

SOBRE O USO DA *WEB OF SCIENCE* COMO FONTE PARA A HISTÓRIA DA CIÊNCIA

FÁBIO HENRIQUE DE ALENCAR FREITAS
OLIVAL FREIRE Jr.
Instituto de Física – UFBA

RESUMO: Neste artigo analisamos o uso de citações na história da ciência tendo como fonte a base de dados Web of Science, do ISI. Examinamos três possibilidades de utilização dessa fonte a partir dos artigos relevantes para a história da controvérsia sobre os fundamentos da física quântica. As duas primeiras possibilidades de utilização do ISI podem ser consideradas auxiliares, porque evidenciam aspectos quantitativos que dependem de uma análise qualitativa prévia para a sua aplicação. A terceira possibilidade de utilização também depende de análises qualitativas, mas parece ser um recurso mais fundamental que os anteriores, pois permite encontrar evidências que, de outro modo, seriam praticamente impossíveis de serem resgatadas. O uso de métodos quantitativos em análise de citações é contrastado com opiniões favoráveis e contrárias encontradas na literatura sobre o tema.

Palavras-chave: *cienciometria; Web of Science; controvérsia sobre fundamentos da teoria quântica.*

ABSTRACT: In this paper we analyze the use of citations analysis in history of science, exploring ISI's data basis named Web of Science. We have developed three possibilities of using such source taking into account some relevant papers in the history of the controversy on the foundations of quantum physics. The first uses could be considered just auxiliary in so far as they evidence quantitative measures which depend on previous qualitative analysis to succeed. The third one seems to be more instrumental than the formers because it provides evidences that one could not get by other ways. Besides, we discuss some views concerning quantitative methods in history of science available in the literature.

Keywords: *sciencometry; Web of Science; controversy on foundations of quantum theory.*

Introdução

A citação de um autor em um artigo científico é uma fonte riquíssima de informação para a história da ciência, em especial, das ciências que possuem como principal veículo de informação a publicação de artigo. A análise dessas citações e da dinâmica de como um artigo é citado pode proporcionar uma nova fonte de investigação para o historiador. Diversos autores já compreenderam a sua importância e utilizam esse tipo de análise sistematicamente, visto que o uso de citações em história da ciência não é um fenômeno recente. Análise de citações tem ocupado um papel relevante não só na história da ciência, mas também em áreas como políticas de gestão de ciência e tecnologia, sociologia da ciência, em especial, na análise de relações sociais na ciência e em um campo de estudo, a *cienciometria*, criado a partir da disponibilidade de bases de dados sobre publicações científicas. Esse uso não é, contudo, isento de problemas, como uma análise da literatura sobre o tema pode evidenciar. As reflexões críticas sobre o uso da análise de citações parecem ser, no entanto, mais escassas na história da ciência que nos outros campos anteriormente apontados.

Neste artigo faremos uma análise da metodologia de uso de citações na história da ciência produzida a partir da segunda metade do século XX, utilizando como fonte para o resgate das citações de artigos a base de dados *Web of Science*, do *Institute for Scientific Information (ISI)*. Essa base de dados informatizada, que permite o acesso via internet, disponibiliza aos assinantes as citações de todos os artigos publicados em revistas indexadas pelo *ISI*, com data a partir de 1945, sendo atualizada semanalmente. O fato de essa base estar hoje informatizada e disponível *on-line* não tem menos significado para o historiador da ciência, uma vez que o uso do computador na produção historiográfica tem estado no centro das discussões sobre os instrumentos metodológicos à disposição do historiador. Luciano Figueiredo¹ afirma que o tema deve ser reportado a dois níveis de discussão. O primeiro, diz respeito à instrumentalização permitida pelo computador e o segundo nível se refere à metodologia, “significando o uso de programas específicos no tratamento dos dados de pesquisa”. O nosso estudo está relacionado com o denominado primeiro nível, no qual a disponibilidade *on-line* de certa base de dados dispensaria considerações favoráveis, como também ao segundo nível considerado pelo autor. Nesta análise, entretanto, examinaremos três possibilidades ou métodos diferentes de se trabalhar com essa base de dados, abordando suas especificidades e aplicações na história da ciência.

O primeiro método é o resgate do número de citações que um determinado artigo recebeu, a cada ano, desde a sua publicação. Esse tipo de dado quantitativo nos permite inferir o impacto de um artigo e a variação do interesse pelo mesmo a cada ano, servindo como um recurso auxiliar para a história, pois uma análise qualitativa prévia é necessária para o uso desse método. O segundo método é a avaliação da influência que um artigo teve sobre um segundo artigo, examinando-se as citações conjuntas, ou seja, o número de artigos que citaram os dois. Analogamente ao primeiro método, esse é um recurso auxiliar. O terceiro e último método a ser analisado é o mapeamento quantitativo e qualitativo da repercussão de um artigo. Para isso, coletamos não somente o número de vezes que o artigo foi citado, mas também os títulos dos artigos, os autores e as revistas nas quais apareceram as citações, o que nos permite inferir quais comunidades e campos da ciência tiveram interesse no artigo em questão. Esse tipo de análise parece instrumentalizar melhor o pesquisador que os usos anteriores, pois se pode partir somente do artigo e da base de dados para a análise das evidências que, de outro modo, seriam praticamente impossíveis de serem resgatadas.

O trabalho objetiva apresentar os métodos para o uso da *Web of Science* na história, avaliar seus resultados e a viabilidade do uso de cada um deles na história da ciência, confrontando tais resultados, sempre que possível, com dados qualitativos disponíveis na literatura histórica. O texto está dividido em três partes. Na primeira comentamos a literatura sobre o uso de métodos quantitativos relacionados à análise de citações. Na segunda fazemos uma breve apresentação da base de dados *Web of Science*, bem como as críticas existentes a essa base. E na terceira parte analisamos o uso da *Web* na história da ciência, apresentando os três métodos desenvolvidos, discutindo os resultados obtidos e comparando-os com a literatura disponível. Concluímos ressaltando a utilidade dessa base de dados como fonte para o estudo da história da ciência moderna, mas também apontando as limitações inerentes ao seu uso.

Sobre os usos da cientometria

A cientometria surge na década de 1960, beneficiando-se das bases de dados então criadas e das facilidades da computação que começavam a ser disponibilizadas. Em fins do século XX, uma disciplina própria, dispondo, desde 1979, da revista *Scientometrics*, ou pelo menos um subcampo do que tem se denominado de ciência da informação². Nesse último âmbito, a cientometria aparece como parte de um campo mais vasto, o da bibliometria. Nas palavras de Spinak³, temos que a bibliometria compreende a

- Aplicación de análisis estadísticos para estudiar las características del uso y creación de documentos;
- Estudio cuantitativo de la producción de documentos como se refleja en las bibliografías;
- Aplicación de métodos matemáticos y estadísticos al estudio del uso que se hace de los libros y otros soportes dentro e entre los sistemas de bibliotecas;
- Estudio cuantitativo de las unidades físicas públicas, o de las unidades bibliográficas, o de sus sustitutos,

enquanto a cienciometria aplica as técnicas bibliométricas às ciências. Na verdade, existe, como afirma Wormell⁴, um caos terminológico na área tornando difícil definir bem os nomes dos campos que trabalham com citações. A aplicação dessas técnicas de análise possui vários objetivos, tais como identificar tendências de crescimento no âmbito da ciência, analisar o desenvolvimento e o impacto da literatura científica de um determinado país na ciência mundial, ou examinar diferenças regionais na produção científica de um país. Mas, para aplicar essas técnicas, é preciso utilizar uma base de dados adequada ao objeto de avaliação e é nesse contexto que passamos a analisar a *Web of Science*, base de dados do *Institute for Scientific Information*.

Fundada em 1958, por Eugene Garfield, essa empresa montou uma base de dados de citação, a *Web of Science*, que permite aos assinantes do serviço recuperar dados *on-line*, através da internet. No Brasil, esse serviço é disponibilizado através de um convênio da FAPESP com a CAPES. Com essa base, podemos identificar quais artigos foram citados em um determinado artigo e em quais outros artigos este foi citado, o que permite analisar o impacto de um artigo, bem como diversas outras propriedades que analisaremos posteriormente. Na verdade, uma qualidade inerente à cienciometria é a possibilidade de se utilizar critérios quantitativos, considerados por muitos como objetivos, no desenvolvimento de políticas públicas em relação à ciência. No Brasil, o CNPq e a CAPES, por exemplo, analisam a produção de grupos de pesquisa, de cientistas e de cursos de pós-graduação como critério de avaliação destes. Apesar de ser esse tipo de uso bastante controverso, foge ao objeto deste artigo examiná-lo de forma detalhada, porém faremos algumas considerações sobre a análise de citações, especialmente quanto ao seu uso em história da ciência.

Da farta literatura sobre o uso de métodos quantitativos e sobre a análise de citações científicas, dois textos nos parecem sintetizar pontos de vista críticos que se tornaram correntes entre os historiadores⁵. O primeiro deles foi publicado por David Edge, em 1979, e o segundo por Helge Kragh, quase dez anos depois. O artigo de Edge resulta de uma elaboração mais sistemática de sua participação no simpósio internacional "Quantitative Measures in the History of Science", realizado em 1976, na Universidade da Califórnia, em Berkeley⁶, e teve o suporte de sua experiência pessoal com o uso de medidas quantitativas de citações, adquirida no estudo da radioastronomia britânica. O mérito do artigo de Edge é trazer à tona certas premissas sobre a natureza da ciência que estão apenas implícitas em muitos dos trabalhos dos advogados do uso sistemático dos métodos quantitativos. A premissa mais importante é que tais métodos poderiam fornecer medidas "objetivas e quantitativas" sobre as influências que um cientista recebe de outros cientistas e as relações sociais que estes estabelecem entre si na produção da ciência. O texto de Edge foi escrito em um momento em que a sociologia da ciência renovava suas perspectivas, um processo no qual o próprio Edge foi um destacado protagonista⁷. As críticas aportadas pela sociologia da ciência a essa pretensão de narrativas do empreendimento científico que sejam estritamente "objetivas e quantitativas", fazem parte hoje da tradição incorporada à história e à sociologia da ciência e, por isso, não é o caso de retomá-las nesse texto. Cabe afirmar, entretanto, que Edge distinguiu o que chamou de "programa forte da análise de citações", o qual ele rejeitou devido àquelas premissas problemáticas, de um possível "programa fraco da análise de citações", que ele estava disposto a aceitar como uma ferramenta auxiliar ao trabalho do historiador. Contudo, mesmo a respeito desse "programa fraco", Edge confessava que ele "ainda precisava ser convencido do potencial

'heurístico' dos métodos quantitativos"⁸. Essa última observação é importante para o nosso trabalho porque, mesmo concordando em geral com as considerações de Edge, acreditamos que trazemos uma modesta contribuição exatamente a propósito desse valor heurístico do qual Edge ainda não estava convencido.

