

# CAUSALIDADE E MECÂNICA QUÂNTICA EM WESLEY SALMON

Eduardo Antonio Pitt  
Mestrando em Filosofia pela  
UFMG

**Resumo:** O objetivo do artigo é apresentar a teoria da causalidade de Wesley Salmon e a proposta desse autor para solucionar o problema humeano da conexão necessária entre causa e efeito. Segundo Salmon, os processos causais constituem, precisamente, as conexões necessárias causais objetivas que Hume não encontrou. O tema envolve discussões filosóficas e físicas e chama atenção na medida em que Salmon tenta recuperar aspectos da teoria de Hume da causalidade no contexto da Mecânica Quântica contemporânea, mesmo depois de Kant ter apresentado uma explicação mais refinada do que a de Hume. Minha análise da teoria de Salmon está baseada nas partes I, III e IV do livro *Causality and Explanation* de 1998.

## Causalidade e Mecânica Quântica em Wesley Salmon

Quando Hume, no *Tratado da Natureza Humana* (1739), apresentou a caracterização da causalidade como um processo que envolve contiguidade no tempo e espaço, prioridade temporal e sucessão constante, ele marcou a história da Filosofia. No entanto, Hume estabeleceu que a conexão necessária entre causa e efeito não pode ser explicada pela nossa razão, sua solução foi

apelar para uma conexão psicológica baseada no nosso costume de ver determinado evento produzir outro. Acontece que esse ponto da definição humeana tornou-se um problema para os filósofos e físicos posteriores dispostos de abandonar qualquer traço de caráter psicológico que envolva a lei da causalidade na explicação científica.

Talvez o problema criado por Hume tenha sido resolvido por Kant, na *Crítica da Razão Pura* (1781), ao propor que a causalidade não existiria na realidade, mas, seria uma “categoria do entendimento”, isto é, uma estrutura cognitiva sem a qual a própria compreensão do mundo seria impossível. O idealismo transcendental de Kant nos diz que a existência dos objetos externos não é cognoscível mediante percepção imediata, ou seja, somente através das categorias *a priori* (espaço e tempo) temos condições de conhecer o mundo. Kant não negou a contiguidade, a prioridade temporal e a conexão necessária, o que ele fez foi reverter a posição de Hume ao postular que a experiência só é possível pelos conceitos e princípios *a priori* do entendimento. Sendo assim, conhecendo o contexto e as motivações kantianas podemos dizer que ele fundamenta a conexão necessária em uma lei física newtoniana que é universal e necessária.

Contudo, o debate filosófico e científico sobre o Princípio da Causalidade não se encerrou com Kant e tamanha era a incerteza sobre o assunto que Russell em *Sobre a noção de causa* (1913) criticou duramente os filósofos preocupados em manter o conceito de causalidade dizendo que este conceito não tinha utilidade na ciência. Como nos mostra esse pequeno percurso histórico a definição do Princípio de Causalidade envolve problemas e dúvidas que acompanham os filósofos há muito tempo e com o advento da Mecânica Quântica a discussão, nesse contexto, torna-se ainda mais complicada e desafiadora.

Neste texto vou apresentar a teoria da causalidade de Wesley Salmon e a proposta deste autor para solucionar o problema humeano da conexão necessária entre causa e efeito. A idéia principal é que os processos causais, como caracterizados por Salmon, constituem precisamente as conexões necessárias causais objetivas que Hume não encontrou. O tema chama atenção porque apesar do refinamento da resposta kantiana fiquei, de certa forma, surpreso com a tentativa de Salmon em recuperar Hume, tratando-se de uma teoria da causalidade na Mecânica Quântica. Minha análise está baseada nas partes I, III e IV do livro *Causality and Explanation* que Salmon publicou em 1998.

É importante salientar que a causalidade física que Salmon propõe coloca os processos como entidades básicas e não os eventos. A explicação do autor é que a principal diferença entre processos e eventos é que “eventos são relativamente localizados no espaço e tempo, enquanto processos tem maior duração temporal e maior extensão espacial. Em diagramas de espaço e tempo, eventos são representados por pontos, enquanto processos são representados por linhas” (1998, p.286).

