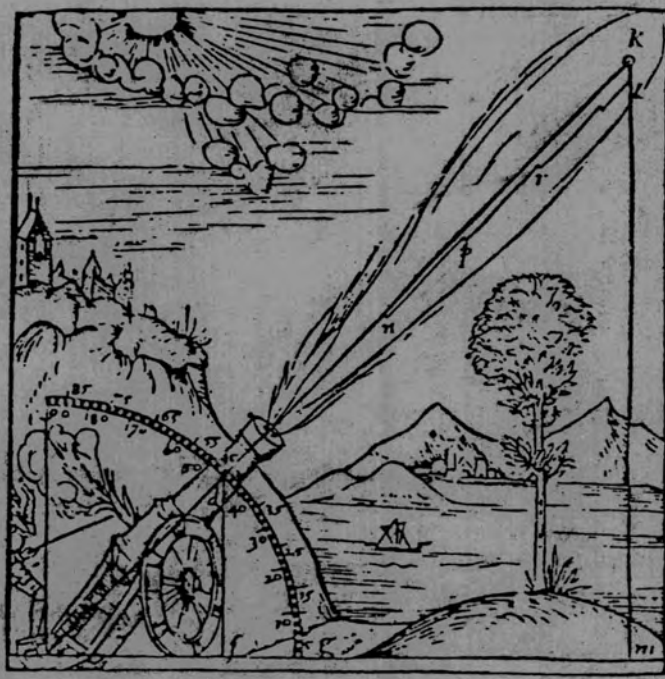


D. Colinvaux de Dominguez

A FORMAÇÃO DO CONHECIMENTO FÍSICO

Um estudo da causalidade em J. Piaget



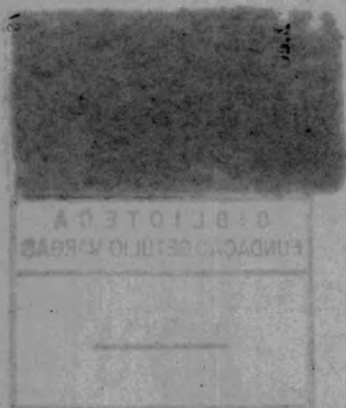
FEU
200
PRETO

Rio de Janeiro

1987

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS

INSTITUTO SUPERIOR DE ESTUDOS E PESQUISAS PSICOSSOCIAIS



A FORMAÇÃO DO CONHECIMENTO FÍSICO

Um estudo da causalidade em J. Piaget

Dissertação de Mestrado
Dominique Colinviaux de Dominguez

- Rio de Janeiro -
1987

Essa dissertação de Mestrado foi orientada pelo Professor Franco L.P. Seminerio (ISOP/FGV).

Esta tese foi defendida em 25 de Maio de 1987, no Rio de Janeiro, e participaram da Banca Examinadora :

- Prof^a M. Celia Dibar Ure
Instituto de Física - Universidade Federal
Fluminense - RJ
- Prof. Franco L.P. Seminério
Instituto Superior de Estudos e Pesquisas
Psicossociais - Fundação Getúlio Vargas - RJ
- Prof. Oswaldo Chateaubriand Filho
Instituto Superior de Estudos e Pesquisas
Psicossociais - Fundação Getúlio Vargas - RJ

- ÍNDICE -

Banca Examinadora	II
Índice.....	III
Agradecimentos.....	IV
Resumo.....	VI
Prefácio.....	VII
Capítulo I - <u>O objeto de estudo</u>	1
Capítulo II - <u>A causalidade física na criança(1927)..</u>	13
Primeira Parte: As idéias de J. Piaget em "La causalité physique chez l'enfant"	15
Segunda Parte : Observações críticas e comentários	39
Capítulo III - <u>A causalidade sensório-motora(1937)</u> (La construction du réel)	53
Primeira Parte: A origem sensório-motora da causalidade: o estudo de J. Piaget	55
Segunda Parte : A origem da causalidade: os es- quemias sensório-motores Análise crítica e comentários..	68
Capítulo IV - <u>As explicações causais (1971)</u>	79
Primeira parte: Uma análise das explicações segundo J. Piaget	84
Segunda parte : As explicações causais: Comentários críticos	110
Capítulo V - <u>A formação do conhecimento físico -</u> Reflexões finais	119
Bibliografia	126
Anexo: As experiências realizadas para o estudo "Les explications causales" (1971)	133

- AGRADECIMENTOS -

Gostaria, em primeiro lugar, de agradecer aos meus pais, Françoise e Pierre, por terem-me apoiado sempre em meus longos estudos. Sem eles, não teria aportado em Gênêve, sem eles não teria descoberto J. Piaget, sem eles esta tese não teria existido.

Gostaria, também, de expressar meus agradecimentos ao Prof. Franco L.P. Seminerio, a quem coube a árdua tarefa de orientar uma aluna assazteimosa. Mas não poderia deixar de agradecer-lhe, ainda, por ter-me introduzido, nos idos dos anos 1981 e 1982, ao meio acadêmico da psicologia brasileira, orientando meus primeiros passos no labirinto burocrático de uma revalidação de diploma, quando retornava eu ao Rio de Janeiro após a conclusão de meus estudos europeus.

Gostaria de agradecer ao Grupo de Pesquisa em Ensino de Física, do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense. E, em particular, à Profa. M.Celia Dibar Ure, que convidou-me há cinco anos para um breve seminário sobre "as operações formais", e com quem venho trabalhando desde então. A ela devo minha iniciação aos estudos e pesquisas em ensino de física, que abriram-me um campo de trabalho, onde pude aliar seriedade e prazer (e ainda, um difícil e trabalhoso curso de Física Básica!). À Celia então, e também à Glória R. P. Queiroz e à Sonia Krapas Teixeira, obrigada pelas longas e pacientes discussões, pelo apoio irrestrito que sempre caracterizaram seu intercâmbio com uma pesquisadora em psicologia cognitiva nos sinuosos caminhos da interdisciplinaridade do ensino e aprendizagem de física.

Não poderia esquecer, dentre os físicos, Profa. Susana de Souza Barros e Prof. Marcos F. Elia, e a equipe do PROMEL (Projeto Melhoria do Ensino de Laboratório), do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que me apoiaram sempre em todos esses longos meses de elaboração desta dissertação. Obrigada também pelas pacientes respostas às minhas inúmeras e inevitáveis dúvidas a respeito dos planos inclinados, da independência dos movimentos, das diferenças entre a geometria e a física de um sistema ...

