode ser feito.

[Aitken apresenta o papel dos filtros utilizados para melhorar as medidas]

[p. 12] Como veremos, havia muitas causas para a falha do ar filtrado em se manter livre de condensação quando a expansão era feita. Consideraremos essas separadamente. Esta falha, do ar em se manter limpo, a princípio parecia inexplicável com um fator de segurança tão grande quanto o dado por 12 polegadas de algodão, que é quatro vezes o que foi considerado necessário para uma filtragem perfeita sob o que pareciam ser as mesmas condições. A primeira coisa que se suspeitou foi de alguma falha nas juntas dos tubos onde o metal ou vidro se juntava à borracha-da-índia. Quando qualquer nova falha ocorria, essa era sempre a primeira coisa de que se suspeitava. Vez após vez, as juntas eram retiradas e refeitas com uma solução de borracha-da-índia, e as torneiras eram limpas, lubrificadas e testadas; mas em quase nenhuma instância elas eram consideradas defeituosas, pois a solução de borracha-da-índia faz uma junta perfeita, desde que não tenha sido severamente esticada.¹³

Uma explicação para a falha parecia ser que, afinal, a filtragem pode não ser perfeita, que o filtro só reteve as partículas maiores enquanto deixava passar as extremamente pequenas. Sir William Thomson concluiu, a partir de certos fenômenos de capilaridade, que a pressão de vapor em uma superfície côncava é menor do que em uma plana; e o professor Clerk Maxwell estendeu essa conclusão para superfícies convexas e mostrou que a pressão de vapor em uma superfície convexa será maior do que em uma plana, e que, quanto menor o corpo, ou seja, quanto mais rápida for sua curvatura, maior será a pressão de vapor em sua superfície. A partir disso,¹⁴ vemos que o ar que é saturado em uma superfície plana não é saturado em uma convexa, e também que quanto menor o corpo, maior será a supersaturação necessária para produzir condensação nele. Em nossa ignorância, parecia possível, a partir disso, que apenas o grau de supersaturação produzido pela quantidade de expansão usada nos experimentos pudesse ser suficiente para causar condensação nessas partículas extremamente pequenas, de modo que em um teste o grau poderia ser excedido, enquanto no próximo ele poderia não ser alcançado.

Essas considerações apontaram para a necessidade de estudar esse ponto separadamente. Dada uma quantidade de ar comum, mostramos, em uma comunicação anterior,¹⁵ razões para

13 Encontrar possíveis falhas pressupõe que hipóteses anteriores já indicam um resultado esperado, caso contrário, não seriam considerados erros.

14 Aitken está a par de discussões que acontecem na academia e de trabalhos de outras áreas que podem ser empregados na sua pesquisa.

15 Aitken não indica de qual trabalho está tratando, mas as comunicações anteriores que abordam nuvens

supor que a condensação começa antes que a supersaturação seja alcançada, devido a uma afinidade entre o material das partículas de poeira e o vapor de água. Quando a supersaturação é feita nesse ar, essas partículas, devido à sua afinidade pelo vapor de água, são as primeiras a se tornarem visíveis pelo vapor que se condensa nelas. Suponha que essas sejam permitidas a se acomodar, então, quando a próxima expansão e supersaturação forem feitas, a probabilidade é que as partículas *maiores* assumam a próxima carga de vapor, e que as menores sejam deixadas para serem levadas para baixo por uma supersaturação subsequente, até que finalmente as *menores* partículas sejam deixadas para serem trazidas para baixo de uma maneira similar. Isso é teoricamente o que poderíamos esperar que acontecesse, porque quanto menor a partícula, maior será a pressão de vapor em sua superfície, e maior, portanto, a supersaturação deve ser antes [p. 12] que possa ocorrer condensação nela; mas um alto grau de supersaturação não é possível enquanto as partículas maiores estiverem presentes, e somente quando o ar estiver livre delas é que o maior grau de supersaturação necessário para causar condensação nas menores será possível.

Para determinar se as chuvas observadas com o alto grau de supersaturação usado nos testes foram devidas à presença de partículas extremamente pequenas, foi necessário determinarmos experimentalmente se o tamanho das partículas tem *praticamente* alguma influência no grau de supersaturação necessário para fazer com que elas se tornem centros de condensação.