A caracterização de processos como linhas pode ser entendida *a la Russell*, com alguma ressalva. Em 1948 Russell apresentou no artigo, *Conhecimento Humano*, uma definição menos destrutiva do Princípio de Causalidade. No artigo, “processos são linhas causais que são formadas por uma série temporal de eventos que podem ser consideradas como a persistência de algo, como uma pessoa, um fóton, uma mesa, etc” (1948, p.459). Salmon pensa de forma análoga a Russell a não ser pela seguinte restrição: Russell define linha causal como uma série de eventos ligados contiguamente, Salmon pensa que esse tipo de definição traz um problema desnecessário que é como explicar esses links causais. O mesmo problema que Hume não resolveu. A

sugestão de Salmon é pensarmos processos como contínuos e não compostos de links. Dessa forma, evitamos o problema de termos que explicar o “poder oculto” que produz o próximo evento porque o próximo evento não existe. Salmon entende que em um processo a influência causal é transmitida continuamente, o ponto crucial é entendermos a natureza dessa transmissão causal contínua que seria capaz de fundamentar a conexão necessária entre causa e efeito.

Segundo Salmon, o conceito de causalidade desempenha importante papel na física moderna, por exemplo, na teoria da relatividade do Einstein. Nesta teoria a velocidade da luz “constitui um limite máximo de velocidade em que os sinais podem ser transmitidos e uma consequência básica dessa teoria é que nenhum processo capaz de transmitir informação pode ser propagado mais rápido que a luz” (1998, p.194). A abordagem original de Salmon é considerar os processos que transmitem influência causal, limitados pela velocidade da luz, como processos causais genuínos justamente pela capacidade de tais processos transmitirem influência causal por meio de sinais ou informação. Em contraste, pseudo-processos não fazem isso. A velocidade da luz como um limite de transmissão de influência causal desempenha na teoria do Salmon um importante papel porque ela descarta a transmissão simultânea e serve de fundamento para o critério usado para efetuar a distinção entre processos causais e pseudo-processos.

Salmon utiliza o “critério da transmissão de marca” de Reinchenbach para diferenciar processos causais de pseudo-processos. O ponto fundamental é que, segundo Salmon, processos causais são capazes de transmitir uma marca e pseudo-processos não. “Marca”, neste caso, deve ser entendida como um sinal, informação, influência causal, energia, carga elétrica e momentum. Utilizarei o mesmo

exemplo apresentado pelo autor porque depois vou me valer dele para atacar o problema contrafactual. Salmon considera um raio de luz viajante de um farol até a parede como um processo causal, em contraste, a mancha de luz feita na parede é um pseudo-processo.

O que faz a trajetória do raio de luz um processo causal é a sua capacidade de transmitir uma marca pela sua própria estrutura e essa marca deve persistir além do ponto que ela foi introduzida. Sendo assim, diz o exemplo:

se colocarmos um filtro vermelho entre um farol e a parede o raio de luz passará de branco para vermelho e permanecerá vermelho até alcançar a parede. O que fizemos ao colocarmos o filtro vermelho foi uma única intervenção que produziu uma mudança que foi propagada do ponto da intervenção em diante. Agora se imaginarmos um farol giratório dentro de uma sala redonda podemos interagir com o raio de luz em diversos pontos, mas, a mudança não será propagada do ponto de intervenção em diante. Se colocarmos um filtro vermelho em um ponto específico da parede o raio de luz ficará vermelho naquele ponto somente. Como o farol é giratório a mancha de luz voltará a ser branca logo ao passar daquele ponto que o filtro foi colocado, ou seja, a marca pode ser feita mas ela não foi propagada para os outros pontos da sala (1998, p.288).