A outra fonte importante de críticas ao método é Helge Kragh, que no seu livro *Introduction to Historiography of Science* dedica um capítulo à chamada "Historiografia Cienciométrica"⁹. Kragh retoma as críticas de Edge ao se perguntar qual a confiança, no sentido sociológico, da citação como instrumento de medida de impacto ou valor de um artigo para uma comunidade científica. Ele afirma que uma resposta positiva ao questionamento indica que os trabalhos científicos publicados seguem as normas, em geral aceitas, de se citar todos e somente os artigos dos quais foram obtidas informações utilizadas na redação do novo artigo. E, como ele mesmo afirma, "Essa pressuposição é problemática"¹⁰

O primeiro exemplo da "falta de ética" na ciência e no processo de citações ao qual Kragh se refere é o problema das citações para maquiar o artigo. O autor cita um artigo de um outro autor, que não tenha necessariamente relação com o artigo que está sendo redigido, com o objetivo de proporcionar uma maior visibilidade ao seu artigo para fazer parecer que este está fundado em bases mais sólidas do que realmente está. Podemos acrescentar que esse tipo de citação também serve para dar um destaque maior ao trabalho na base de dados *Web of Science*, pois citando um artigo importante suas chances de aparecer em uma busca aumentam consideravelmente.

Outro fenômeno que dificulta a análise comparativa de artigos é o fato de que um artigo-chave vai deixando de ser citado por se tornar, de certo modo, conhecimento comum em uma comunidade, não sendo considerado mais necessário fazer referências a este. Assim, deve-se tomar cuidado ao se comparar o desempenho de artigos publicados em diferentes períodos. O fato de artigos de metodologia serem mais citados que artigos de resultados também serve para reforçar o cuidado na comparação do fator de impacto de diferentes artigos.

Conflitos de interesses também podem afetar o modo como os cientistas citam as obras. Por exemplo, é comum um cientista deixar de fora, propositalmente, a referência a um artigo de um outro cientista rival ainda que eticamente seja necessária a citação. Outro motivo que pode levar um autor a evitar a citação de um dado artigo é a disputa entre nações, especialmente em situações de tensão e conflito. Durante a Primeira Guerra e nos primeiros anos posteriores, cientistas militantes, franceses e britânicos recomendavam ignorar contribuições oriundas da ciência alemã¹¹. Em situações de diferenças ideológicas extremas, fatos semelhantes podem ocorrer. E um último motivo para não se citar uma obra está no propósito de plagiar o trabalho de um cientista. Kragh explica que, no campo de física de altas energias, cerca de 50 % dos cientistas, em algum momento, acreditam que seus trabalhos não foram citados quando deveriam ter sido.

Outra característica do método é a sua incapacidade de distinguir citações positivas de negativas, isto é, as citações de um artigo cujas recomendações foram seguidas ou que foi alvo de elogios têm o mesmo valor que uma citação de um artigo usado como exemplo do ridículo¹².

Em contextos não diretamente relacionados à história da ciência, outros problemas aparecem quando tentamos encontrar um critério objetivo para a análise da ciência, em especial, quando esse critério diz respeito a publicações científicas. Um primeiro e imediato problema que se apresenta está no fato de não ser possível comparar a produtividade em ciências diferentes, ou mesmo em subcampos de uma mesma ciência, através de número de publicações/citações. Campos diferentes possuem dinâmicas de publicação bastante diferentes fazendo com que a dita produtividade em um campo possa tornar-se muito maior que em outro, ainda que o desenvolvimento do mesmo campo não acompanhe essa diferença. Fica mais sensível esse problema quando comparamos ciências naturais com ciências humanas e filosofia, onde a diferença do número de publicações em artigos e do papel destas no âmbito de cada uma dessas disciplinas difere significativamente. No Brasil, onde

se tende a supervalorizar a publicação em periódicos internacionais, surge um problema a mais a linguagem. O uso do inglês, ou de uma língua estrangeira, se torna uma barreira muito maior para as ciências humanas, ou a filosofia, que para as ciências naturais, ou as matemáticas, no momento de o autor expressar sua idéia, já que, no primeiro caso, maiores cuidados são requeridos para se atingir a precisão conceitual.¹³

Existem diversos outros problemas decorrentes das citações e de seus fenômenos. O mais importante talvez seja aquele descrito pelo sociólogo Robert K. Merton como efeito Mateus. Explorando a analogia com o Evangelho segundo Mateus, pelo qual a riqueza tenderia sempre a ir para os ricos, Merton sustenta que a distribuição de reconhecimento na ciência é um processo fortemente cumulativo. De modo simplificado, esse efeito pode ser descrito, conforme Merton, como o fato de que “[...] uma descoberta individual introduzida por um cientista de reputação estabelecida pode ter uma chance tão boa de adquirir alta visibilidade quanto uma descoberta múltipla diversamente introduzida por diversos cientistas, nenhum deles tendo atingido ainda uma reputação substancial”¹⁴. Traduzindo isso para a cienciometria, um artigo de um cientista renomado terá muito mais chances de ser lido e citado do que vários artigos de diversos cientistas desconhecidos, mesmo que todos estejam apresentando os mesmos resultados e, quem sabe, estes tenham sido publicados em periódicos de igual alcance.

Até agora vínhamos analisando os problemas da utilização do método para medidas acerca da ciência de centro, ou *mainstream* da ciência, que é aquela bem reconhecida e praticada nos grandes centros do mundo, possuindo como instrumento de disseminação de informações as principais revistas científicas do mundo, que são as revistas indexadas pela *Web of Science*. Porém, existem problemas quando tentamos analisar a ciência produzida na periferia. Grande parte do que é produzido nos países periféricos do mundo termina sendo veiculada em revistas não indexadas, assim uma história da ciência mundial somente baseada em análises bibliométricas da *Web of Science* terá como produto uma ciência que não envolve parte significativa do que é produzido nos países em desenvolvimento. Mais problemático ainda é se tentarmos analisar a ciência desses últimos países utilizando exclusivamente essa base. Teremos como resultado uma visão estereotipada da ciência, pois o *modus operandis* de funcionamento da ciência – nele incluídos suas instituições, seu modo de disseminação da informação, seu modo de recrutamento de novos cientistas, seu financiamento, bem como outros inúmeros fatores – difere em aspectos importantes de como a ciência é praticada nos países desenvolvidos. Assim, podemos concluir que a utilização dessa base de dados para a ciência dos países em desenvolvimento só nos permite extrair informações parciais e pontuais, não sendo um instrumento tão importante como o é na construção da ciência do *mainstream*. Na realidade, uma análise mais profunda do papel da ciência brasileira e dos países em desenvolvimento em geral, tomando-se como ponto de referência essa base de dados, e da história que assim seria construída é um problema bastante interessante, mas fora do foco do interesse do nosso artigo.¹⁵

O fato é que com maior cuidado, ou às vezes nem tanto, a história e a sociologia da ciência têm sistematicamente utilizado o método. Como ilustração disso, apresentaremos alguns autores que aplicaram tal método em suas pesquisas e comentaram sobre o mesmo. Como primeiro caso, retornemos a Helge Kragh. Apesar de bastante crítico em seu livro de 1987, ele termina o capítulo referente à historiografia cienciométrica afirmando que “Se a cienciometria for usada com cuidado e em combinação com outros métodos, ela pode desempenhar um importante papel, especialmente no estudo da ciência moderna”¹⁶. Em seu mais recente livro, *Quantum Generations*, ele abandona a atitude excessivamente crítica e utiliza muitos dados quantitativos em diversos capítulos, legitimando seu uso em história da física contemporânea.

O segundo exemplo é o sociólogo francês Pierre Bourdieu, que retoma muitas das críticas formuladas inicialmente por Edge. A citação que aqui transcrevemos é suficientemente esclarecedora em relação à sua posição:

Eu gostaria de finalizar com algumas observações sobre a cienciometria, a qual repousa sobre os mesmos fundamentos que o funcionalismo estrutural mertoniano e que se coloca como objetivo o controle e a avaliação da ciência para finalidades de *elaboração de políticas* (a tentação cienciométrica pesa sobre toda a história da sociologia da ciência, como ciência do coroamento capaz de atribuir atestados de ciência, e disso não escapam os mais radicalmente modernistas, e niilistas, dos novos sociólogos da ciência). A cienciometria se apóia em análises quantitativas, só levando em conta os produtos, compilações de indicadores científicos, como as citações. Realistas, os partidários da bibliometria acham que o mundo pode ser objeto de amostragem, de medição, de contagem, por “observadores objetivos” (Hargens, 1978, p. 121-139). Eles fornecem aos administradores da ciência os meios aparentemente racionais de governar a ciência e os cientistas, e de dar justificações de aparência científica a decisões burocráticas. Seria preciso, notadamente, examinar os limites de um método que se apóia sobre critérios estritamente quantitativos e que ignora as modalidades e as funções muito diversas da referência (podendo ir ao ponto de colocar entre parênteses a diferença entre as citações positivas e as citações negativas). *Contudo, malgrado esses usos duvidosos (e por vezes deploráveis) da bibliometria, esses métodos podem servir para construir indicadores úteis no plano sociológico, como eu o fiz em Homo Academicus para obter um índice de capital simbólico*¹⁷.

134

Bruno Latour e Steve Woolgar¹⁸, em *A Vida de Laboratório*, nosso terceiro exemplo, também utilizam dados quantitativos em sua análise sociológica e antropológica do laboratório do Instituto Salk. Em especial, no capítulo 5, os autores apresentam diversos gráficos com análises de artigos publicados pelos cientistas do laboratório, cujos dados foram obtidos utilizando o SCI, mesma base de dados utilizada nesse artigo. No capítulo 2, eles fazem uma extensiva análise do número de citações dos artigos publicados e desenvolvem certa medida de valor de cada campo pelo número de citações que cada um recebe em média. Em nota de rodapé, discutem rapidamente a questão do uso de citações, sem se estenderem muito na crítica ou defesa do uso de dados de citações¹⁹.