[Aitken apresenta os detalhes de um novo experimento para testar a hipótese da supersaturação]

[p. 14] Vemos por esse experimento que um grau muito leve de supersaturação causará condensação em algumas das partículas de poeira no ar, mas que o grau de supersaturação que é suficiente para fazer com que algumas partículas se tornem centros ativos ainda é insuficiente para fazer com que a condensação ocorra em outras. Uma expansão de 1/250 produziu uma supersaturação suficiente para causar condensação em mais da metade das partículas, mas exigiu um grau maior de supersaturação para produzir condensação nas outras, muitas delas exigindo a supersaturação produzida por uma expansão de 1/50 antes que o vapor se condensasse nelas.

Pode-se concluir deste experimento que temos aqui evidências distintas de que os poderes de condensação das partículas de poeira são afetados por seu tamanho. Sem dúvida, a composição das partículas tem um efeito no grau de supersaturação necessário para tornar ativas até mesmo as partículas pequenas, mas a afinidade entre o material da partícula e o vapor de água não explica satisfatoriamente os diferentes graus de supersaturação necessários para tornar as diferentes partículas ativas. Embora uma partícula pequena que tenha afinidade pelo vapor possa ter o mesmo poder de condensação que uma partícula maior que não tenha afinidade, a afinidade por si só não explica a necessidade de supersaturação para tornar qualquer uma delas ativa; isso, até onde sabemos, pode ser explicado apenas pelos tamanhos.

[p. 15] Ao fazer experimentos desse tipo, há uma precaução necessária à qual devemos nos referir. O ar sob teste é mantido saturado pelos lados úmidos do receptor. É, no entanto, extremamente difícil evitar que o ar fique supersaturado, porque qualquer diferença de temperatura das diferentes partes do receptor causará supersaturação, na qual o ar quente

foram: Aitken (1880, 1881a, 1881b, 1881c, 1881d, 1884).

saturado se mistura com o mais frio.¹⁶ Portanto, grande cuidado foi tomado para manter a temperatura o mais uniforme possível, toda a radiação sendo cortada, pois é fácil ver que se houver qualquer supersaturação devido à diferença de temperatura, então uma ligeira expansão teria o efeito de uma expansão maior e interferiria na exatidão de nossos resultados. Para ilustrar o efeito da supersaturação da desigualdade na temperatura das diferentes partes do receptor, o seguinte experimento pode ser feito: – introduza no receptor ar no qual há apenas uma pequena quantidade de poeira. Agora coloque a mão em um lado do receptor para aquecê-lo ligeiramente e observe o resultado. Dentro do receptor será visto um chuvinho de partículas condensadas, que continuará caindo enquanto houver poeira no ar e o lado quente do receptor permanecer. Depois que parar, podemos fazer uma expansão por meio da bomba, mas nenhuma condensação ocorrerá, a condensação produzida pela mistura das correntes quente e fria tendo previamente jogado para baixo todas as partículas.

Estando convencidos de que um grau muito pequeno de expansão é necessário para dar origem a uma supersaturação grande suficiente para fazer com que até as partículas de poeira mais finas se tornem centros de condensação, podemos descartar a ideia de que as chuvas que causaram tantos problemas por seu aparecimento de tempos em tempos com altos graus de expansão [p. 15] eram devidas à ação imperfeita do filtro. Se não fossem devidas à presença de poeira, então somos jogados de volta à conclusão de que devem ter sido casos de condensação sem núcleos. Em uma comunicação anterior,¹⁷ foi feita referência a casos desse tipo, nos quais outras substâncias além da água são mostradas condensando sem núcleos, e experimentos também são descritos nos quais o vapor de água pareceu condensar sem núcleos quando a supersaturação era suficientemente grande.

Se essas condensações problemáticas, que ocorreram quando altas expansões foram usadas, fossem realmente casos de condensação sem núcleos, então parecia haver uma maneira de preveni-las. Sabemos que a água pode ser resfriada muito abaixo do ponto de congelamento e ainda assim não se tornará gelo, se nenhum núcleo estiver presente; também que a água pode ser aquecida muito acima do ponto de ebulição sem passar para vapor, se nenhuma superfície livre estiver presente. Também sabemos que qualquer choque violento perturbará o equilíbrio instável e determinará a formação de gelo em um caso e de vapor no outro. Agora, é evidente que nesses dois casos é mais a violência do movimento do que o movimento em si que determina a mudança. Em ambos os casos deve ter havido movimento na água devido a correntes de convecção enquanto ela estava esfriando ou aquecendo, mas esses movimentos lentos não foram suficientes para causar uma quebra na condição molecular tensa.¹⁸ A partir disso, parecia altamente provável que, se verificássemos todos os movimentos violentos do ar no receptor, seria possível levar a supersaturação a um alto grau sem que ocorresse condensação espontânea; e, por outro lado, poderíamos, por meio de movimentos violentos e choques, fazer com que a condensação ocorresse no ar supersaturado, embora ele estivesse livre de núcleos.