Sem dúvida, Salmon considera importante a diferença entre intervenção local e intervenção externa para a propagação da marca. Quando colocamos um filtro vermelho em um ponto específico da parede isto constitui uma

intervenção externa porque essa intervenção não foi capaz de transmitir a marca para os outros pontos da parede, uma vez que, o farol está girando. Essa transmissão da marca para os outros pontos da parede é essencial, pois, ela caracteriza a persistência da marca introduzida. Entendo que a forma que Salmon apresenta o exemplo levanta objeções, por exemplo, aquela que alega que a mudança produzida naquele ponto específico da sala onde colocamos o filtro seja nela mesma um processo causal. No entanto, se entendo o que Salmon quer dizer, posso tentar defendê-lo dizendo que tal objeção viola a exigência que a marca deve ser propagada por todo o processo em consideração e aqui o processo em consideração é de um farol girando em torno de uma parede redonda. Não é que o raio de luz deixa de ser um processo causal, mas, a exigência que a marca seja propagada pela estrutura interna do processo e por todo o processo é muito forte na teoria do Salmon e uma intervenção externa não é capaz de cumprir essa regra. Em contraste, uma intervenção local, como um filtro vermelho acoplado no farol giratório, propaga a marca ao longo de todo o processo pela sua própria estrutura, isto é, propaga a marca no raio de luz para todos os pontos da parede redonda.

Sendo assim, Salmon define o “método de transmissão de marca” da seguinte maneira: “uma marca que foi introduzida em um processo por meio de uma única intervenção em um ponto  $X$  é transmitida para um ponto  $Z$  se e somente se ela ocorre em  $Z$  e em todos os estágios do processo entre  $X$  e  $Z$  sem intervenções adicionais” (1998, p.197). Como dissemos, esse critério será usado para distinguir “aqueles processos que transmitem influência causal por meio de sua própria estrutura daqueles processos que exibem um alto grau de regularidade mas que não transmitem influência causal por sua estrutura interna” (1998, p.196).

Como estamos vendo o método de transmissão de marca envolve dois conceitos causais fundamentais: produção e propagação.

O conceito de produção corresponde às interações causais. Quando dois processos causais cruzam seus caminhos, nessa interação os dois processos são modificados e essa modificação é propagada pelos dois processos até que outra interação ocorra. Então essa intersecção é uma interação causal. Para exemplificar uma interação causal Salmon usa o experimento do Arthur Compton: “um fóton e um elétron colidem, os dois são processos causais, na colisão a frequência, energia e momentum do fóton são modificados, assim como, a energia e o momentum do elétron, além disso, essas mudanças são propagadas além da colisão” (1998, p.202). No entanto, nem todas as interações entre processos causais provocam mudanças nos processos. Por exemplo “quando dois raios de luz se cruzam eles ficam superpostos, mas, além daquele ponto eles não mudam” (1998, p.203). Além disso, a situação pode ser instanciada também quando “dois pseudo-processos ou um processo causal e um pseudo-processo se cruzam, uma interação causal nunca ocorrerá” (1998, p.203). Segundo Salmon, a definição de interação causal não é estatística porque ela se refere às características físicas das entidades envolvidas e às suas posições no espaço e tempo.

O conceito de propagação corresponde aos processos causais. Aquele processo que é capaz de transmitir uma “marca” ao longo do universo é definido, na teoria do Salmon, como um processo causal. A definição de processo causal também não é estatística pelo mesmo motivo das interações causais. Segundo Salmon, no mundo existem muitos processos causais: “transmissão de ondas de luz, movimentos de objetos materiais, transmissão de ondas de som e persistência de estruturas cristalíneas” (1998, p.198). Por

exemplo, assim como átomos, elétrons são processos causais porque transmitem várias características físicas como energia, massa, frequência e *momentum*; da mesma forma, a trajetória de uma bala do cano da arma até o alvo também é um processo causal porque ela transmite a marca produzida pelo cano da arma ao longo de toda a trajetória.

Conforme Salmon, processos causais são governados por leis naturais e estas leis constituem regularidades que podem ser empiricamente comprovadas. O “método de transmissão de marca” é um critério para distinguir regularidades causais de outros tipos de regularidades no mundo, incluindo aquelas que podem ser associadas com pseudo-processos. A base para dizer que a regularidade no processo causal é transmitida via o processo está na habilidade do processo causal transmitir uma modificação na sua estrutura resultante de uma interação causal. Essa abordagem da causalidade fundamentada na teoria da transmissão de marca, diz Salmon: “fornece uma abordagem da transmissão de informação e propagação de influência causal sem apelar para qualquer ‘poder oculto’ que a consideração de causalização de Hume tão fortemente proibiu” (1998, p.199).