À Catherine Chauveau, amiga querida e exímia datilógrafa, que comigo compartilhou dos encontros apressados onde se lhe afluíam manuscritos em desordem e indicações que - parece-me, e a responsabilidade é exclusivamente minha - nem sempre obedeceram aos padrões datilográficos estabelecidos para uma dissertação de mestrado.

A todos os amigos e amigas, Edna M. Medici e João Rodrigues, Alice S. Nascimento, Angélica B. Freitas, Célia e José Ernesto Ure, Jean Pierre Colinviaux, a meus sogros Isauro e Carmen Dominguez, e todos os outros ainda que pouco me viram mas acompanharam e compadeceram das emoções inconstantes e atabalhoadas de uma mestranda que escrevia sua tese.

- RESUMO -

No contexto dos estudos psicogenéticos de J. Piaget, as investigações sobre o conhecimento físico abrangem diferentes temas, oriundos predominantemente da mecânica clássica. Há, no entanto, um tema específico que, ainda no contexto dos estudos psicogenéticos, é abordado de forma circunscrita: a causalidade, ou explicação causal, que é entendida por Piaget como sinônimo do conhecimento físico. Este ensaio parte, em uma primeira etapa, dos três textos por ele escritos sobre este tema: "La causalité physique chez l'enfant" (1927); "Le développement de la causalité sensori-motrice", analisado em "La construction du réel chez l'enfant" (1937); e "Les explications causales" (1971). Desta apresentação se depreende a origem e evolução de alguns conceitos básicos de seu modelo teórico, bem como os limites de uma psicologia cognitiva que se volta para o estudo do sujeito epistêmico. Acrescentam-se observações e comentários críticos, originados de pesquisas atuais que, desenvolvidas no contexto do ensino e aprendizagem de física, focalizam as concepções espontâneas ou alternativas em mecânica. Finalmente, aborda-se o tema da formação do conhecimento físico, a partir da perspectiva de uma psicologia cognitiva, baseada em uma análise crítica dos estudos de J. Piaget.

- PREFÁCIO -

O problema da formação do conhecimento físico situa-se, basicamente, na confluência de três disciplinas(*): a física, que provê o arcabouço teórico e conceitual do objeto de conhecimento; a epistemologia, que constitui um corpo de reflexões sobre o conhecimento científico; e a psicologia cognitiva, que busca revelar os processos cognitivos de um indivíduo que se lança à aventura de desvendar e conhecer o mundo que o cerca. O problema da formação do conhecimento físico constitui, pois, um tema de estudo interdisciplinar. E a maior parte dos cientistas preocupados com a formação do conhecimento físico está de acordo em que o enfoque interdisciplinar é imprescindível para o estudo da formação do conhecimento físico.

Mas vários obstáculos devem, ainda, ser discutidos e superados. A questão principal é do âmbito de ação de cada uma dessas disciplinas. Se, por um lado, o domínio de conteúdo é fundamental por parte do físico, é fundamental, também, um profundo conhecimento do sujeito cognoscente por parte do psicólogo cognitivo. Mas se, de um lado, o conhecimento das teorias físicas é tarefa complexa para o psicólogo cognitivo, tarefa igualmente complexa tem se mostrado a compreensão, por parte dos físicos, do corpo teórico da psicologia genética. E assim, revelam-se árduos, para ambos os lados, os caminhos da interdisciplinaridade. Não se trata, de forma alguma, de fazer dos físicos, psicólogos cognitivos, ou dos psicólogos cognitivos, físicos. Trata-se, sim, de delimitar um campo de ação e investigação comum, onde colaborem físicos e psicólogos cognitivos, desenvolvendo uma linguagem própria para os problemas da formação do conhecimento físico.

O ensaio, que aqui se apresenta, aborda o problema da formação do conhecimento físico a partir do enfoque da psicologia genética de

(*) Vale dizer que o problema da formação do conhecimento físico, quando transposto para a situação de sala de aula, em que o aluno tem por tarefa aprender uma matéria que lhe é apresentada através de variados métodos de ensino, passa a interessar uma quarta disciplina: a educação.

J. Piaget: é o ato de conhecer o mundo físico que, portanto, se pretende discutir.

Duas observações, ainda, virão concluir este prefácio.

A escolha da psicologia genética de J. Piaget, para fundamentar este ensaio sobre a formação do conhecimento físico, deve-se, de um lado, a razões subjetivas - minha formação básica na Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação da Universidade de Genebra -, e do outro, ao fato que ela constitui, em seu corpo teórico e experimental, uma poderosa ferramenta de trabalho para o psicólogo cognitivo.

E a escolha do problema da formação do conhecimento físico deve-se também a razões subjetivas: minha experiência, nos últimos anos, junto a dois grupos voltados para o ensino e aprendizagem de física - o Grupo de Pesquisa em Ensino de Física, do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense; e a equipe do PROMEL (Projeto de Melhoria do Ensino de Laboratório), do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Este ensaio assim espera conciliar uma formação em psicologia cognitiva com as discussões atuais, desenvolvidas no campo das pesquisas sobre concepções alternativas em mecânica.

La filosofía está escrita en este grandísimo libro, que continuamente está abierto ante nuestros ojos (hablo del Universo), pero no se puede entender si antes no se aprende a entender su lenguaje y a conocer los caracteres con los cuales está escrito.

Galileo

Sem sujeito, há conhecimento físico ?
Sem conhecimento físico, há sujeito ?

J.A.D.

Comentários e correspondências podem
ser endereçados à Autora :

Dominique Colinvaux

Rua General Mariante, 88 - Aptº 702

LARANJEIRAS

22221 - RIO DE JANEIRO/RJ

BRASIL

- CAPÍTULO I -

O OBJETO DE ESTUDO

1. O problema em estudo: a formação do conhecimento físico

A obra de Jean Piaget comporta uma dupla perspectiva, epistemológica e psicológica. Ao voltar-se para o problema epistemológico do conhecimento, ele pretende romper com a tradicional abordagem filosófica que é dada a este tema, para dar-lhe um tratamento científico.

Os estudos psicogenéticos, ao descreverem o pensamento da criança, oferecem evidências empíricas quanto à origem e formação das categorias e instrumentos de conhecimento próprios ao pensamento científico.