Agindo com base nessa ideia, uma série de testes foram feitos com ar que havia passado por um filtro *longo* e saturado. Ao extrair o pistão da bomba com um curso lento e constante,

16 Isso será melhorado na câmara de nuvens, ao eliminar a entrada de ar externo.

17 Observação do autor: Trans. Roy. Soc. Edin., v. xxx. part 1.

18 Nessa época só ia até a nível molecular, nada de subatômico. A existência de moléculas foi sugerida no início do século XIX, a partir das leis de Dalton e de Avogadro.

nenhuma condensação ocorreu; enquanto um curso rápido geralmente provocava uma chuva, e se o pistão fosse feito para atingir a tampa do cilindro com um golpe forte, o choque invariavelmente provocava uma chuva densa. Esses resultados apontam claramente para a conclusão que a condensação nos experimentos ocorreu sem núcleos, pois cursos rápidos e lentos não têm influência na condensação quando há poeira presente. Pode-se mencionar que a expansão sempre foi feita rápida o suficiente para evitar que o ar no receptor absorvesse tanto calor a ponto de interferir praticamente no efeito de resfriamento da expansão.

Aqui estava então a chave para uma de nossas dificuldades, respondendo pela causa da variação no número de partículas contadas nos testes sucessivos do mesmo ar. Muitas das gotas contadas não tinham núcleo de poeira, como seria inconveniente regular o curso da bomba enquanto se atendia a outros assuntos, era necessário organizar o aparelho de modo a verificar automaticamente falhas desse tipo. Entendemos que esse fim pode ser alcançado fazendo com que o ar em sua passagem do receptor para a bomba passe por uma pequena abertura, ou, o que talvez seja melhor, por um pequeno filtro de algodão. Esse filtro é denso o suficiente para verificar a corrente de ar e também [p.16] verifica qualquer choque sendo comunicado da bomba para o ar no receptor. Na Figura 1 nota-se que há uma ampliação **P** no topo do tubo de saída **C**. O interior de **P** é preenchido com algodão, e uma capa é colocada sobre ele para manter longe as chuvas finas. Esse arranjo pareceu funcionar perfeitamente, e removeu de maneira simples uma das nossas principais dificuldades, mantendo o ar livre de condensação espontânea com expansões ainda maiores do que as resultantes de um curso da bomba.

Pode-se perguntar: por que o uso de tais altos graus de expansão persistiu, quando foi acompanhado por tantas dificuldades? Uma razão foi a própria existência dessas dificuldades. Elas tiveram que ser explicadas satisfatoriamente antes que pudesse ser depositada qualquer confiança no método de trabalho. Se tivéssemos confinado nossa atenção a expansões mais baixas, não poderíamos, por exemplo, ter certeza de que as partículas mais finas foram lançadas para baixo e todo o pó contado. Mas outra razão foi que o alto grau de expansão torna as gotas muito maiores; elas, portanto, se acomodam mais rapidamente e são contadas mais facilmente.

[Aitken apresenta resultados numéricos das partículas contadas nos diferentes estágios de saturação]

[p. 18] Os experimentos feitos no ar da nossa atmosfera são muito poucos ainda para nos permitir tirar conclusões deles. Mas, até onde chegam, eles indicam que há mais poeira no ar durante o tempo seco, e talvez durante condições anticiclônicas,¹⁹ e menos durante o tempo chuvoso, e talvez em áreas ciclônicas. O primeiro número inserido na tabela para o ar externo foi obtido em 25 de janeiro, após uma noite chuvosa e tempestuosa. O número seguinte é uma média para dias secos, enquanto tínhamos tempo anticiclônico. Espera-se que, por meio de experimentos mais extensos e com o uso do aparelho aprimorado agora em construção, alguns resultados meteorológicos interessantes possam ser obtidos.