O fato que os processos causais e as interações causais não podem ser definidas por meio de termos estatísticos tem haver com a discordância de Salmon com o professor que o orientou no doutorado, Hans Reichenbach. Salmon diz que por volta de 1971 tentou definir causalidade probabilística em termos de conceitos estatísticos como fez Reichenbach com a *conjunctive fork* e a *screening-off relation*, mas, no final da década ele viu que era melhor assumir outra postura.

Salmon, como venho tentando mostrar, entende que o fato fundamental é que existem processos causais que fornecem as conexões causais necessárias que Hume foi

incapaz de reconhecer. Para Salmon, as conexões físicas são mais importantes do que as relações estatísticas entre os eventos separados, por isso, ele desistiu de definir causalidade probabilística em termos de conceitos estatísticos como faz Reichenbach. Para Salmon:

a principal diferença entre a *screening-off relation*, a *conjunctive fork* de um lado e as interações causais e os processos causais do outro é que os primeiros podem ser definidos em termos estatísticos e os últimos não podem. Processos causais e interações causais são estruturas físicas no sentido realista cujas propriedades não podem ser caracterizadas em termos de relações entre valores probabilísticos somente (1998, p.201) (grifo meu).

Voltando aos conceitos de processos causais e interações causais resta dizer que Salmon considera o conceito de interação causal mais básico do que o conceito de processo causal. O fato é se estamos falando de causa e efeito, na teoria do Salmon, a causa seria a interação causal entre dois ou mais processos causais e o efeito seria os novos processos causais resultantes da interação causal que os modificou. Nesse sentido, estamos autorizados a dizer que Salmon defende que ocorre prioridade temporal entre causa e efeito, isto é, entre interação causal e processo causal. Além disso, os processos causais cumprem o papel da conexão necessária porque eles transmitem a influência causal ao longo de sua trajetória.

Contudo, apesar de Salmon considerar mais básico as relações físicas entre os processos do que as regularidades estatísticas, ele admite que pelo menos no universo quântico o conceito de propensão é extremamente útil como um

conceito de causalidade probabilística. Salmon acredita:

Nos contextos indeterminísticos, se existe qualquer coisa do tipo causal terá que ser probabilística. Por exemplo: na experiência de Compton a interação causal entre o fóton e o elétron, a direção que o elétron irá tomar não é determinada, existe uma distribuição probabilística sobre todas as direções possíveis. Nesse exemplo, cada processo exibe características físicas: energia, massa, frequência, momentum e esses processos transmitem distribuições probabilísticas para as interações entre eles. Essas distribuições probabilísticas constituem propensões causais, assim, entendo que processos causais transmitem propensões (1998, p.204).

Dessa forma entendemos que Salmon não está dizendo que as relações estatísticas são dispensáveis na teoria quântica, o que Salmon prega é que elas não são o mais fundamental. O que é fundamental para Salmon são os mecanismos da causalidade, tais como processos e interações. Parece que fica claro no seguinte trecho:

Na análise detalhada de qualquer processo ou interação é necessário apelar para leis da natureza, tais como conservação de energia ou conservação de momentum. As leis invocadas podem ser universais ou estatísticas. A ênfase principal, no entanto, é sempre sobre os mecanismos, e esses mecanismos obviamente não precisam ser determinísticos (1998, p.207).