L'épistémologie génétique... (a) la double intention de constituer une méthode apte à fournir des contrôles et surtout de remonter aux sources, donc à la genèse même des connaissances, dont l'épistémologie traditionnelle ne connaît que les états supérieurs, autrement dit certaines résultantes.

Le propre de l'épistémologie génétique est ainsi de chercher à dégager les racines des leurs formes les plus élémentaires et de suivre leur développement aux niveaux ultérieurs jusqu'à la pensée scientifique inclusivement.
(Piaget, 1970, p.6-7)

A relação entre ambas as perspectivas é indiscutível.

O pensamento científico adulto define o estado mais avançado, o ponto de chegada para o qual tende a gênese, e constitui um sistema de referência, ou até mesmo uma norma, para a análise do pensamento na criança. Assim, a lógica, a matemática e as ciências da natureza - em particular, a física - são a matriz, a fonte a partir da qual Piaget delinea as noções que seriam investigadas de um ponto de vista psicogenético. A lógica e a matemática dão origem aos estudos sobre o número, a classe e a série, e ainda aqueles sobre a formulação de leis, o controle de variáveis, e outras características próprias do raciocínio hipotético-dedutivo. Da física, e em particular da mecânica clássica, decorrem as noções de força, velocidade e aceleração, e ainda, aqueles aspectos relacionados com a organização de uma realidade macroscópica: as categorias de espaço e tempo, e de causalidade.

O presente ensaio pretende analisar a formação do conhecimento físico, no contexto dos estudos psicogenéticos desenvolvidos por J. Piaget e seus colaboradores. Nesta perspectiva, pois, focalizaremos, no sujeito - autor e construtor do conhecimento - os processos cognitivos que subjazem à formação do conhecimento físico.

2. Os estudos sobre o conhecimento físico.(*)

Os estudos, desenvolvidos ao longo de 60 anos por J. Piaget e seus colaboradores, a propósito do conhecimento físico, revelam uma vasta gama de interesses. Uma breve análise histórica nos possibilitará indentificá-los e contextualizá-los.

Os primeiros trabalhos de J. Piaget, realizados nos anos 20, estudam o pensamento da criança. Focalizam o raciocínio em seus aspectos lógicos; analisam as representações que tem a criança do mundo que a cerca; e buscam verificar a influência de fatores periféricos, como por exemplo, o meio social ou a linguagem (**). Em "La représentation du monde chez l'enfant" (1926), Piaget propõe o estudo das "crenças infantis" a respeito da natureza do pensamento ou dos sonhos, e também com relação a fenômenos como a noite e os astros, a chuva e os relâmpagos, ou a origem das montanhas, pedras e plantas.

Além do estudo de tais representações ou concepções do mundo, e para completá-lo, Piaget analisa o pensamento infantil quando se manifesta na explicação, quando faz uso das noções de causa, e lei. "La causalité physique chez l'enfant" (1927) trata então de identificar, nas representações a respeito de fenômenos naturais, ou ainda acerca do funcionamento de máquinas, a concepção de causalidade da criança. Estes dois estudos constituem uma primeira aproximação para a análise do pensamento infantil.

(*) Vale mencionar, a esse respeito, a lista de doze publicações apresentada por C. Monnier, por ocasião do "4º Congrès Général de la Société Européenne de Physique" (1978).

(**) O contexto e objetivo das pesquisas iniciais de J. Piaget encontram-se descritos em sua Autobiografia (edição original de 1952; a versão utilizada, em espanhol, é de 1971).

No início da década de 30, Piaget volta-se para o nascimento da inteligência, as raízes da cognição. Nesta época, colheu junto a seus filhos recém-nascidos cerca de quinhentas observações, que fundamentaram os estudos sobre o período sensório-motor. Em "La construction du réel chez l'enfant" (1937), ele analisa a progressiva elaboração das categorias básicas do conhecimento, que resultam numa organização do mundo exterior pelo bebê. Neste texto Piaget estuda, além das categorias de espaço, tempo e permanência dos objetos, a origem da causalidade: focaliza, de um lado, o estabelecimento de uma relação entre fenômenos antecedente e consequente, e do outro, a identificação nas coisas ou no corpo próprio da causa dos acontecimentos.

Os estudos realizados até o início da década de 40, ao evidenciar o papel fundamental da ação do sujeito, resultaram em um método renovado de investigação (*). A partir de então, e até 1955, as investigações visam identificar as estruturas operatórias, e para tanto estudam a gênese de diferentes noções, como o número, a classe e a série, as conservações de substância, peso e volume, tempo e espaço, o acaso, movimento e velocidade, e outras mais (**). A preocupação dominante dos estudos desta terceira época, caracterizada como genético-estruturalista (***), insere-se no contexto do problema epistemológico sobre a origem e formação do conhecimento, e focaliza o papel ativo do sujeito. É nesta época, em nosso entender, que surge a noção de sujeito epistêmico, construção teórica que reúne aquilo que há de comum, e apenas o que há de comum, entre todas as crianças entrevistadas (****).

(*) Piaget, em sua Autobiografia, menciona "uma nova série de experiências que tratavam sistematicamente de problemas de ação (manipulação de objetos), e nas quais os interrogatórios comportavam unicamente condutas de manipulação" (p.43).

(**) As edições originais são: La genèse du nombre (1941); La genèse des structures logiques élémentaires (classes et sériations) (1959); Le développement des quantités physiques (1946); Le développement de la notion de temps (1946); La représentation de l'espace (1948), e La géométrie spontanée (1948); La genèse de l'idée de hasard (1951); Les notions de mouvement et vitesse (1946).

(***) A expressão é de J-J. Ducret (1984).

(****) Vale dizer que, ao focalizar o sujeito epistêmico, Piaget opta por não considerar as diferenças individuais; e a interpretação que daí decorre adquire assim características gerais. O problema da universalidade do modelo teórico de Piaget continua todavia em discussão. A esse respeito, vale mencionar os estudos inter-culturais, desenvolvidos em Geneve por P. Dasen.

Ao final desta época, em 1955, é publicado o estudo sobre as operações formais, condensado em uma única obra (*). Cabe mencionar que este estudo baseia-se, em parte, em experimentos físicos, tais como o pêndulo, a flutuação, o plano inclinado, o movimento horizontal, para realizar uma análise da indução de leis experimentais.