19 Referentes às condições atmosféricas em que não há possibilidade de formação de ciclones.

[Aitken analisa os dados da tabela]

[p. 19] Ainda não entrei com o devido cuidado na consideração do valor exato dos dados na tabela. Enquanto o método descrito de contagem de partículas fornece uma estimativa muito justa do número no ar quando chega ao receptor de teste, e os números inseridos na tabela são os números calculados a partir das partículas contadas ali, nenhuma previsão foi feita para a poeira que pode ter se depositado no gasômetro e nos tubos de conexão. A probabilidade, portanto, é que os dados sejam mais abaixo do que acima das estimativas das partículas no ar testadas. Como mostra a tendência que a poeira tem de se depositar no aparelho, pode-se mencionar que cerca de metade das partículas de poeira se depositaram no ar, se for permitido permanecer no gasômetro por uma hora. No desenvolvimento do aparelho para essa investigação, esse é um dos pontos aos quais foi dada atenção especial, e um método foi concebido pelo qual um tempo muito curto será dado para a sedimentação antes que as partículas sejam contadas.

É possível que a poeira possa assentar mais lentamente se o recipiente que a contém estiver seco, e for usado mercúrio em vez de água para deslocá-la. Isso, no entanto, como muitos outros pontos, permanece em aberto. Pode ser bom notar aqui que a poeira se assenta no ar não apenas por conta de seu peso, que faz com ela caia; mas também pode ser assentada pela diferença de temperatura nas diferentes partes do recipiente. Onde quer que o ar encontre uma superfície mais fria do que ele, deixa alguma poeira sua sobre essa superfície, por uma razão que foi explicada em uma comunicação anterior.

A maioria de nós estava preparada para descobrir que sempre que as partículas de poeira em nossa atmosfera fossem contadas, o número seria muito alto; mas imagino que os dados apresentados aqui sejam tão poucos quanto se espera, e eles aumentam nossa admiração pela seleção de poeira feita pelos escritores do Antigo Testamento de um tipo do infinitamente pequeno e do inumerável.

Considerações finais

O presente trabalho de Aitken apresenta vários elementos a serem destacados. Do ponto de vista da meteorologia, representou uma nova forma de se determinar os efeitos no clima da presença de partículas no ar, principalmente no caso da diferença entre um nevoeiro comum e o *fog*, intensificado pela fumaça expelida na industrialização do Reino Unido. Do ponto de vista das práticas científicas, evidencia o papel dos procedimentos experimentais e da análise de falhas, seja nas hipóteses ou nos equipamentos utilizados. A exposição que Aitken faz de si mesmo, de seus problemas, desafios, das previsíveis falhas, e das hipóteses que está considerando para os seus resultados difere muito dos trabalhos experimentais que encontramos durante o mesmo período. Os trabalhos de Joule, por exemplo, omitem vários detalhes, como a necessidade de rever procedimentos e instrumentos (Martins; Silva, 2021). Outro diferencial é sua habilidade na construção da plataforma, apresentando tanto as possibilidades que funcionaram quanto as que não funcionaram. Em geral, nos relatos dos experimentalistas não é possível determinar o responsável pela parte instrumental, tampouco os desafios para a obtenção do melhor equipamento, focando-se apenas nos produtos finais (Sibum, 2003). Talvez por sua experiência anterior, também é de se observar os detalhes com que descreve o processo de funcionamento do equipamento, e os detalhes na construção da plataforma. Fica claro que ele possui habilidades

tácitas no manuseio e construção de objetos, o que antes era de responsabilidade de artesãos, e não dos filósofos naturais, e vai se modificando no século XIX (Brenni, 2013).

Em termos de contribuições para a ciência, Aitken publicou vários trabalhos sobre os fenômenos da condensação do vapor d'água e da formação de nuvens na atmosfera, demonstrando que o ar saturado livre de poeira não produzia núcleos de condensação, e assim, não era possível ocorrer formação nuvens. Essas pesquisas eram completamente novas na época e logo chamaram atenção de outros estudiosos, sendo um deles Charles Wilson, que relatou em seus trabalhos a importância do contador de poeira de Aitken para desenvolvimento de seus trabalhos (Wilson, 1895). Wilson se referia ao aprimoramento do aparelho de expansão existente no contador de Aitken, que mais tarde foi capaz de registrar traços nítidos de partículas subatômicas. Conhecido como câmara de Wilson, é considerado um instrumento fundamental para a compreensão da fenomenologia das partículas subatômicas desde o fim de século XIX.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de mestrado do primeiro autor. Este trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo n. 404373/2021-6.