Como exemplos de autores que utilizam forma especialmente pouco cuidadosa os dados obtidos na WoS e no *Science Citation Index* citamos Derek de Solla Price e Leopoldo de Meis, o primeiro bem conhecido no cenário internacional da história da ciência, e o segundo, bioquímico, com influência circunscrita ao cenário nacional. Derek de Solla Price é, talvez, o mais famoso nome da cienciometria na história da ciência, tendo publicado uma série de conferências realizadas nos Estados Unidos, em 1962, as conferências Pegram, que foram publicadas no Brasil sob o nome de *O Desenvolvimento da Ciência*²⁰. Nesse livro, que mais parece um manual de numerologia acerca do futuro da ciência do que uma análise histórica e sociológica desta, Price consegue extrapolar todos os limites que tais métodos possuem e faz afirmações somente baseadas nas combinações de dados e em suposições sem muito fundamento. Ainda no prefácio, Price afirma que vai tratar a ciência como um gás e utilizar estratégias estatísticas semelhantes às da mecânica estatística. No prefácio especial à edição brasileira, ele afirma que “[...] a contagem bibliométrica de artigos científicos [...] fornece agora de imediato indicadores precisos e sem obstáculos para a contribuição que cada nação faz para o acervo mundial da pesquisa”²¹, vindo a se contradizer um pouco mais à frente ao dizer “[...] este indicador [*current contents*] aplica os mesmos padrões a todos os países, com exceção talvez dos Estados Unidos e do Reino Unido, que constituem seu mercado doméstico, de modo que a comparação com todos os outros países, com exceção desses dois, deveria ser válida”²². O que termina por invalidar o uso dos métodos quantitativos nesse livro de Price é a sua própria visão reducionista de ciência, como se a ciência pudesse ser completamente representada pela relação existente entre os artigos e o número de autores, os dados de produtividade, além de outros que, a depender da conveniência, Price extrai do universo de dados existente²³. Outro autor, Leopoldo de Meis bioquímico que tem se aventurado em searas como as da sociologia, da história e da política da ciência, parece ter seguido a escola de Price em suas análises, terminando por tirar conclusões e fazer extrapolações muito além do permitido pela base de dados. Seu pensamento em relação ao uso dessa base de dados pode ser analisado a partir de sua apresentação

da WoS no apêndice do seu *Ciência, Educação e o Conflito Humano-Tecnológico*²⁴. A título de exemplo, citamos o fato de que de Meis tenta fazer uma análise do número de publicações mundiais, e da fração do Brasil nesse total, utilizando a WoS, que, como vimos anteriormente, por privilegiar revistas de língua inglesa e origem anglo-saxônica, não nos permite realizar uma avaliação cujos resultados sejam fidedignos. Mesmo de Meis, contudo, parece ter alguma consciência desse problema, pois, no anexo de seu livro, ele afirma que cerca de 70% das revistas latino-americanas e dois terços das publicações brasileiras não estão indexadas nessa base de dados, o que constitui uma contradição ao seu argumento. Com intuito de tentar remediar tal contradição, ele tenta desqualificar os periódicos não indexados afirmando que “os trabalhos de muitas revistas não indexadas não são devidamente avaliados por editores antes de serem publicados e nem sempre descrevem achados novos bem documentados”²⁵. Ainda que possamos aceitar a crítica do cientista de Meis, isso não elimina o fato de que parcela substancial da ciência brasileira e latino-americana não está contemplada na indexação do ISI. Com uma exaltação de sua aplicação e críticas bastante leves, fica claro que esse autor considera seu uso como fundamental em análises da ciência, mas em um sentido bastante distante daquele presente neste artigo.

A Web of Science

O *Institute for Scientific Information*, empresa que produziu a *Web of Science* (WoS), como já visto, foi fundado, em 1958, por Eugene Garfield, que em 1949 recebeu sua graduação em Química e já em 1951 começou a trabalhar com as ciências da informação. Junto a *Johns Hopkins University*, Garfield estudou as maneiras de como compilar dados nas ciências médicas e os métodos de indexação. Em 1954, ele obteve o grau de mestre em Biblioteconomia e, nesse mesmo ano, fundaria sua companhia, que teve como primeiro cliente, assinando seus indexadores, os laboratórios Bell. Em 1964, ele começou a publicar o *Science Citation Index*, principal produto de tantos anos de trabalho, que teve um papel fundamental no desenvolvimento do campo da cienciometria²⁶. Desde então, Garfield, juntamente com o ISI, continuou desenvolvendo diversos indexadores e realizando compilações de informações científicas e técnicas.

Essa base de dados, uma das muitas ferramentas que o ISI vende, nos permite resgatar diversos dados e relações entre artigos e periódicos científicos indexados, bem como outras informações. Podemos, por exemplo, investigar e detectar o desempenho de um determinado pesquisador em um campo ou mesmo de um país inteiro. No nosso estudo, analisamos as potencialidades de se trabalhar com citações, e para isso a WoS disponibiliza instrumento de busca por título, nome dos autores, endereço, fontes bibliográficas, palavras-chave e resumo dos artigos publicados nos periódicos indexados.

A WoS possui três grandes bases de dados: a *Science Citation Index*, cujo tema são as ciências “duras” e que indexa cerca de 5.600 periódicos; a *Social Citation Index*, com cerca de 1.700 títulos, e a *Arts & Humanities Citation Index*, que cobre mais de 1.140 periódicos²⁷. De acordo com Santos, a *Science Citation Index* é muito pouco contestada, sendo tomada como bastante representativa e extensiva, a sua cobertura pela comunidade internacional²⁸, ao contrário da *Social Citation Index*, devido à natureza do campo que cobre. Mesmo a cobertura das ciências duras não parece ter amplitude internacional tão significativa, cobrindo com mais precisão a ciência em língua inglesa em detrimento da maior parte da ciência europeia e daquela de Terceiro Mundo, como mencionamos anteriormente²⁹.

O processo de seleção de periódicos para indexação é bastante complexo e inclui análises de diversas características do periódico a ser incluído. De acordo com Testa, perto de 2.000 jornais e revistas são examinados a cada ano, porém somente 10% a 12% destes conseguem ser selecionados³⁰. As principais características para inclusão na base de dados são: a frequência e pontualidade de publicação, sendo inaceitável uma revista que publique com atraso; o uso de normas editoriais

internacionais, endereço de cada um dos autores e informação bibliográfica completa de todas as referências; título, resumo e palavras-chave em inglês; a aplicação de revisão por pares, como forma de garantir a qualidade dos artigos publicados; o conteúdo editorial amplo e de interesse geral; diversidade internacional e a existência de demanda pelo tema.

Esse processo é alvo de muitas críticas, como resumido por Targino e Garcia³¹:

Entretanto, o que tem despertado a atenção cada vez maior dos pesquisadores e cientistas do Terceiro Mundo é a forma como tais critérios estão sendo aplicados. Oficialmente, o ISI coloca-se como democrático, ao analisar qualquer título que reivindique sua inclusão na base. Conforme a matéria *DIVULGAR ciência no Terceiro Mundo* (1995), novas publicações norte-americanas anunciam seu lançamento, nas revistas *Science* e *Nature*, já com indexação no SCI. Este fato contraria a proposição literal de Testa (1998, p. 234) de que "...geralmente, o editor precisa analisar pelo menos três exemplares [fascículos] diferentes" e reafirma Sabbatini (1999, p.15), para quem o ISI "...é extremamente elitista", o que encontra respaldo em fontes nacionais, como Castro (1986) e Targino (1998).

O período de cobertura da *WoS* varia de acordo com a base de dados utilizada. No nosso caso, trabalhamos com a *Science Citation Index*, que indexa títulos desde 1945 até o presente. Recentemente, foi anunciado que até 2005 será lançada a *Century of Science*, a versão ampliada da base de dados que passará a cobrir todo o século XX.

O uso da *Web of Science* na história da ciência

Como já foi referido, essa base de dados nos permite resgatar todos os artigos publicados em revistas indexadas, que citam uma determinada referência ou mais de uma. Sugerimos, então, três formas de se trabalhar em história da ciência com essa base de dados³², as quais serão, a seguir, apresentadas e analisadas tanto em suas potencialidades quanto em suas limitações³³.

Avaliando o impacto de cada artigo

O primeiro método é o resgate do número de citações que um determinado artigo recebeu a cada ano, desde sua publicação. Para tal, resgatamos todos os artigos acessíveis que citam a referência em questão, no caso, o artigo publicado pelo físico David Bohm, em 1952, intitulado "A Suggested Interpretation of Quantum Theory in Terms of 'Hidden Variables'". A nossa escolha por esse artigo decorreu de nosso interesse em um projeto de pesquisa que versa acerca da história da controvérsia sobre as interpretações e os fundamentos da teoria quântica. O referido artigo de Bohm representou a primeira alternativa consistente à interpretação então dominante entre os físicos, conhecida como interpretação da complementaridade ou de Copenhague, e está na origem do reavivamento daquela controvérsia na segunda metade do século XX³⁴.

Utilizando a ferramenta de busca de citações³⁵, coletamos todos os artigos que citaram tal trabalho, desde sua publicação até o final de 2002. Então, com o auxílio de planilha eletrônica, fizemos a contagem do número de artigos que o citam por ano e utilizamos os valores na elaboração de uma tabela e de um gráfico, que serviram para facilitar a nossa análise.

Com a Tabela 1 e o Gráfico 1 prontos, podemos então analisar o desenvolvimento do interesse no artigo chegando às conclusões que relataremos a seguir.

Notamos que o artigo despertou algum interesse nos primeiros anos de sua publicação (1952-54), seguindo um longo período de relativo esquecimento, voltando a despertar interesse em 1966, o qual cresceu progressivamente, atingindo um máximo em 1969.

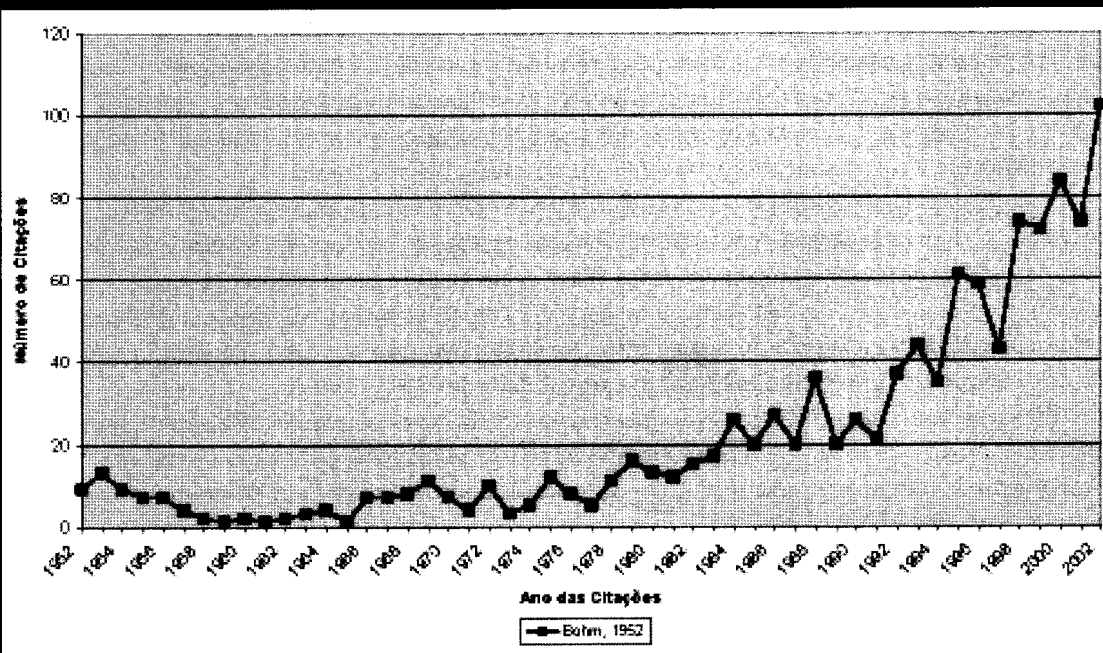
Somente essa informação retirada do Gráfico 1 já é de grande valia para o historiador da física do