De posse de um conjunto impressionante de dados psicogenéticos, Piaget publica em 1950 uma primeira síntese epistemológica: *Introduction à l'épistémologie génétique*, cujo segundo volume é dedicado ao pensamento físico.

Após o estudo das operações formais, surge novamente, a partir de 1971, o tema da causalidade. Em *"Les explications causales"* (1971), Piaget propõe uma abordagem psicogenética do tema; o estudo sobre *"Les théories de la causalité"* oferece, também em 1971, uma discussão epistemológica, da qual participam físicos como M. Bunge, T.S. Kuhn, F. Halbwachs, e outros ainda.

O problema formulado a propósito das "explicações causais" revela, no entender da escola genebrina, uma nova perspectiva nos estudos psicogenéticos, pois que trata do papel do objeto na formação do conhecimento. Mas, para analisar este problema, é imprescindível focalizar as ciências empíricas ou naturais, como a física, que visam um conhecimento do mundo objetivo. A causalidade é retomada então como um modo de expressão do conhecimento físico, ou ainda, *"en tant que synonyme de l'explication en physique"* (**), que se refere a fenômenos empíricos.

Cabe ainda mencionar, a propósito dos estudos psicogenéticos relativos ao conhecimento físico, as publicações sobre as noções de força e movimento (***). Ao abordar em 1967 o tema de *"L'épistémologie de la physique"* (****), Piaget baseia-se em seus estudos anteriores

(*) *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent* (1955).

(**) Esta é a formulação utilizada por Piaget, em um congresso sobre *"L'explication dans les sciences"*, que deu origem a uma publicação com o mesmo título (1973, p.12).

(***) Sobre a noção de força: *"La formation de la notion de force"* (1973) e *"La composition des forces et le problème des vecteurs"* (1973). Sobre o movimento: *"La transmission des mouvements"* (1972) e *"La direction des mobiles lors de chocs et de poussées"* (1972).

(****) Este texto encontra-se em *"Logique et connaissance scientifique"* (1967).

para analisar "les relations entre le sujet et l'objet dans la connaissance physique". Finalmente, em 1982, surge o estudo sobre "Psicogenesis e História de la ciencia", que oferece uma análise da evolução, histórica e psicogenética, do conhecimento físico e matemático.

3. A causalidade

O estudo da formação do conhecimento físico revela-se uma empreitada de fôlego. É necessário, pois, proceder por etapas, e o presente ensaio constitui, para a autora destas linhas, um primeiro passo. Para tanto, decidiu-se focalizar, dentre os vários temas abordados por Piaget, a causalidade.

Por que a causalidade?

Uma primeira razão para justificar tal escolha baseia-se na clara delimitação do tema da causalidade, em termos de publicações. Com efeito, são três os estudos psicogenéticos por J. Piaget realizados sobre o tema da causalidade:

- 1) "La causalité physique chez l'enfant", publicado em 1927, pertence ao conjunto de trabalhos por ele desenvolvidos na década de 20 sobre o pensamento da criança; este é o primeiro livro de Piaget a tratar da causalidade;
- 2) "La construction du réel chez l'enfant", de 1937, descreve a construção no período sensório-motor das categorias básicas do conhecimento, entre as quais, a da causalidade, analisada no capítulo III desta obra; esta é a segunda publicação referente ao tema da causalidade.
- 3) "Les explications causales", de 1971, apresenta o desenvolvimento da explicação causal nos períodos pré-operatório, das operações concretas, e formais; esta é a terceira e última publicação relati-

va a uma abordagem psicogenética da causalidade.

Cabe ainda mencionar as discussões sobre "Les théories de la causalité" (1971), e "L'explication dans les sciences" (1973), que adotam uma perspectiva epistemológica, e apresentam o ponto de vista científico - e mais particularmente da física - sobre o assunto. Precisamente por esta razão, e enquanto contribuem para a definição do ponto de chegada de uma evolução psicogenética, estas discussões virão complementar a apresentação que faremos dos estudos psicogenéticos da causalidade.

Vale adiantar, desde já, que cada um dos estudos de J. Piaget sobre a causalidade será objeto de um capítulo de nosso ensaio: o capítulo II será dedicado a "La causalité physique chez l'enfant" (1927); o capítulo III abordará "Le développement de la causalité" (1937), no período sensório-motor; e o capítulo IV tratará de "Les explications causales" (1971).

Mas é preciso, ainda, justificar a escolha do tema da causalidade, no contexto de um ensaio que se propõe o problema da formação do conhecimento físico.

A causalidade trata da noção de causa, e a busca de relações causais conduz à explicação. Quando aborda o problema da explicação em ciências, Piaget (1973) faz da causalidade um sinônimo da explicação em física. Aponta-nos assim o contexto de referência a partir do qual estuda a gênese da causalidade na criança: as relações causais por ele analisadas, as explicações por ele investigadas referem-se, de um lado, a fenômenos naturais ou a problemas físicos. Mas, por outro lado, ao tomar a explicação em física como contexto de referência, ele indica-nos quais as características da explicação causal que pretende focalizar em seus estudos psicogenéticos. Cabe aqui determo-nos um pouco. Entendemos, em primeiro lugar, que a explicação em física confunde-se com a própria física (ou pelo menos parte dela) pois que a física busca precisamente a causa dos fenômenos (*) - seja quando pergunta a razão de ser de uma

(*) A esse respeito, vale mencionar as discussões, por exemplo de Kuhn (1971) e Moreira Xavier (1986), sobre a natureza das causas - eficientes e formais, segundo as expressões que se originaram com Aristóteles - empregadas na física. Vale mencionar também a análise das explicações em física de Halbwachs (1971 (b) e 1973), que propõe distinguir três tipos básicos de explicações: as explicações formais ou homogêneas, que se baseiam em uma relação entre as variáveis de um sistema físico, e situam-se no âmbito desse sistema; as explicações causais ou heterogêneas, que atribuem a causa de um fenômeno (o sistema físico estudado) a um agente externo ao sistema; e as explicações profundas ou "bathygênes", evidenciadas nos casos em que se distinguem diferentes níveis de descrição/explicação para um fenômeno.