Referências bibliográficas

- ANDERSON, K. *Predicting the weather: Victorians and the science of meteorology*. Chicago: University of Chicago Press, 2005.
- AITKEN, J. On dust, fogs, and clouds. *Nature*, v. 23, n. 583, p. 195-197, 1880.
- AITKEN, J. On dust, fogs, and clouds. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, v. 30, n. 1, p. 337-368, 1881a. Disponível em: doi:10.1017/S0080456800029069. Acesso em: 8 out. 2024.
- AITKEN, J. Dust and fogs. *Nature*, v. 23, n. 588, p. 311-312, 1881b. Disponível em: doi.org/10.1038/023311a0. Acesso em: 30 set. 2024.
- AITKEN, J. Dust, fogs, and clouds. *Nature*, v. 23, n. 591, p. 384-385, 1881c.
- AITKEN, J. On dust, fogs, and clouds. *Van Nostrand's Engineering Magazine*, v. 24, n. 148, p. 308-310, 1881d.
- AITKEN, J. On the formation of small clear spaces in dusty air. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, v. 32, n. 2, p. 239-272, 1884.
- AITKEN, J. On the number of dust particles in the atmosphere. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, v. 35, n. 1, p. 1-19, 1889. [Publicado on-line pela Cambridge University Press, 6 jul. 2012]. Disponível em: doi:10.1017/S0080456800017592. Acesso em: 8 out. 2024.
- AITKEN, J. On a method of observing and counting the number of water particles in a fog. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, v. 18, p. 259-262, 1892. Disponível em: doi:10.1017/S0370164600007422. Acesso em: 30 set. 2024.

- BRENNI, P. From workshop to factory: the evolution of the instrument-making industry, 1850-1930. In: BUCHWALD, J.Z.; FOX, R. (eds.). *The Oxford handbook of the history of physics*. Oxford: University Press, 2013. p. 584-650.
- CORTON, C.L. *London fog: the biography*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2015.
- GOLINSKI, J. *British weather and the climate of enlightenment*. Chicago: University of Chicago Press, 2019.
- GUASP, D. *Falkirk in the Later Nineteenth Century: churchgoing, work and status in an industrial town*. PhD Thesis – School of History and Politics, University of Stirling, Stirling, 2012.
- HAMILTON, H. The founding of Carron Ironworks. *The Scottish Historical Review*, v. 25, n. 99, p. 185-193, 1928.
- HUNEMAN, P. Natural sciences. In: WOOD, A.W.; HAHN, S.S. (eds.). *The Cambridge history of philosophy in the nineteenth century (1790-1870)*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. p. 201-238.
- JANKOVIĆ, V. *Reading the skies: a cultural history of English weather, 1650-1820*. Manchester: Manchester University Press, 2000.
- KNOTT, C.G. Dr. John Aitken, FRS. *Nature*, v. 104, n. 2613, p. 337-338, 1919.
- KNOTT, C.G. John Aitken, LL. D., FRS. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, v. 41, p. 177-181, 1922.
- LEONE, M.; ROBOTTI, N. A note on the Wilson cloud chamber (1912). *European Journal of Physics*, v. 25, n. 6, p. 781, 2004.
- MARTINS, R.A.; SILVA, A.P.B. Joule's experiments on the heat evolved by metallic conductors of electricity. *Foundations of Science*, v. 26, p. 625-701, 2021.
- SIBUM, H.O. Narrating by numbers: keeping an account of early 19th century laboratory experiences. In: HOLMES, F.L.; RENN, J.; RHEINBERGER, H.-J. (eds.). *Reworking the bench: research notebooks in the history of science*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2003. p. 141-158.
- SPURNY, K.R. Methods of aerosol measurement before the 1960s. *Aerosol Science and Technology*, v. 29, n. 4, p. 329-349, 1998.
- TEAGUE, K.A.; GALLICCHIO, N. *The evolution of meteorology: a look into the past, present, and future of weather forecasting*. 2017. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2017.
- WILSON, C.T.R. On the formation of a cloud in the absence of dust. *Proceedings of Cambridge Philosophical Society*, v. 8, p. 306, 1895.

Recebido em 10/10/24

Aceito em 18/02/25