Porém, o “método de transmissão de marca” que é o critério que distingue processos causais de pseudo-processos e que desempenha papel fundamental no entendimento de causalidade física que Salmon desenvolveu tem problemas contrafactuais. O problema foi detectado por Nancy Cartwright e ela se utiliza do mesmo exemplo do farol giratório dentro de uma sala redonda para mostrar que o “método de transmissão de marca” deve ser abandonado. O argumento de Cartwright diz o seguinte:

Suponha que poucos segundos antes do filtro vermelho instalado na parede tornar a mancha girante vermelha, alguém coloca um filtro vermelho sobre o farol giratório, de maneira que, como a mancha move, ela permanece vermelha devido o novo filtro sobre o farol. Em tal caso, a mancha tornou-se vermelha devido a uma intervenção local e permanece vermelha sem qualquer adicional intervenção local. Com ou sem a intervenção externa na parede, a mancha de luz movendo ao redor da parede iria ter ficado vermelha daquele ponto em diante (1998, p.252).

Na minha opinião, se de fato consegui entender, é de se estranhar como Salmon por si só não reconheceu o problema. De qualquer forma, Salmon se deu por convencido porque o exemplo de Cartwright mostrou que a mancha na parede iria ter ficado vermelha de qualquer forma sem levar em consideração se houve ou não uma intervenção externa. E essa parece ser a fonte do problema porque na definição do “método de transmissão de marca” Salmon deixa claro que a marca deve ser introduzida no processo por meio de uma única intervenção local e que não deve ocorrer outras

intervenções. O exemplo de Cartwright parece ser bem sucedido porque mostrou que a marca pode ser introduzida e propagada pelo processo causal havendo ou não uma intervenção externa, o que caracteriza o aspecto contrafactual do problema.

Uma vez convencido do problema contrafactual Salmon não teve outra escolha a não ser mudar a maneira que tinha definido processo causal, interação causal e transmissão de marca. No entanto, a reformulação desses conceitos não significou o fracasso do projeto de resolver o problema humeano, pelo menos como Salmon entende, utilizando os processos causais como responsáveis pela conexão necessária entre causa e efeito. O que Salmon precisava era mudar a concepção de transmissão de marca para uma outra teoria que não fosse contrafactual. E a solução Salmon encontrou no artigo de Phil Dowe, *O processo da Teoria da Causalidade de Wesley Salmon e a Teoria da Quantidade Conservada* de 1992. Segundo Dowe, “os processos causais transmitem quantidades conservadas e, por isso, eles são causais” (1998, p.253). Conforme a definição de Dowe, uma quantidade conservada dentro de um dado sistema físico é aquela que seu valor não muda ao longo do tempo, ela é constante com respeito a passagem do tempo. Dowe menciona como exemplos de quantidades conservadas: “momentum linear, momentum angular, carga elétrica e massa-energia” (1998, p.254).

Na teoria do Dowe encontramos os conceitos de interação causal e de processo causal. Salmon utiliza na íntegra o conceito de interação causal de Dowe. A definição é a seguinte:

Definição 1: “Uma interação causal é uma intersecção de linhas causais que envolve troca de uma quantidade conservada. A troca é governada pelas leis da conservação” (1998, p.253).

Em se tratando de uma quantidade conservada temos que ter em mente que um fato envolvendo troca de *momentum* por exemplo, o momentum total do processo de saída deve ser igual ao processo de entrada. Dessa forma, Salmon apresenta um fato que exemplifica essa nova definição de interação causal envolvendo um taco de baseball e uma molécula de Nitrogênio batendo simultaneamente em uma janela de vidro que se quebra. A pergunta que deve ser feita é: o que causou a quebra da janela, o taco ou a molécula? Segundo Salmon:

na interação constituída pela molécula de Nitrogênio e a janela quebrada o momentum não é conservado. Antes da colisão o momentum linear da janela em repouso é zero. O momentum linear da molécula de Nitrogênio quando ela bate na janela não é zero mas é bastante pequeno. Porém, o momentum total linear dos pedaços da janela depois da colisão é enormemente maior do que o momentum linear da molécula na entrada do processo. Em contraste, o momentum total linear do taco de baseball quando ele bate na janela é igual ao momentum linear dos pedaços de vidro e o taco depois da colisão. Neste caso, como houve conservação do momentum, a causa da quebra da janela foi a colisão com o taco de baseball (1998, p.254).