TABELA 1 – NÚMERO DE CITAÇÕES DE BOHM, 1952-2003 ³⁶

ANO/CITAÇÃO

| | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------------|------|------------|------|-------------|------|------------|------|------------|-----|
| | 1961 | 1 | 1971 | 4 | 1981 | 12 | 1991 | 21 | 2001 | 74 | |
| 1952 | 9 | 1962 | 2 | 1972 | 10 | 1982 | 15 | 1992 | 37 | 2002 | 102 |
| 1953 | 13 | 1963 | 3 | 1973 | 3 | 1983 | 17 | 1993 | 44 | 2003 | 46 |
| 1954 | 9 | 1964 | 4 | 1974 | 5 | 1984 | 26 | 1994 | 35 | | |
| 1955 | 7 | 1965 | 1 | 1975 | 12 | 1985 | 20 | 1995 | 61 | | |
| 1956 | 7 | 1966 | 7 | 1976 | 8 | 1986 | 27 | 1996 | 59 | | |
| 1957 | 4 | 1967 | 7 | 1977 | 5 | 1987 | 20 | 1997 | 43 | | |
| 1958 | 2 | 1968 | 8 | 1978 | 11 | 1988 | 36 | 1998 | 74 | | |
| 1959 | 1 | 1969 | 11 | 1979 | 16 | 1989 | 20 | 1999 | 72 | | |
| 1960 | 2 | 1970 | 7 | 1980 | 13 | 1990 | 26 | 2000 | 84 | | |
| Total: 54 | | 51 | | 87 | | 219 | | 530 | | 222 | |
| Média:6 | | 5,1 | | 8,7 | | 21,9 | | 53 | | 74 | |

GRÁFICO 1 – DINÂMICA DE CITAÇÕES DE BOHM, 1952



século XX. Um problema relevante para o historiador da ciência contemporânea é compreender como se iniciou e se desenvolveu a controvérsia acerca dos fundamentos da teoria quântica, controvérsia esta à qual está bastante relacionado o artigo em questão.

O período, que começou em 1927, ficou conhecido como “Monocracia de Copenhague”³⁷. Durante esse período, novas interpretações não tinham espaço dentro do *mainstream* da física, sendo assim, um artigo que desafiava essa monocracia não poderia, de modo algum, despertar grande interesse. No início dos anos 50, esse cenário começou a mudar, existindo evidências de que essa mudança se concretizou finalmente no início dos anos 70³⁸.

Portanto, a dinâmica de citações que encontramos em nosso levantamento está de acordo com a literatura sobre o tema, mostrando um baixo interesse em artigos sobre fundamentos da teoria quântica até o final dos anos 60, quando tal panorama terminou mudando. Resta ainda a constatação de que, nos primeiros cinco anos desde sua aparição, o artigo obteve, de todo modo, um número não desprezível de citações. Esses dados confirmam a análise feita por um dos autores³⁹, sem o recurso à *Web of Science*, apenas rastreando as principais revistas de física da época. Essa análise contrastava com a de outros autores, como J. Cushing, que consideravam que o artigo de Bohm não havia sido lido à época⁴⁰. A análise quantitativa aqui reforça a análise qualitativa feita por outros métodos, mas também exibe uma de suas limitações. Conforme a análise qualitativa citada, o artigo foi lido, mas essencialmente criticado, salvo por um pequeno grupo em torno de Louis de Broglie, que o apoiou. Por sua vez, a própria continuidade do trabalho por Bohm, com a publicação de oito artigos no período citado, responde por parte daquelas primeiras citações, mas aqui se trata de autocitações. Evidentemente, este tipo de análise não pode ser realizado a partir do uso de métodos quantitativos.

A segunda conclusão à qual podemos chegar é que, a partir de 1969, o interesse começou a ser crescente, com picos em 1972, 1976, 1979, 1984, 1988, 1993, 1995 e 2000, sendo os de 1988, 1995 e 2000 os mais intensos.

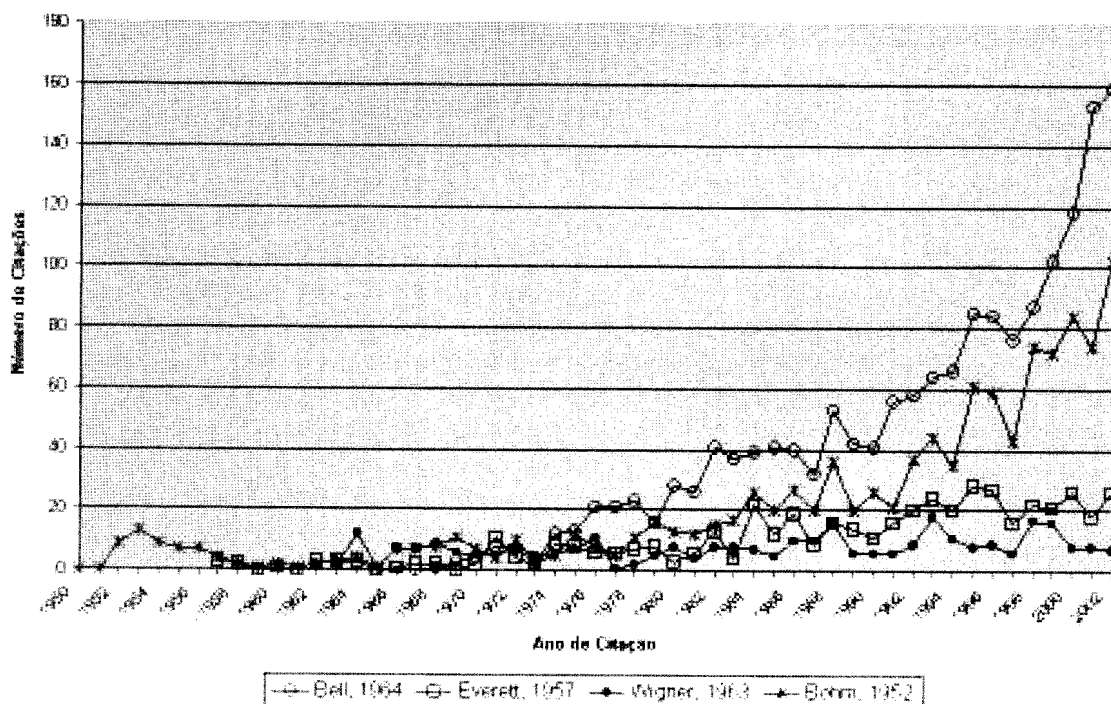
Nesse ponto, nos falta tanto um estudo qualitativo, que possa examinar detalhadamente a existência e os motivos desses picos no Gráfico 1, quanto um tratamento estatístico que nos permita inferir a significância de cada pico. Porém, mais importante para a nossa análise é notar a possibilidade de sugestão de problemas que o próprio gráfico potencializa. Entender, por exemplo, por que no ano de 1988 existiu um pico de interesse, situação que se repetiu em diversos outros levantamentos⁴¹, seria de grande utilidade para a história da física.

Em geral, essa forma de análise nos permite identificar picos de interesse, os quais tratados estatisticamente e confrontados com dados qualitativos, possibilitam a avaliação do impacto que eventos internos ou externos à ciência tiveram sobre o artigo ou campo⁴², como, por exemplo, um desenvolvimento técnico ou científico relevante, um congresso ou uma guerra.

Podemos ainda enfatizar que o interesse no artigo foi crescente, ao analisarmos as médias de citação por ano em cada década, tomando como base as décadas de 1960 a 1990. Na primeira delas, 1961-70, a média de citações por ano foi de 5,1. Na década seguinte, a média foi para 8,7, subindo 71% em relação à década de 1960. Detectou-se a média de 21,9 citações na década de 1980, um aumento de 152% em relação à década anterior. Na última década em estudo, a média foi de 53 citações, ou seja, um aumento de 142% em relação à década de 1980.

Para avaliarmos se esse impacto crescente está associado intrinsecamente a este artigo ou se é um mero efeito do crescimento geral no tempo do número de publicações científicas, precisamos de um elemento de comparação adicional. Uma comparação com um índice geral de crescimento de publicações em ciências traz o inconveniente de desconsiderar especificidades do campo em estudo, no caso o dos fundamentos da teoria quântica. Optamos por uma comparação com um conjunto de artigos que têm sido qualitativamente relevantes para esse campo. Esse resultado está expresso no Gráfico 2. A mera inspeção desse gráfico evidencia que nem todos os artigos relevantes têm tido igual impacto em termos de citações e que o impacto do artigo de David Bohm é especialmente expressivo.

GRÁFICO 2 - DINÂMICA DE CITAÇÕES DE BELL, 1964; BOHM, 1952; WIGNER, 1963; E EVERETT, 1957



Os dados do crescente impacto do artigo de David Bohm concordam muito bem com a literatura existente sobre o tema. Como visto, o tema Fundamentos da Física Quântica passou para o *mainstream* da física e sendo esse artigo um dos artigos fundamentais nesse campo, o interesse no artigo tende também a crescer significativamente. Outro motivo pelo qual era esperada essa forma de crescimento das citações desse artigo é o fato de novos desenvolvimentos no programa de pesquisa iniciado por Bohm em 1952, representados especialmente pela obtenção de gráficos com as trajetórias dos objetos quânticos, terem levado à adoção de uma terminologia própria – *Bohmian Mechanics* – para identificar a grande quantidade de trabalhos resultantes desse programa de pesquisa.

Como vimos nessas conclusões, tal análise nos permite identificar períodos de diferentes impactos na comunidade científica acreditando que quanto maior é o impacto que um artigo causa na comunidade, maior será o número de citações que o mesmo receberá. Isso parece cada vez mais correto no domínio das ciências naturais que, como já foi mencionado, é um universo papirocêntrico, cujo principal meio de disseminação da informação é o artigo publicado em revista especializada.

Vale ressaltar que é importante compreender os limites dessa análise. Ela nunca responderá por que ocorreu tal pico ou por que um artigo saiu do anonimato e passou a figurar como artigo-chave no mundo da ciência. Ou seja, *tal método não explica os porquês, mas isso não é motivo suficiente para não usá-lo. Entender as potencialidades, bem como as limitações, do método é o que garante um bom uso do mesmo.*

Citações conjuntas, influências mútuas

Neste segundo método, temos como principal objetivo identificar a influência mútua entre dois artigos que estejam de algum modo relacionados. A existência de um artigo intimamente relacionado com um outro é bastante comum na ciência, seja envolvendo uma disputa, seja servindo para redespertar interesse em um tema ou artigo já esquecido ou ainda pouco citado na literatura, como veremos a seguir.