regularidade, seja quando investiga as exceções às regularidades (as "anomalias", diz Kuhn (1971, p.14)). Ora, os estudos psicogenéticos de J. Piaget têm por objetivo evidenciar e identificar os passos ou etapas que conduzem ao conhecimento científico:

el conocimiento científico no es una categoría nueva, fundamentalmente diferente y heterogênea con respecto a las normas del pensamiento pre-científico y a los mecanismos inherentes a las conductas instrumentales propias de la inteligencia práctica. Las normas científicas se situan en la prolongación de las normas de pensamiento y de prácticas anteriores, pero incorporando dos exigencias nuevas: la coherencia interna (del sistema total), y la verificación experimental (para las ciencias no deductivas). (Piaget & Garcia, 1982, p.31)

Por essa razão, quando aborda em 1971 o estudo das explicações causais - que apresentamos no capítulo IV deste ensaio - Piaget focaliza precisamente os aspectos que caracterizam as explicações em física. E como as explicações em física são constitutivas do conhecimento físico em sua expressão científica, as características cuja gênese psicológica Piaget pretende evidenciar são aquelas que, segundo ele, são próprias do conhecimento físico. Mas se a referência à explicação em física fundamenta em particular a análise de 1971 sobre as explicações causais, também o estudo de 1927, que focaliza a noção de causa na criança, utiliza-se da referência ao conhecimento físico - ié empírico - e o capítulo II deste ensaio, dedicado a este estudo de 1927, o mostrará. A análise da causalidade sensório-motora (1937) tratará, por sua vez, do estabelecimento de uma relação causal, enquanto supõe um antecedente e um conseqüente, e comporta eventuais intermediários localizados espacialmente.

Mas há, ainda, uma terceira razão, para a escolha do tema da causalidade: o atual debate, travado no contexto das pesquisas em ensino e aprendizagem de física (*), a propósito da psicologia genética de J. Piaget.

A preocupação com o ensino de ciências deu origem, a partir dos anos 70, a uma corrente de pesquisas desenvolvidas no contexto do ensino e aprendizagem da física, que investiga as idéias, concepções ou explanações pessoais dos alunos a respeito de diferentes

(*) Cabe observar que referimo-nos, neste ensaio, às pesquisas desenvolvidas sobretudo na Europa, e no Brasil, e não às realizadas nos Estados Unidos.

temas da física. Tais concepções diferem das interpretações científicas para os mesmos temas, mas não se reduzem a erros, facilmente corrigíveis em sala de aula, pois que tendem a persistir, em grande parte, após e apesar do ensino formal. Várias denominações foram, e são até hoje empregadas para descrever estas concepções: física da criança ou física intuitiva, noções espontâneas, conceitos ou concepções alternativas, "misunderstandings" ou "misconceptions", etc. Vale dizer que neste ensaio, utilizar-se-ão as expressões concepções espontâneas ou concepções alternativas.

Se estas pesquisas são desenvolvidas no contexto do ensino e aprendizagem de física, elas comportam inegavelmente uma dimensão propriamente educacional. Mas a partir do momento em que surgem as perguntas de como se originam, ou através de que processos se elaboram as concepções alternativas em física, configura-se um problema para a psicologia cognitiva.

E assim, ao mesmo tempo que se identificavam e caracterizavam as concepções alternativas dos alunos, definiram-se as primeiras preocupações teóricas: era preciso proceder, entre outras tarefas, a uma análise crítica das contribuições oriundas da psicologia cognitiva, enquanto oferecessem referenciais teóricos adequados, ou não, à problemática e aos dados da pesquisa em ensino de física.^(*)

Nesse contexto, a teoria de J. Piaget, em particular, vem sendo discutida (**), em seus pressupostos, e poder explicativo: o sujeito epistêmico da psicologia genética constitui uma boa aproximação para o estudo do aluno que aprende física? A psicologia e epistemologia genéticas oferecem uma explicação para as regularidades observadas quanto às respostas dos alunos? Podem elas dar conta da passagem de uma determinada concepção para outra?

Além destas e outras perguntas relativas ao conjunto de trabalhos por Piaget desenvolvidos, os estudos sobre o tema da causalidade também tem sido objeto de discussão, e mais particularmente para

(*) Pope & Gilbert (1985) propõem por exemplo uma análise da perspectiva construtivista do psicólogo americano G. Kelly.

(**) Ver, por exemplo, as análises de R. Driver (1978): When is a stage not a stage? A critique of Piaget's theory of cognitive development and its application to science education; M.C. Dibar Ure (1987); M.C. Dibar Ure & D. Colinviaux (1987): Concepções espontâneas e Piaget - uma análise crítica; J.K. Gilbert & D.J. Swift (1985): Towards a Lakatosian analysis of the Piagetian and alternative conceptions research programs.

alguns pesquisadores brasileiros (*). É neste contexto então, da pesquisa do ensino e aprendizagem da física, que um estudo da causalidade em J. Piaget se mostra relevante.

4. Organização e limites deste ensaio

O problema que se propõe este ensaio concerne a formação do conhecimento físico, e a perspectiva, o enfoque adotados, conduzem ao estudo da causalidade em J. Paiget.

Ao abordar o problema da formação do conhecimento físico, limitar-nos-emos aos temas da mecânica clássica: é esta área da física que, com efeito, Piaget focaliza predominantemente em seus estudos psicogenéticos (**). Por outro lado, as pesquisas sobre concepções alternativas desenvolvidas no contexto do ensino e aprendizagem de física também investigam, em grande parte, o domínio da mecânica clássica (***).

E o problema da formação do conhecimento físico será abordado, no contexto da psicologia genética, através do estudo da causalidade, tema claramente circunscrito e delimitado.

Assim, o capítulo II deste ensaio inicia o estudo da causalidade,

(*) Podemos mencionar, por exemplo, as dissertações de Mestrado de J. Filocre (apresentada recentemente em São Paulo): A teoria de J. Piaget como sistema de referência para a compreensão da "física intuitiva"; ou de C. Mariani (em andamento): Dinâmica dos conceitos intuitivos nos problemas de colisões; ou ainda, as discussões de J.L.A. Pacca: A física intuitiva e o desenvolvimento da causalidade, ou de S. Krapas Teixeira: A noção de peso (Tese de doutorado, em andamento).