O segundo conceito que encontramos na teoria do Dowe é o de processo causal. Diferente do conceito de interação causal, Salmon acha o conceito de processo causal de Dowe insatisfatório e o modifica segundo algumas razões. Dowe classifica um processo causal da seguinte maneira:

Definição 2: “Um processo causal é uma linha causal de um objeto que manifesta uma quantidade conservada” (1998, p.254).

Para não deixar dúvidas, ‘objeto’ na definição pode ser tudo o que encontramos na ontologia das ciências (partículas, ondas ou campos) ou objetos materiais comuns.

As razões que levaram Salmon pensar ser necessário mudar a definição 2 acima estão todas ligadas ao termo ‘manifesta’. Segundo Salmon, quando usamos o termo ‘manifesta’ “parece que estamos abandonando uma das características principais dos processos causais, isto é, o fato que eles transmitem algo em cada momento da sua história” (1998, p.255). Outra coisa, o termo ‘manifesta’ é ambíguo e pode levar à afirmação “que uma sombra é uma entidade que manifesta uma carga elétrica, cujo valor é zero, mas, contudo, a sombra é um pseudo-processo” (1998, p.256) na concepção do Salmon. Levando em consideração esses pontos Salmon reformula a definição de processo causal de Dowe e apresenta a sua definição.

Definição 3: “Um processo causal é uma linha causal de um objeto que transmite uma quantidade não-zero de uma quantidade conservada em cada momento de sua história (cada ponto espaço-tempo de sua trajetória)” (1998, p.257).

O fenômeno que Salmon utiliza para exemplificar sua nova definição de processo causal é o “próton que tem uma carga elétrica positiva fixa que é uma quantidade conservada e o próton tem essa carga em cada momento de sua história” (1998, p.256).

Em relação ao “método de transmissão de marca”, Salmon não o abandonou apesar de que na teoria do Dowe não haver esse tipo de formulação. Salmon, no entanto, como adotou a teoria de quantidade conservada para as definições de processo causal e interação causal bastou reformular a definição do “método de transmissão de marca”, como segue:

Definição 4: “Um processo transmite uma quantidade conservada de  $A$  para  $B$  ( $A \neq B$ ) se ele possui essa quantidade em  $A$  e em  $B$  e em cada estágio do processo entre  $A$  e  $B$  sem qualquer interação no intervalo aberto  $(A, B]$  que envolva uma troca daquela quantidade conservada particular. (O intervalo é especificado como meio aberto levando em conta a interação em  $A$  que determinou a quantidade conservada envolvida na transmissão)” (1998, p.257).

Salmon exemplifica essa nova definição de transmissão de marca dizendo que a “bala viajante transmite energia-momentum da arma para a vítima” (1998, p.258). Contudo, Salmon chama atenção para o fato de que em muitas situações práticas a definição 4 deve ser considerada como uma definição ideal. Isso porque se interpretarmos com rigor o exemplo da bala viajante iremos reclamar as incessantes interações da bala com o meio ambiente. A resposta de Salmon é pragmática:

Nesta e em muitas situações similares nós devemos simplesmente ignorar tais interações porque as trocas de energia-momentum são muito pequenas para nos preocupar. Considerações pragmáticas é que determinam se um dado processo é um único processo ou uma rede complexa de processos e interações (1998, p.258).

Acredito que esses são os pontos principais na teoria de causalidade de Salmon. A teoria, assim entendo, apresenta duas principais características: primeiro, o fato de abordar conexões causais como processos físicos que transmitem influência causal de uma localização espaço-tempo para outra; segundo, a teoria não abandona aspectos da

causalidade probabilística porque aponta para a possibilidade que causalidade opera em contextos indeterminísticos.

Como vimos, a originalidade do trabalho do Salmon está em introduzir a transmissão causal como característica única dos processos causais e devido a essa característica tais processos constituem a conexão necessária entre causa e efeito. Apesar de Salmon começar tratando processos causais em termos de capacidade de transmitir marcas, o conceito básico de transmissão funciona igualmente bem nas teorias de quantidades conservadas. Sendo assim, Salmon acredita que as definições (1, 3 e 4) estão livres de problemas contrafactuais e que tais definições significam um considerável progresso com respeito a uma teoria da causalidade física.