Para a análise desse método, nós tomamos como estudo de caso a relação entre o artigo de John S. Bell, de 1964, intitulado "On the Einstein Podolsky Rosen Paradox" (*Physics*, n. 1, p. 195-200, 1964⁴³), e o de Clauser, Horn, Shimony e Holt, "Proposed Experiment to Test Local Hidden-Variable Theories" (*Physical Review Letters*, n. 23, p. 880-884, 1969), mais conhecido como CHSH, publicado em 1969. No seu artigo de 1964, são publicadas as famosas relações das desigualdades de Bell, problema que ajudou na constituição do campo da controvérsia acerca dos fundamentos da teoria quântica. Bell, ao analisar alguns experimentos de pensamento com base na teoria quântica, pôde derivar uma série de desigualdades entre as previsões da teoria quântica usual e de teorias de variáveis escondidas locais, conhecidas desde então como "Desigualdades de Bell". É importante salientar que, antes de Bell, qualquer tentativa de introdução de variáveis escondidas na teoria quântica seria considerada virtualmente impossível⁴⁴, pois havia uma demonstração do matemático húngaro John von Neumann que impedia o uso de variáveis adicionais na teoria quântica⁴⁵. Bell pôde demonstrar que o teorema de von Neumann não era totalmente verdadeiro abrindo assim o caminho tanto para se entender o trabalho de Bohm, porque se tratava de "variáveis escondidas não locais", quanto para um contraste de previsões empíricas entre a teoria quântica e teorias de "variáveis escondidas locais."

O CHSH propõe a realização de testes empíricos para as desigualdades de Bell argumentando que com detectores móveis de *spin* poderiam ser realizados experimentos que pudessem comprovar a teoria ortodoxa ou a existência de variáveis escondidas locais no mundo quântico. Clauser enfatiza ter sido esse o primeiro artigo a demonstrar a possibilidade de um teste empírico das desigualdades de Bell, e com isso um confronto experimental de teorias, e que somente após a publicação de seu artigo as desigualdades de Bell puderam despertar algum interesse⁴⁶.

Agora que fizemos um esboço bastante simplificado da história dos dois artigos, podemos tentar avaliar o impacto que um artigo teve sobre o outro. A *Web of Science* nos permite fazer esse tipo de análise com a ferramenta "citações conjuntas". O resultado que obtemos permite inferir sobre a dinâmica de dois artigos relacionados. Essa análise poderia identificar se, de fato, o CHSH atraiu o interesse para o artigo de Bell ou se não houve nenhuma relação causal desse tipo.

Construímos o gráfico que permite analisar conjuntamente as citações recebidas por Bell, CHSH e ambos, ou seja, a dinâmica do número de artigos que citam os dois artigos conjuntamente. O resultado está no Gráfico 3.

Notamos que as primeiras citações conjuntas ocorreram, em 1972, quando o artigo de Bell já havia recebido um total de 12 citações. Isso, de algum modo, mostra que a afirmação de Clauser de que o artigo de Bell só havia despertado interesse na comunidade científica após a publicação do CHSH é excessiva, mas não totalmente infundada. No referido ano, quase metade das citações recebidas por ambos os artigos foram citações conjuntas, fenômeno que continuou acontecendo até 1976 quando parece que o artigo de Bell tomou "vida própria" e deixou de estar atrelado ao artigo de Clauser. A partir de então, tudo indica que o crescimento do número de citações do CHSH esteve diretamente subordinado ao crescimento do interesse no artigo das desigualdades de Bell, fato que continua a ocorrer até hoje e é sugerido pela grande porcentagem de citações conjuntas nas citações do CHSH evidenciada no gráfico. A "vida própria" adquirida pelo artigo de Bell pode ser melhor visualizada no Gráfico 4. O próprio desempenho das citações de Bell demonstra que seu impacto na comunidade científica é imenso, tornando plausível a idéia de que o CHSH possa continuar a ser citado por estar relacionado ao artigo de Bell.

A relação entre ambos os artigos merece um estudo mais detalhado dada a sua importância na história da física contemporânea e por causa de seu atual impacto na ciência. Esses novos estudos devem servir para esclarecer melhor essa relação, em especial, no período inicial (1969-75). Nesse caso, o mais importante é notar que, embora não tenhamos encontrado respostas no Gráfico 4, este sugeriu um problema e delimitou bem um período de estudo da relação entre os dois artigos.

GRÁFICO 3 - DINÂMICA DE CITAÇÕES DE CHSH (1969), BELL (1964) E DE AMBOS

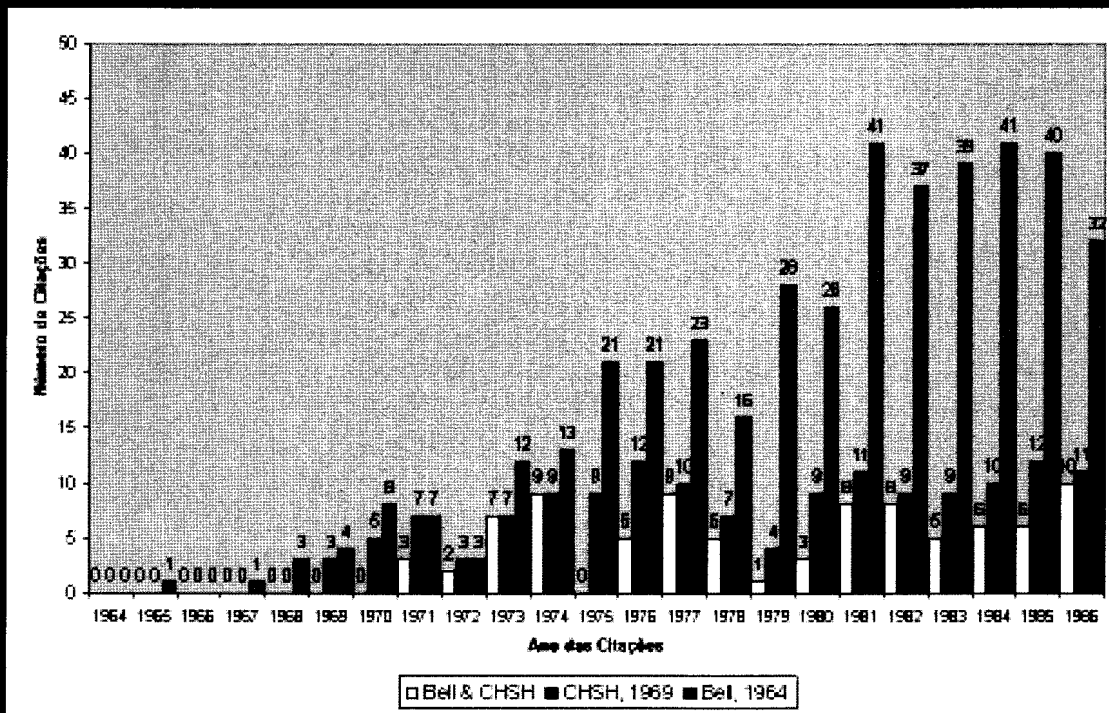
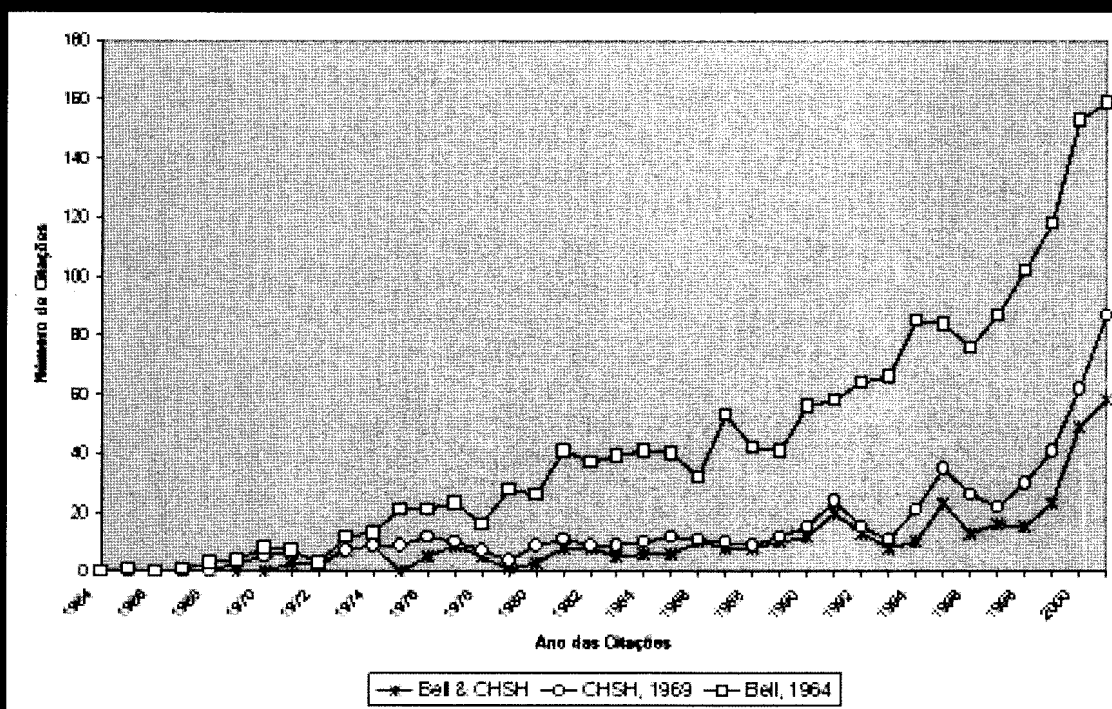


GRÁFICO 4 : DINÂMICA DE CITAÇÕES DE CHSH (1969), BELL (1964) E DE AMBOS



Através de outros métodos, tal delimitação seria extremamente complicada enquanto pela *Web of Science* isso pôde ser feito com relativa simplicidade.

Apurando o impacto de um artigo científico

O terceiro e último método a ser analisado é o mapeamento quantitativo e qualitativo de repercussão de um artigo. Para isso, coletamos não somente o número de vezes que o artigo foi citado, mas também o título do artigo, o autor e a revista em que apareceu a citação, permitindo-nos assim inferir quais comunidades e campos da ciência tiveram interesse no artigo em questão. A forma mais prática de se encontrar em quais campos um artigo teve impacto é utilizando uma base de dados como essa. Enquanto a utilização de gráficos com dinâmica de citações, como aqueles usados anteriormente (ver: gráficos 1, 2, 3 e 4), tende a ser mais ilustrativa, ainda que sugira novos problemas, a análise dos campos nos quais um artigo é citado nos traz evidências de *para qual campo serviu aquele artigo e qual o perfil das pessoas que o leram*.

Como estudo de caso, achamos bastante propício trabalhar com o caso de Hugh Everett III e sua interpretação da teoria quântica denominada interpretação dos estados relativos. Everett publicou um artigo contendo sua interpretação, em 1957, porém, como veremos no gráfico de sua dinâmica de citações, este não despertou grande interesse nos primeiros anos (ver: Gráfico 5). Hoje, porém, é um artigo com expressivo impacto e tendo recebido mais de 400 citações. O problema que temos a enfrentar – como já enfrentamos no caso do artigo de David Bohm – é compreender como se deu essa mudança. Numa olhada mais ingênua, poderíamos atribuir facilmente esse crescimento à intensificação da controvérsia acerca de fundamentos da teoria quântica na década de 1970, pois foi pouco antes desse período que o artigo começou a despertar um pouco mais de interesse.