(**) Vale dizer que em sua análise das "Explications causales" (1971), Piaget propõe problemas outros que os da mecânica clássica (em Anexo está a lista destes problemas). No entanto, pode-se afirmar que a grande maioria dos estudos sobre a formação do conhecimento físico restringem-se aos problemas da mecânica clássica, e tratam das noções de movimento, força, aceleração.

(***) A esse respeito, ver os artigos de revisão de pesquisas de L. Mc Dermott (1984) e A. Zylbersztajn (1983).

apresentando o texto de 1927 sobre "La causalité physique chez l'enfant". O capítulo III dedica-se à análise da causalidade sensorio-motora, tal como exposta em "La construction du réel chez l'enfant", publicação de 1937. O capítulo IV, enfim, trata do desenvolvimento das explicações causais nos períodos pré-operatório, das operações concretas, e formais, e para tanto baseia-se no texto de 1971 sobre "Les explications causales".

O método de trabalho.

Nosso método de trabalho dividirá cada um destes três capítulos em duas partes. A primeira objetiva uma exposição das idéias de J. Piaget, tais quais ele as revela em seus escritos. Nesse sentido, nosso ensaio consiste, em uma primeira etapa, de uma narração que, refreando todo comentário crítico, acompanha passo a passo os textos originais, espelhando desse modo o pensamento de J. Piaget quando desenvolvendo o tema da causalidade, quando refletindo e argumentando sobre o assunto. Esta primeira etapa, que corresponde à primeira parte de cada capítulo, não reflete portanto as idéias da autora deste ensaio; mas, constitui a matéria prima, a evidência empírica a partir da qual elaborar-se-ão as observações e comentários críticos.

A segunda etapa de cada capítulo parte então desta primeira exposição, para trazer as reflexões da autora a propósito das idéias de J. Piaget. Nesta segunda etapa, utilizar-se-ão ainda os resultados das pesquisas atuais sobre concepções alternativas em mecânica, desenvolvidas no contexto do ensino e aprendizagem da física. Vale lembrar que, ao assim fazer, estaremos adotando a perspectiva que focaliza, no sujeito cognoscente, os processos que subjazem à formação do conhecimento.

Esse método de trabalho tem várias razões de ser.

Em primeiro lugar, responde a uma necessidade subjetiva, a necessidade de compreender as idéias de J. Piaget a propósito da causalidade. Entendemos que uma compreensão real exige, em um primeiro momento, um mergulho nos textos originais, para identificar o contexto em que foram escritos, para revelar pressupostos e intenções frequentemente implícitos, para desvendar, sobretudo, as limitações que o autor ele próprio estabeleceu para seus estudos; e só então, torna-se possível proceder a uma análise crítica.

Mas também, ao colocar lado a lado os três estudos de J. Piaget sobre a causalidade na criança, realizados ao longo de um intervalo de quase cinquenta anos, obtem-se uma perspectiva histórica, que possibilita a contextualização de cada um desses estudos, bem como uma análise da origem e evolução das idéias e conceitos da psicologia genética - que fundamentam em particular o estudo, em nosso entender assaz complexo, publicado em 1971 a propósito das explicações causais.

Esse método de trabalho então contribuirá - assim o esperamos - para uma clara exposição do tema da causalidade que, já o mencionamos anteriormente, constitui entre outros aspectos um problema central nas discussões sobre a formação do conhecimento físico.

E, para completar nossas observações quanto à organização deste ensaio, o capítulo V retornará ao problema da formação do conhecimento físico. Partindo de uma análise crítica da psicologia cognitiva de J. Piaget, e utilizando as reflexões originadas das pesquisas sobre concepções alternativas em física, este capítulo final apresentará algumas de nossas reflexões quanto aos processos cognitivos envolvidos na formação do conhecimento físico.

- CAPÍTULO II -

A CAUSALIDADE FÍSICA NA CRIANÇA (1927)

O primeiro estudo sobre a causalidade na criança foi publicado em 1927, com o título "La causalité physique chez l'enfant".

Nele, o jovem Piaget revela suas qualidades de naturalista (*): à riqueza das observações, colhidas em entrevistas que exigem toda uma arte de interrogar (*), ele alia a delicada tarefa de organizar e classificar o material, para dele fazer brotar, enfim, uma interpretação da inteligência infantil. Acrescentaremos, de nossa parte, que os primeiros trabalhos de Piaget, aqueles editados nos anos 20, lêem-se com muito prazer, e proveito. Ali, encontramos a origem dos conceitos e pressupostos que fundamentariam mais tarde seu modelo teórico; ali desvendamos seu método de trabalho e investigação; ali, enfim, nos é oferecido o pensamento vivo de crianças reais.

Nosso método de trabalho neste capítulo consistirá, em uma primeira etapa, em apresentar as idéias, observações e interpretações de Piaget, tal como ele as registrou em seu texto original. Ao transcrever assim o pensamento de Piaget, não pretendemos esposar suas teses, mas tão somente revelar como trabalha. Nossa intenção, em outras palavras, é identificar seus pressupostos, e mostrar como ele elabora, passo a passo, uma interpretação da causalidade infantil para, em sua conclusão enfim, defini-la.

Reservaremos, para uma segunda etapa, nossas observações críticas e comentários, esperando assim esclarecer nossa posição com relação ao texto original de Piaget.

Este capítulo II de nosso ensaio divide-se então em duas partes. A primeira transcreve as idéias de J. Piaget, a propósito da causalidade física na criança. A segunda parte pretende uma análise crítica, a partir das discussões contemporâneas sobre as concepções físicas de crianças e adolescentes.

(*) Ambas as expressões são de E. Claparède, que as utiliza ao prefaciар "Le langage et la pensée chez l'enfant", cuja edição original é de 1924.

- PRIMEIRA PARTE -

As idéias de J. Piaget em
"La causalité physique chez l'enfant"

1. Contexto e Objetivo

O objetivo de Piaget, ao analisar "La causalité physique chez l'enfant" (*), é dar prosseguimento aos estudos iniciados em "La représentation du monde chez l'enfant" (**).

Ali, o pensamento da criança se expressa a respeito de objetos ou fenômenos naturais, tais como nuvens e astros, a noite, a chuva e os relâmpagos, as árvores e as montanhas, etc; e sobre fenômenos humanos como o pensamento e os sonhos, ou os nomes atribuídos às coisas.

Delineam-se então três características principais do pensamento infantil: o realismo, o animismo, e o artificialismo.