## **Conclusão**

Como disse no início do texto, o fato que me despertou atenção na teoria do Salmon foi a sua tentativa de formular um Princípio de Causalidade, que abarcasse, igualmente, contextos macro e quântico, resgatando a formulação de Hume, mas que ia além, pois, o projeto de Salmon visa solucionar o problema da conexão necessária entre causa e efeito sem apelar para qualquer critério psicológico ou qualquer “poder oculto”. No decorrer do texto apresentei o tratamento que Salmon dá aos processos causais como estruturas físicas transmissoras de influência causal que são empiricamente possíveis de serem conhecidas por nós. Essa nova abordagem permitiu delegar a responsabilidade pela conexão causal necessária entre causa e efeito aos processos causais e, assim, Salmon acredita não ter feito apelo a qualquer “poder oculto” e ter solucionado o problema que Hume não foi capaz.

O empreendimento de Salmon o levou então a acrescentar uma quarta exigência além das três presentes em Hume, de tal maneira que, podemos dizer que a teoria da causalidade do Salmon exige que sejam satisfeitos os seguintes critérios: prioridade temporal, contiguidade no tempo e espaço, conjunção constante e a capacidade de transmitir uma quantidade conservada.

Levando em conta que a teoria da causalidade que acabo de apresentar é uma proposta dentre várias outras interpretações na Mecânica Quântica não é possível concluir que a discussão a respeito do Princípio de Causalidade tenha sido resolvida pelo trabalho do Salmon. No entanto, posso, pelo menos, averiguar se o tratamento que Salmon dá para os mecanismos causais, como interações causais e processos causais, estão de acordo com as três exigências humeanas.

Acredito que Salmon conseguiu estabelecer prioridade temporal porque o conceito de interação causal é mais básico do que o conceito de processo causal. Ou seja, é preciso que ocorra alguma interação causal para que a quantidade conservada seja transmitida pelo processo causal. Neste caso, acredito que estamos autorizados a dizer que a causa precede o efeito e, uma vez que, a velocidade da luz é o limite dessa transmissão está descartada a transmissão simultânea. O único momento que ocorre simultaneidade na teoria do Salmon é na interação causal pois os processos se intersectam simultaneamente.

Com respeito a contiguidade no espaço e tempo entendo que entre causa e efeito não há intervalo de tempo que os separe porque assim que ocorre uma interação causal um novo processo causal começa sua trajetória transmitindo uma quantidade conservada. Agora é diferente com o que ocorre no processo causal ele mesmo. Analisando a estrutura interna do processo causal, Salmon entende que não ocorre contiguidade porque a influência causal é transmitida por uma

linha causal contínua onde não há um evento ligado a outro. A definição de Salmon de processos causais como linhas causais não deixa dúvidas quanto a isso.

Por fim, em relação à conjunção constante, vejo que Salmon também é bem sucedido nesse ponto porque basta dizer que os processos causais são governados pelas leis naturais e, como sabemos, tais leis naturais constituem regularidades cuja presença podem ser empiricamente confirmadas. Dessa forma, Salmon acredita que tais regularidades representam exatamente os tipos de constantes conjunções que Hume tinha referido.

## Referências

HUME, David. 1739. *A Treatise of Human Nature*. Ed. L. A. Selby-Bigge. Oxford: Clarendon Press.

KANT, Immanuel. 1781. “Analítica dos Princípios” in *Crítica da Razão Pura*. Versão eletrônica: site [www.dominiopublico.gov.br](http://www.dominiopublico.gov.br), pp. 84-105.

RUSSELL, Bertrand. 1913. “Sobre a noção de Causa” in *Misticismo e Lógica*. New York: W. W. Norton, pp. 180-208.

\_\_\_\_\_. 1948. *Conhecimento Humano, seu Escopo e Limite*. New York: Simon and Schuster.

REINCHENBACH, Hans. 1946. “As distribuições probabilísticas” in *Fundamentações Filosóficas da Mecânica Quântica*. Berkeley: University of California, pp. 5-9.

SALMON, Wesley. 1998. *Causality and Explanation*. New York. Oxford University Press.