Entretanto, essa resposta não é tão simples assim. A interpretação dos estados relativos parece ser bastante boa para a interpretação da função de onda do universo na cosmologia quântica, terreno no qual a interpretação ortodoxa se torna inadequada devido à sua dependência de um observador externo. Na interpretação dos estados relativos, torna-se dispensável um observador externo (e com isso esta também fornece uma possível solução para o problema da medição), não sendo preciso, assim, adicionar nada fora do meu universo para que a função de onda do mesmo possa fazer sentido. Bryce DeWitt, um dos maiores nomes na pesquisa em quantização da cosmologia, foi um dos que aderiram a essa interpretação. Em seu artigo de 1967, sobre a teoria quântica da gravitação⁴⁷, ele dedica uma seção inteira à discussão acerca de “[...] algumas especulações sobre a unicidade da função de estado do universo real. [Nessa seção], é sugerido que um ponto de vista atribuível a Everett deve ser adotado na sua interpretação”⁴⁸. Ainda no meio do artigo, antes de começar a discussão sobre a interpretação adequada, DeWitt afirma que “[...] é todavia claro que a teoria quântica do espaço tempo deve em última instância forçar um desvio da doutrina tradicional de Copenhague”⁴⁹. Por último, na seção “discussão e especulação” acrescenta que “a visão de mundo de Everett é uma [visão] bastante natural para se adotar na teoria quântica da gravidade, na qual se é acostumado a falar sem perplexidade da ‘função de onda do universo’. É possível que a visão de Everett não seja somente natural mas essencial”⁵⁰.

A literatura histórica já exibía uma explicação para o interesse despertado pelo artigo de Everett com o historiador da ciência Andrés Cassinello explicando esse interesse pelo resgate da teoria de Everett pela cosmologia. Para Cassinello, essa teoria nunca teve impacto no campo da teoria quântica. Em suas palavras, “Lo que importa aquí subrayar es que el destino de la interpretación de Everett irá siempre ligado al avance de la cosmología cuántica. Precisamente la falta de logros sustantivos en este campo en el congreso citado [International Conference on the Role of Gravitation in Physics] y en los años sucesivos, explica la poca repercusión de la teoría”⁵¹.

Primeiro, analisemos a dinâmica de citações do artigo de Everett no Gráfico 5.

GRÁFICO 5 – DINÂMICA DE CITAÇÕES DE EVERETT, 1957

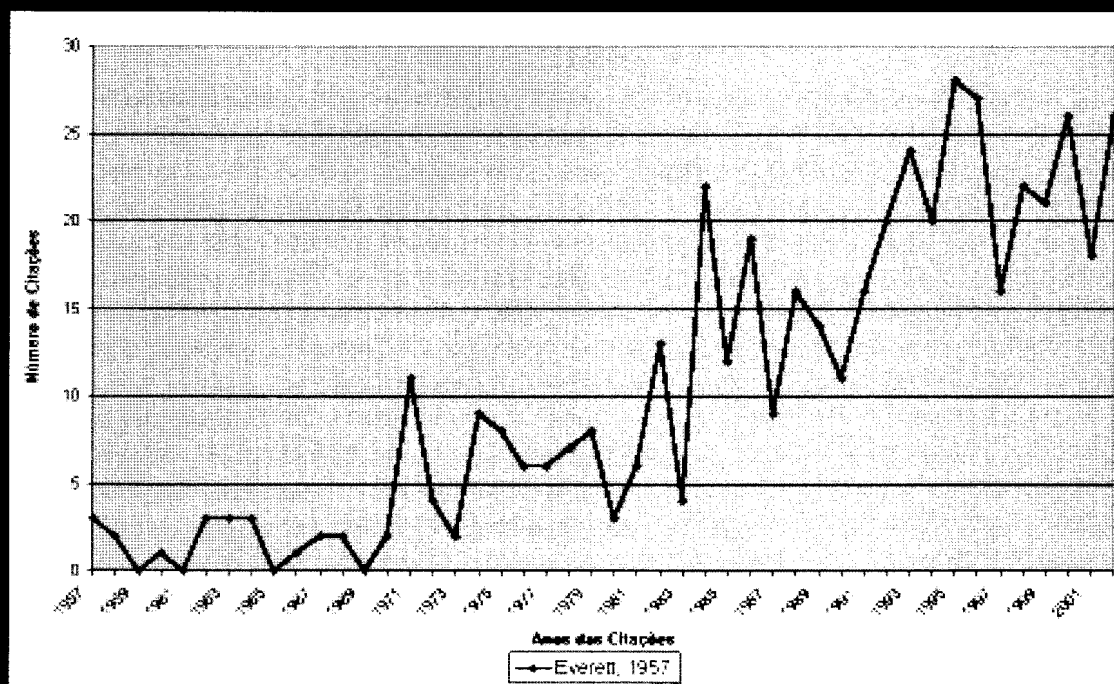
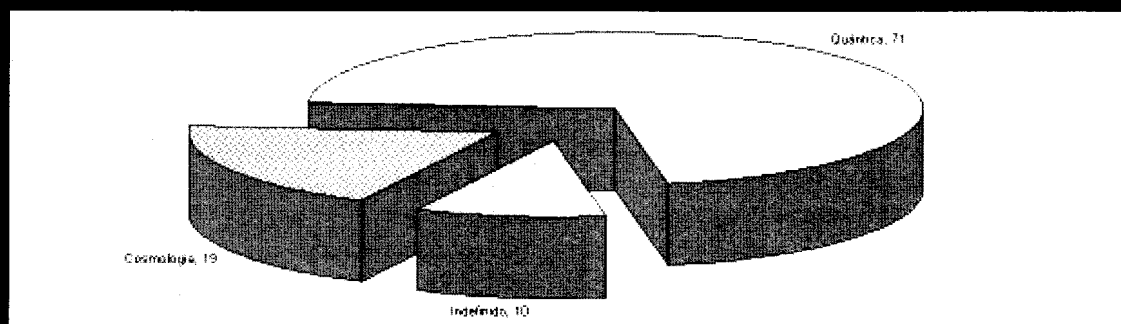


GRÁFICO 6 - NÚMERO DE CITAÇÕES RECEBIDAS POR CAMPO



QUADRO 1 – OS ARTIGOS MAIS CITADOS

| Autor | Título | Periódico | Conteúdo | Citações | Ano |
|-------------------------------|---|--------------------------|------------|----------|------|
| Dewitt, B. S. | Quantum theory of gravity .i. canonical theory | <i>Physical Review</i> | cosmologia | 919 | 1967 |
| Zurek, W. H. | Pointer basis of quantum mixture does the apparatus – into what wave packet collapse | <i>Physical Review D</i> | quântica | 447 | 1981 |
| Misner, C. W.; Wheeler, J. A. | Classical physics as geometry – gravitation, electromagnetism, unquantized charge, and mass as properties of curved empty space | <i>Annals of Physics</i> | cosmologia | 325 | 1957 |
| Hawking, S. W. | Black holes and thermodynamics | <i>Physical Review D</i> | cosmologia | 293 | 1976 |
| Wheeler, J. A. | On the nature of quantum geometrodynamics | <i>Annals of Physics</i> | cosmologia | 140 | 1957 |
| Carr, B. J.; Rees, M. J. | Anthropic principle and the structure of the physical world | <i>Nature</i> | cosmologia | 116 | 1979 |
| Stapp, H. P. | S-Matrix interpretation of quantum theory | <i>Physical Review D</i> | quântica | 111 | 1971 |

Como havíamos afirmado anteriormente, este gráfico indica que, a partir da década de 1970, mais precisamente a partir de 1972, o artigo começou a despertar algum interesse. Como nosso objetivo é identificar de qual campo surgiu tal interesse, nós analisamos de quais campos provieram as citações. Para tal, nós resgatamos as informações sobre os 100 primeiros artigos que citaram Everett, visto que estamos analisando o despertar do interesse no artigo. Examinado seus títulos e periódicos, inferimos sobre o campo em que o artigo estava inserido. Usamos, para isso, três categorias: a primeira relacionada à cosmologia quântica, a segunda relacionada à quântica, mas sem referência à cosmologia, e uma terceira para os artigos que não conseguimos categorizar com base nos dados disponíveis. O resultado desse levantamento está no Gráfico 6.

De acordo com o resultado, 71% dos artigos que citam Everett pertencem ao campo da quântica, 19% ao campo da cosmologia quântica e não foi possível identificar campos específicos para enquadrar 10% dos artigos. Essa informação, por si só, abala bastante a posição de Cassinello, pois demonstra que a grande maioria dos leitores do artigo estava interessada em teoria quântica, não em cosmologia quântica. Tal análise, entretanto, peca por comparar todos os artigos como sendo de igual valor, o que nos levou a fazer uma análise mais refinada. Assim, desses 100 artigos, selecionamos os que tiveram maior impacto na ciência utilizando como valor de medida o número de citações que cada um deles recebeu. O resultado está no Quadro 1.

Portanto, entre os 100 primeiros artigos que citaram Everett, cinco dos sete mais importantes são do campo de cosmologia, inclusive o artigo já mencionado de DeWitt, que sozinho possui mais de 900 citações, o que faz com que seja apontado como um artigo muito importante na ciência contemporânea³². Assim, podemos concluir que o campo da cosmologia quântica desempenhou um papel bastante importante na redescoberta da interpretação dos estados relativos, porém não devemos, em hipótese alguma, afirmar que somente nesse campo houve interesse por essa interpretação. Pelo contrário, os indícios parecem apontar para um interesse maior no campo que estava em formação, isto é, aquele dedicado aos fundamentos da teoria quântica. Assim como a relação entre Bell e CHSH, o desenvolvimento, surgimento e aceitação da teoria de Everett carecem de um estudo mais extensivo, permanecendo um problema em aberto: entender melhor como tudo isso ocorreu.

Frisamos que tais análises desenvolvidas sobre o trabalho de Everett só se tornam possíveis com o uso da *Web of Science*, pois de outra forma, para recolher tais informações, seria necessário olhar milhares de revistas até encontrar os artigos que citam Everett. Além do mais, seria completamente impossível valorar esses artigos sem a utilização da base em questão, ou seja, não teríamos como encontrar um critério razoável para valorá-los comparativamente em termos qualitativos. Ainda que não possamos afirmar ser um artigo melhor ou mais importante que outro, podemos medir o impacto de cada um deles e utilizar essa medida como informação qualitativa na história da ciência.