Frequentemente combinadas em uma única resposta, estas características definem uma visão de mundo essencialmente antropomórfica:

"les mouvements sont dirigés vers un but parce que les mouvements propres sont ainsi orientés: la force est active et substantielle parce que telle est la force musculaire; la réalité est animée et vivante; les lois naturelles tiennent de l'obéissance, bref tout est calqué sur le modèle du moi" (Six études, 38) (***).

O realismo é a "confusão do pensamento e das coisas, ou do eu e do mundo exterior" (RM, 125). Resulta numa concepção da realidade em que, "a criança não tendo ainda consciência de sua subjetividade, todo o real está disposto em um plano único por confusão dos dados externos e dos dados internos" (RM, 137). Os caracteres, de fato subjetivos, são localizados nas coisas, como se delas emanassem: a alma, o pensamento ou os sonhos materializam-se; são vozes, vento, fumaça, hálito.

(*) Piaget, J. "La causalité physique chez l'enfant". As referências a esta obra utilizarão o símbolo "CP", seguido da página em que se encontra a citação.

A publicação original, em francês, data de 1927. A edição aqui empregada é espanhola: Madrid, Espasa-Calpe, 1937.

(**) Piaget, J. "La représentation du monde chez l'enfant".

Símbolo utilizado: "RM".

Publicação original, em francês, de 1926. Edição aqui empregada : Record, sem data.

(***) J. Piaget. "Six études de psychologie". (Paris, Denoel Conthier, 1964). Símbolo utilizado: "Six études".

E reciprocamente, a realidade externa anima-se: o animismo consiste em "dar vida e consciência aos seres inanimados" (RM, 111); é "la tendance à concevoir les choses comme vivantes et douées d'intentions" (Six études, 35).

O artificialismo expressa "la croyance que les choses ont été construites par l'homme ou par une activité divine oeuvrant à la manière de la fabrication humaine" (Six études, 37).

Os estudos sobre "La causalité physique chez l'enfant" terão por objetivo identificar e verificar a existência destas três características, não mais com relação a uma concepção ou representação do mundo, e sim no que concerne mais particularmente à causalidade física.

2. A organização do livro : Os problemas

Assim é que o estudo da causalidade física aborda, em uma primeira etapa, a explicação do movimento. Para isso, são investigados temas que interessam espontaneamente às crianças (*), como a natureza e a origem do vento, o movimento dos corpos celestes, o mecanismo da respiração. Todos eles têm em comum a característica de evidenciar e conter o problema do movimento - movimento do vento, ou dos objetos no vento - e "a explicação do movimento é o ponto central para o qual tendem a convergir todas as representações infantis do mundo" (CP, 66). Estreitamente vinculada a este tema, e central para a causalidade física na criança, surge a noção de força, cuja definição e caracterização concluem os estudos desta primeira etapa.

O exame das relações entre previsão e explicação possibilitam em um segundo momento, analisar como a criança concebe legalidade e causalidade. Experiências como a de flutuação de objetos diversos,

(*) "Pour savoir comment le petit enfant pense spontanément, il n'est pas de méthode plus instructive que d'inventorier et d'analyser les questions qu'il pose, souvent à foison, presque aussitôt qu'il parle" (Six études, 33). Esta análise foi realizada, e seus resultados apresentados em "A linguagem e o pensamento na criança" (publicação original de 1924. Edição utilizada: São Paulo, Martins Fontes, 1986).

ou o problema da origem das sombras são então trabalhados.

Uma terceira parte investiga o funcionamento de máquinas, focalizando os mecanismos que explicam como ou por que andam bicicletas, trens e aviões, ou um motor a vapor (e não é aqui abordada).

Finalmente, as respostas obtidas para estes diversos temas resultam numa análise de como a criança concebe a realidade, e dos inúmeros tipos de causa utilizados. O estudo da explicação causal enquanto se refere a fenômenos naturais, fundamenta uma interpretação psicológica das relações entre pensamento e realidade.

3. A explicação do movimento : os dados

O estudo das "representações infantis a respeito do ar, de seu movimento e de sua origem" leva à análise de "movimentos naturais, como o dos astros, das nuvens e dos rios", que "são considerados pela criança como produzidos pelo vento". No entanto, e por paradoxal que pareça, o próprio vento "é frequentemente imaginado como produzido, por sua vez, pelas nuvens em movimento, pelas ondas, etc" (CP, 12). Há aí uma contradição, a ser investigada.

Um primeiro problema é estudado. Estamos em uma sala. Ao bater palmas, produzimos vento. De onde vem este vento?

As respostas mostram que a criança (de 5;4 anos em média) (*), admite inicialmente que o ar é produzido pelas próprias mãos, mas que não há ar na sala. Além do mais, esta produção provoca uma entrada de ar, proveniente da rua, e isso mesmo quando as janelas estão fechadas. Só existe ar em movimento: é o vento. Há portanto uma identificação material, uma identidade entre o ar que está fora, na rua, e o ar produzido pelas mãos. Consequentemente, ambos participam da explicação. E "aos olhos da criança, basta agitar as mãos

(*) A idade média mencionada pelo autor é obtida calculando-se a média estatística das idades das crianças que apresentam um mesmo tipo de resposta (ver CP, 37-38). Vale mencionar que outro estudo da mesma época (Piaget, J. A linguagem e o pensamento na criança), também utiliza com certa frequência análises estatísticas, atitude que foi mais tarde abandonada.

para que o vento acorra..." (RM, 120).

Um pouco mais tarde, em torno dos 7 anos, a produção de ar que se origina no bater palmas, provem do próprio corpo, saindo da pele (o ar está no corpo, dentro do corpo). Há então um depósito de ar, imóvel, localizado no interior do organismo.

Em uma terceira etapa, a criança de 8 anos em média, acredita na existência do ar na sala, e o bater palmas provoca a agitação deste ar. O movimento das mãos é então uma das causas do movimento do ar. Todavia a hipótese de que não existe ar na sala não impede que o movimento das mãos crie assim mesmo o ar. Permanece portanto a crença de que as mãos podem criar o vento.

Finalmente em uma quarta etapa, com 9 anos em média, a criança distingue o ar imóvel e sempre presente, do ar em movimento. Afirma assim a existência permanente e necessária do ar imóvel, que é colocado em movimento pela agitação das mãos.