Discussão dos resultados e considerações finais

Como pudemos observar, a base de dados WoS foi bastante informativa para um estudo em história da ciência. Essa base nos permitiu analisar o desenvolvimento do artigo de David Bohm, de 1952, concordando de modo bastante singular com a literatura existente sobre o tema, além de nos proporcionar novas informações, tais como supostos picos de interesse no artigo em questão. Essa sugestão de problemas serve para indicar novos caminhos que as pesquisas em história da ciência podem tomar, de forma a tornar mais informativa a história desenvolvida. Nossa análise serviu também para estudarmos a relação entre dois importantes artigos, sugerindo um problema o qual deve ser analisado mais detalhadamente, que é a relação entre o artigo de Bell (1964) e o de Clauser e outros (CHSH, 1969). Inclusive, esse método nos indica, de modo parcial, algumas das fontes que seriam informativas para o presente estudo, que nesse caso seriam os artigos que citaram

conjuntamente ambos os artigos. Novamente, sem o uso dessa base de dados, não teríamos como, de modo prático, identificar os artigos que efetuaram esse tipo de citação. No caso da utilização do terceiro método de uso, sua aplicação foi ainda mais fundamental. Pudemos avaliar análises contidas em artigos históricos comparando-as com informações extraídas da base. Assim, tal método e tal base de dados terminam por se constituírem, de fato, em uma verdadeira fonte para a história da ciência. Sem a utilização destes, seria extremamente complicado analisar as informações presentes em Cassinello em relação aos campos nos quais o artigo de Everett teve impacto, se tal análise pudesse realmente ser feita. Por essas razões, pensamos que o potencial "heurístico" de estudos quantitativos de citações parece ser maior que aquele admitido pelo ceticismo de David Edge há cerca de 25 anos.

Como explicitamos durante este artigo, os métodos de trabalho com essa base de dados, como quaisquer outros, possuem diversas limitações e domínios de validade. Seu uso não pode ser ingênuo ou precipitado, e cada informação extraída deve ser tomada com todo o cuidado para que abusos não sejam cometidos. Porém, todos os métodos em história são assim. Aqui, entretanto, o historiador da ciência apenas reencontra as especificidades inerentes ao seu ofício, expressas na metáfora do ofício do historiador, tão bem apontadas por Marc Bloch, historiador *tout court*, e Jacques Roger, historiador da ciência⁵³.

Não podemos confiar plenamente em nenhum dos nossos métodos e fontes, cada qual possuindo suas limitações e domínios de validade. Se não podemos utilizar tal método quantitativo sem o rigor devido, também não podemos realizar uma entrevista com um cientista proeminente daquele campo, sem tomar os cuidados necessários. Essa atitude, extremamente enfatizada na literatura, não difere em nada da nossa prática usual como historiadores da ciência.

Finalmente, é importante salientar que, por mais que consideremos indispensável a utilização de análises cienciométricas no estudo da ciência moderna, nossas análises e conclusões não servem para legitimar o seu uso em políticas de ciência e em diversas outras aplicações que tentem utilizar tal método como uma medida objetiva da ciência. Nosso estudo é direcionado ao campo da história da ciência, estando bastante distante da nossa finalidade tentar mostrar que esses métodos são funcionais para medidas objetivas de ciência e tecnologia.

NOTAS

Fábio Henrique A. Freitas é aluno do Instituto de Física/UFBA; Olival Freire Jr., físico e doutor em História, é professor do Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História da Ciência-Instituto de Física/UFBA, Salvador, 40210-340, Brasil; E-mail: fabioale@ufba.br; freirejr@ufba.br. Registramos o apoio recebido do CNPq para a realização do trabalho, por meio de bolsas de Iniciação Científica (PIBIC-CNPq/UFBA) e de Produtividade em Pesquisa, respectivamente concedidas ao autor e ao co-autor. Agradecemos a Joan Bromberg, a Stefano Osnaghi e aos pareceristas deste periódico, pelas observações que permitiram o aprimoramento do artigo.

¹ FIGUEIREDO, L. R. História e informática: o uso do computador. In: CARDOSO, C. F.; VAINFAS, R. (Org.). *Domínios da história: ensaios de teoria e metodologia*. Rio de Janeiro: Campus, 1997. p. 419-439.

² MARTIN, O. *Sociologie des sciences*. Paris: Nathan, 2000. p. 43-46.

³ SPINAK, E. Indicadores cienciométricos, *Ciência da Informação*, Brasília, v. 27, n. 2, p. 141-148, maio/ago. 1998.

⁴ Os conceitos individuais dos subcampos da *bibliometria*, *informetria*,

cienciométrica e *tecnometria* não são, infelizmente, muito claros, existindo um caos metodológico na área". WORMELL, I. Informetria: explorando bases de dados como instrumentos de análise, *Ciência da Informação*, Brasília, v. 27, n. 2, p. 210-216, maio/ago. 1998. Para mais informações sobre tais conceitos, ver: MACIAS-CHAPULA, C. O Papel da informetria e da cienciométrica e sua perspectiva nacional e internacional. *Ciência da Informação*, Brasília, v. 27, n. 2, p. 134-140, maio/ago. 1998. Ver também: VANTI, N. A. P. Da Bibliometria à informetria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento, *Ciência da Informação*, Brasília, v. 31, n. 2, p. 152-162, 2002.

⁵ A literatura escolhida para análise nesse artigo não é, evidentemente, exaustiva. Estamos conscientes da possibilidade de omissões significativas, mas temos a expectativa de ter escolhido uma amostra de autores capaz de expressar, principalmente, as principais contribuições críticas ao uso da análise de citações. De todo modo, chamamos a atenção do leitor para o trabalho de MACROBERTS, M. H.; MACROBERTS, B. R. Quantitative measures of communication in science: a study of the formal level. *Social Studies of Science*, v. 16, n. 1, p. 151-172, 1986. Esses autores analisaram a premissa de que "citações" são expressões fidedignas de "influências", comparando citações com influências que podem ser deduzidas da leitura da integralidade dos próprios trabalhos científicos. Além de evidenciar

quão problemática aquela premissa pode ser, eles chegam a estimar que citações provavelmente não capturam mais que 15% das influências em um dado trabalho científico.

⁶ EDGE, D. Quantitative measures of communication in science: a critical review. *History of Science*, v. 17, p. 102-134, 1979. Dentre os métodos quantitativos, Edge toma em consideração a análise de citações, de co-citações, de co-autorias, relações professor-estudante, além de outros registros públicos de comunicação informal. Os métodos que desenvolveremos nesse trabalho estão relacionados apenas aos dois primeiros métodos considerados por Edge.

⁷ David Edge foi durante muitos anos o editor da revista *Social Studies of Science*. Ver: MACKENZIE, D. Elogio. David Owen Edge (1932-2003). *ISIS*, v. 94, n. 3, p. 498, 2003.

⁸ EDGE, *op. cit.*, p. 122-3.

⁹ KRAGH, H. Scientometric historiography. In: KRAGH, H. (Org.). *An Introduction to the Historiography of Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987, cap. 17, p. 182-197.

¹⁰ *Ibidem*, p. 191.

¹¹ *Ibidem*, p. 192.

¹² Naturalmente que isso é mais problemático quando se tenta desenvolver uma medida do valor do artigo com base nas citações, o que não é o objetivo de nossa análise. Para medidas de impacto de um artigo, isso não é um grande problema, pois, sendo bem ou mal recebido, se algum cientista resolveu citá-lo foi porque esse artigo causou algum impacto.

¹³ "Muitas das mais conceituadas e 'nobres' publicações da área [ciências sociais] (como as européias), cujos periódicos não têm o inglês como língua mãe, não são por ela [WoS] indexadas. Isso faz com que o meio acadêmico encare a *Social Sciences Citation Index* com certa reserva, considerando baixa sua representatividade e recomendando sua utilização com cautela". SANTOS, R. N. M. Produção científica: por que medir? O Que medir? *Revista Digital de Biblioteconomia & Ciência da Informação*, v. 1, n. 1, p. 22-38, 2003.

¹⁴ "[...] a single discovery introduced by a scientist of established reputation may have as good a chance of achieving high visibility as a multiple discovery variously introduced by several scientists no one of whom has yet achieved a substantial reputation". MERTON, R. K. *The Sociology of science: theoretical and empirical investigations*, editado e com introdução de Norman Storer. Chicago: The University of Chicago Press, 1974. Ver também MARTIN, O. *op. cit.*, p. 356-38.

¹⁵ Targino e Garcia analisam a presença da ciência brasileira na *Web of Science*, porém as autoras se preocupam somente com questões pertinentes às ciências da informação. Para tal, ver: TARGINO, M. G.; GARCIA, J. C. R. Ciência brasileira na base de dados do *Institute for Scientific Information (ISI)*. *Ciência da Informação*, Brasília, v. 29, n. 1, p. 103-117, 2000.

¹⁶ "If scientometry is used with care and in combination with other methods, it can play an important part, especially in the study of modern science." KRAGH, H., *op. cit.* O teor dessa citação não reflete, contudo, a atitude excessivamente crítica que Kragh desenvolveu no capítulo inteiro.

¹⁷ BOURDIEU, P. *Science de la science et réflexivité*. Paris: Raisons d'agir Éditions, 2001. p. 33-34. Os grifos são nossos. A referência para *Homo Academicus* é: BOURDIEU, P. *Homo Academicus*. Paris: Les Éditions de Minuit, 1992. O uso aparece especialmente na página 261. O original da citação é: "Je voudrais finir par quelques observations sur la scientométrie qui repose sur les mêmes fondements que le structuro-fonctionnalisme mertonien et qui se donne pour fin le contrôle et l'évaluation de la science à des fins de *policy-making* (la tentation scientométrique pèse sur toute l'histoire de la sociologie de la science, comme science du couronnement capable de décerner des brevets de science, et les plus radicalement modernistes, et nihilistes, des nouveaux sociologues de la science n'y échappent pas). La scientométrie s'appuie sur des analyses quantitatives ne prenant en compte que les produits, bref sur des compilations d'indicateurs scientifiques, comme les citations. Réalistes, les bibliomètres tiennent que le monde peut être échantillonné, compté, mesuré par des « observateurs objectifs » (Hargens, 1978, p. 121-139). Ils fournissent aux administrateurs scientifiques les moyens apparemment rationnels de gouverner la science et les savants et de donner des

justifications d'allure scientifique à des décisions bureaucratiques. Il faudrait notamment examiner les *limites* d'une méthode qui s'appuie sur des critères strictement quantitatifs et qui ignore les modalités et les fonctions très diverses de la référence (pouvant aller jusqu'à mettre entre parenthèses la différence entre les citations positives et les citations négatives). Il reste que malgré les usages douteux (et parfois déplorables) de la bibliométrie, ces méthodes peuvent servir à construire des indicateurs utiles sur le plan sociologique, comme je l'ai fait dans *Homo Academicus* (1984, p. 261) pour obtenir un indice de capital symbolique. »

¹⁸ Observamos, incidentalmente, que Latour e Woolgar estão dentre os "novos sociólogos da ciência" criticados por Bourdieu (2001, p. 55-64). A análise dessa polémica escapa, entretanto, aos objetivos de nosso trabalho.

¹⁹ Ao que nos parece, a maior defesa é a própria utilização. Para a nota de rodapé, ver: LATOUR, B.; WOOLGAR, S. *A Vida de laboratório: a produção de fatos científicos*. Tradução de Ângela Ramalho Vianna. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997. p. 75, nota 75. Mais interessante que isso é a visão que eles apresentam do papel da publicação no trabalho do cientista. Não nos estenderemos a respeito disso, mas essa citação é bastante ilustrativa: "As discussões e as breves trocas de informação ocorridas dentro do laboratório versam, praticamente sem exceção, sobre um ou vários pontos abordados na literatura publicada" (p. 47). Assim, se a vida do cientista é o artigo, a citação e sua dinâmica deve ser extremamente informativa para estudos sobre a ciência.

²⁰ PRICE, D. J. S. *O Desenvolvimento da ciência*. Tradução de Simão Mathias. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1976.

²¹ *Ibidem*, p. xi.

²² *Ibidem*, p. xii.

²³ Além do livro já mencionado neste artigo, podemos observar essas e outras extrapolações do método na obra de PRICE, D. J. S. *A Ciência desde a Babilônia*. Tradução de Leônidas Hegenberg e Octanny S. da Mota. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia; São Paulo: Edusp, 1976, que atingiu um público muito mais amplo.

²⁴ MEIS, L. *Ciência, educação e o conflito humano-tecnológico*. 2ª ed. São Paulo: Senac, 2002.

²⁵ *Ibidem*, p. 136.

²⁶ Nesse mesmo ano, ele publica um interessante trabalho sobre o uso de citações em história da ciência. Para tal, ver: GARFIELD, E. *The Use of citation data in writing the history of science*. Philadelphia: Institute for Scientific Information, 1964.

²⁷ TARGINO; GARCIA, *op. cit.*

²⁸ Em recente dissertação de mestrado, Leila Cruz parece encontrar evidências de que, no caso da biologia, a cobertura das publicações acerca de ecologia e comunidades não é tão extensiva, chegando a ser deficiente, principalmente comparando-se com a de outras áreas da biologia. A pesquisadora, contudo, não se estendeu sobre esse assunto. Um trabalho extremamente importante seria a análise da extensão da cobertura em diversos campos de uma mesma ciência, como, por exemplo, uma comparação entre a cobertura sobre os fundamentos da teoria quântica e a cobertura sobre a óptica. Cf. CRUZ, Leila Costa. *A Prática científica na ecologia de comunidades: um estudo da literatura de ecologia de comunidades de lagartos*. 2003. 177 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2003.

²⁹ SANTOS, *op. cit.*

³⁰ TESTA, J. The ISI Database: the journal selection process. Disponível em: <<http://www.isinet.com/isi/hot/essays/selectionofmaterialforcoverage/199701.html>>. Acesso em: 01 dez. 2002.

Para uma versão anterior em português, ver tradução do inglês de Irati Antônio: Testa, J. A Base de dados ISI e seu processo de seleção de revistas. *Ciência da Informação*, Brasília, v. 27, n. 2, 233-235, 1998.

³¹ TARGINO; GARCIA, *op. cit.*, p. 105.

³² É importante notar que tal análise não pretende ser extensiva e foi influenciada pelo estudo de caso, pois os modos utilizados pareciam fornecer mais informações para o nosso estudo.

³³ Neste artigo, analisamos a dinâmica das citações dos seguintes artigos:

BOHM, D. A Suggested interpretation of the quantum theory in terms of hidden variables I. *Physical Review*, v. 85, n. 2, p.166-179, 1952.

BELL, J. S. On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox. *Physics*, v. 1, n. 3, p.195-200, 1964.

CLAUSER, J.; HORN, M.; SHIMONY A. HOLT, R. Proposed experiment to test local hidden-variable theories. *Physical Review Letters*, v. 23, p. 880-884, 1969. EVERETT III, H. Relative state formulation of quantum mechanics. *Reviews of Modern Physics*, v. 29, p.454-462, 1957. Para efeito de comparação, usamos também WIGNER, E.P. The problem of measurement. *American Journal of Physics*, v. 31, p. 6-15, 1963.

³⁴ Para uma análise da obra de David Bohm, ver: FREIRE JR., Olival. *David Bohm e a controvérsia dos quanta*. Campinas: Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, 1999. Coleção CLE, v. 27; para uma biografia, ver: PEAT, F. D. *Infinite potencial: the life and times of David Bohm*. [S.l.]: Addison-Wesley Pub. Co, 1996.; para uma apresentação técnica das suas idéias científicas, ver: HOLLAND, P. *The Quantum theory of motion: an account of the de Broglie-Bohm causal interpretation of quantum mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. e BASSALO, J. M. F. et al. *Tópicos de mecânica quântica de De Broglie-Bohm*. Belém: Editora Universitária UFPA, 2003. Para um simpósio brasileiro em homenagem a David Bohm, ver: PESSOA, O. (Org.). *Fundamentos da física 1: simpósio David Bohm*. São Paulo: Livraria da Física, 2000. e PESSOA, O. (Org.). *Fundamentos da Física 2: simpósio David Bohm*. São Paulo: Livraria da Física, 2001.

³⁵ *Cited Reference Search* é o nome da ferramenta de busca na *Web of Science*. Para utilizá-la, é necessário ao menos um dos seguintes dados: nome do autor, ano de publicação e título do artigo. O sistema retornará todas as referências que batem com os dados inseridos, então o usuário deverá selecionar a referência (ou referências, pois é relativamente comum o erro na citação, o que não é, de modo algum, significativo para um artigo com um grande número de citações) que corresponde à busca solicitada.

³⁶ FREIRE JR., O. Science and Exile, a aparecer nos Anais do workshop "Migrant Scientists in the Twentieth Century".

³⁷ JAMMER, M. *The Philosophy of quantum mechanics: the interpretations of quantum mechanics in historical perspective*. New York: John Wiley & Sons, 1974, apud FREIRE JR., O. A Story without an ending: the quantum physics controversy 1950-1970. *Science & Education*, v. 12, p. 573-586, 2003.

³⁸ FREIRE JR., O. *op. cit.*, p. 580.

³⁹ FREIRE JR., *David Bohm e a Controvérsia dos Quanta*, *op. cit.*

⁴⁰ FREIRE JR., O. *Ibidem*.

⁴¹ Esse pico no número de citações aparecerá também nas análises dos artigos de Bell (1964) e de Everett (1957); além de aparecer em citações de artigos de Einstein, Podolsky & Rosen (1935), e de Wigner (1963), os quais não serão apresentados no nosso trabalho, mas constam em FREITAS, F. H. A.; FREIRE JR., O. Explorando a base de dados do instituto for scientific information como fonte para a história da ciência: o caso da controvérsia sobre fundamentos da mecânica quântica. In: GARCIA, N. M. D. (Org.). *Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Curitiba: Cefet-PR, 1 CD., 2003, p. 2180-2188. Para versão disponível na internet, consultar <<http://www.sbfllf.usp.br/ eventos/snef/xv/atas/09%20-%20CO%20-%20Area%205%20-%20p.%202125%20a%202298.pdf>>.

⁴² Para a avaliação de um campo, é necessária a análise de diversos artigos ao mesmo tempo, pois essa é a única forma de podermos diferenciar o que ocorre exclusivamente a um artigo do que aconteceu à coletividade, ainda que cada um dos artigos não precise necessariamente ser afetado.

⁴³ Apesar de o artigo ser de 1964, sua publicação ocorreu em 1965. Esse pequeno fato é bastante interessante para a nossa análise, pois reforça nossa opinião de que só é possível utilizar métodos quantitativos em história da ciência acompanhados de uma sólida base qualitativa. Devido a essa divergência de datas, uma pequena, porém considerável, parte dos artigos que citam Bell situa esse artigo em 1965. A falta de uma análise qualitativa nos levaria a desconsiderar tais citações.

⁴⁴ Em FREIRE JR., O. A Story without an ending, *op. cit.*, vemos que o próprio Bell afirmou, ao ler o artigo de David Bohm, publicado em 1952, "I

saw the impossible be done" (Eu vi o impossível acontecer).

⁴⁵ O seu livro de 1932, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik* (Fundamentos matemáticos da mecânica quântica), teve um impacto extremo na comunidade de físicos, principalmente pelo fato de estabelecer a estrutura matemática para a axiomatização da teoria quântica. Nesse livro, encontramos a prova mencionada, que terminou sendo aceita sem muita discussão mesmo com os avisos para que se tivesse cautela do próprio von Neumann, como afirma KRAGH, H. *Quantum generations*. Princeton: Princeton University Press, 1999.

⁴⁶ CLAUSER, J. Early history of Bell's theorem and experiment. In: Black, T. D. et al. (Ed.). *Foundations of quantum mechanics*. Cingapura: World Scientific, 1992. p. 168-174.

⁴⁷ DEWITT, B. Quantum theory of gravity. I. The canonical theory. *Physical Review*, v. 160, n. 5, p. 1113 - 1148, 1967.

⁴⁸ "[...] some speculations on the uniqueness of the state functional of the actual universe. It is suggested that a viewpoint due to Everett should be adopted in its interpretation", *ibidem*, p. 1113.

⁴⁹ "[...] it is nevertheless clear that the quantum theory of space-time must ultimately force a deviation from the traditional Copenhagen doctrine", *ibidem*, p.1131.

⁵⁰ "Everett's view of the world is a very natural one to adopt in the quantum theory of gravity, where one is accustomed to speak without embarrassment of the 'wave function of the universe'. It is possible that Everett's view is not only natural but essential", *ibidem*, p. 1141.

⁵¹ CASSINELLO, A. La Interpretación de los muchos universos de la mecánica cuántica. *Apuntes Históricas*, Arbor CXLVIII, v. 584, p. 47-68, 1994

⁵² Nesse artigo, é apresentada a equação de Wheeler-DeWitt muito utilizada na quantização da gravitação. Agradecemos a Saulo Carneiro Jr. por essa informação.

⁵³ Bloch afirmava que era bom, e a seu ver era mesmo indispensável, "que o historiador possua ao menos verniz de todas as principais técnicas de seu ofício. Mesmo apenas a fim de saber avaliar previamente, a força da ferramenta e as dificuldades de seu manejo." Roger reiterava que "ser historiador é, de início, um ofício, uma prática, e no exercício desse ofício o artesão utilizará todas as ferramentas à sua disposição, da paleografia à epistemologia, segundo as necessidades de seu trabalho e as etapas de seu empreendimento". BLOCH, M. *A apologia da história – ou o ofício de historiador*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2002. p. 81; ROGER, J. *Pour une histoire historienne des sciences*. In: ROGER, J. *Pour une histoire des sciences à part entière*. Paris: Albin Michel, 1995, p. 43-73.

Artigo recebido em 11/2003. Aprovado em 03/2004.