A análise das respostas para o problema do movimento de um projétil permitem aprofundar as relações entre ar e movimento. A pergunta - já formulada por Aristóteles - indaga agora sobre o porquê do movimento de uma bola que, lançada pelo experimentador, continua avançando antes de cair.

As respostas em diferentes idades mostram que de início a criança não entende a pergunta, e "declara simplesmente que, se a bola avança, é porquê a jogaram" (CP, 29). Em torno dos 7 anos, dirá que a bola, ao avançar, produz ar; e que este ar atrai o ar do céu, que a sustenta, não a deixando cair (CP, 30). Mais tarde, com 9 anos em média, a criança afirma que, ao mover-se, a bola produz ar (que pode não existir na sala), e é este ar que a empurra (CP, 30). Com 10 anos, a criança acredita que o movimento da bola agita o ar da sala, que volta para trás da bola, empurrando-a. Sem ar na sala, a bola cairia imediatamente.

Finalmente, a criança de 11-12 anos explica o movimento da bola pelo impulso que lhe é dado, e agora o ar é visto como inibindo e não mais favorecendo seu avanço.

Duas observações do autor.

A primeira diz respeito à semelhança entre as explicações dadas pelas crianças, e a interpretação aristotélica do mesmo fenôme-

no (*).

De fato, a resposta de Aristóteles ao problema de por que um projétil, abandonado a si mesmo, continua avançando em vez de cair imediatamente ao chão, baseia-se na idéia que o movimento do projétil cria uma corrente de ar que o impulsiona, empurrando-o para a frente. Esta explicação foi caracterizada como uma antiperistasis, isto é, "a ação de duas qualidades contrárias em virtude da qual se aumentam em força, ao invés de diminuir, ou uma delas excita com sua oposição o vigor da outra" (CP, 28).

Ora, esta é também a explicação apresentada pelas crianças de 9-10 anos, e que portanto possui essa mesma característica antiperistática.

A segunda observação refere-se à utilização das noções de impulso e força. O movimento do projétil é causado pelo impulso que lhe é dado (GAL, 10;2 anos - CP, 30); ou pela força do atirar, que parece confundir-se com a força do vento (TAC, 9 anos - CP, 30); ou ainda, o movimento se prolonga, continua, por causa do "resto da força", ou "o quê sobra do impulso" (DESP, 12;1 anos - CP, 31). Segundo Piaget, "a concepção do impulso, bastando-se a si mesmo, é posterior, do ponto de vista genético, à hipótese de uma corrente de ar que vem empurrar o projétil" (CP, 31). Supõe então que "graças à influência do sentido comum contemporâneo (formado pela indústria e habituado ao princípio de inércia graças ao maquinismo) as crianças de 11-12 anos ultrapassaram o que constitui o fundo do sentido comum da física grega" (CP, 31).

Estas idéias encontram-se confirmadas pelo estudo da força centrífuga (CP, 33), em que se mostra à criança como uma moeda, colocada em uma pequena caixa, à qual se amarra um barbante para fazê-la girar (no eixo vertical e depois no plano horizontal), não cai ao chão. As respostas aqui obtidas indicam que a idéia de um refluxo de ar produzido pela rotação da caixa é novamente utilizada pelas crianças.

Estas diversas experiências evidenciam uma concepção infantil do ar

(*) A análise da comparação das respostas infantis e adolescentes com as interpretações oferecidas ao longo da história da física, é tratada por Piaget et Garcia em anos recentes (ver "Psicogênese e História de la Ciencia, 1982). Também os estudos sobre concepções alternativas em física, desenvolvidos no contexto do ensino e aprendizagem de física, abordam este tema (ver por exemplo: Boido, 1985; Lythott, 1984; Saltiel & Viennot, 1984; Viennot, 1979).

enquanto a "substânciação ou reificação... do impulso ou do movimento" (CP, 40) (*). Inicialmente, o ar surge do nada, e é produzido pelo movimento de algum objeto. Existe apenas enquanto há movimento, e quando este acaba, volta ao nada, deixa de existir. Estas idéias evoluem, para chegar a uma concepção do ar enquanto substância repartida por todos os lugares, que está imóvel, mas pode ser agitada.

As indagações sobre a origem do vento, o movimento das nuvens e astros, a formação de ondas em um lago, ou o movimento dos rios, possibilitam a caracterização da causalidade na criança.

O artificialismo.

"O vento é produzido pelo homem ou por Deus, graças ao sopro ou a máquinas especiais" (1a. etapa, idade média de 5 anos - CP, 41-42). O artificialismo manifesta-se na idéia de fabricação, mas outras causas podem também ser encontradas na natureza: o vento é produzido às vezes pelo movimento das nuvens, das árvores ou das ondas (2a. etapa, 8 anos). A explicação infantil comporta uma multiplicação de causas possíveis, que participam simultaneamente do fenômeno, e evidencia uma inversão em que os efeitos (agitação das ondas e árvores, movimento das nuvens) tornam-se causas do vento.

O animismo.

"O vento é vivo, é um sopro; ele se move, viaja pelos céus, sopra sobre a Terra" (CP, 54-56; respostas de crianças de 7,9 e 10 anos). A esta concepção acrescenta-se (em torno de 9-10 anos) a idéia de refluxo: o vento empurra-se a si mesmo, o ar de trás empurra o ar da frente. Também os corpos celestes possuem certa espontaneidade de movimento. E esse movimento próprio não se distingue daquele determinado por fatores externos. Combinam-se então causas

(*) A interpretação do ar como substanciando o movimento pode ser esclarecida quando situada no contexto do pensamento realista: se fenômenos como o pensamento ou os sonhos (estudados em RM) são concebidos como coisas (vozes, hálito, etc) objetivas e materiais, o ar é então a representação objetiva e material do impulso e do movimento. Resta saber se esta concepção do realismo, evidenciada a propósito de fenômenos humanos, pode estender-se a fenômenos naturais. O exemplo de frio (RM, 260-263) sugere uma resposta afirmativa, pois que o frio é identificado como uma substância, que pode até mesmo ser fabricada.

internas e externas.

A natureza da causa: origem interna e externa.

Aos 6 anos, uma concepção ao mesmo tempo artificialista e animista do movimento das nuvens, pretende que os homens as obrigam a andar; mas elas podem obedecer, ou não, a esta imposição. Delinea-se uma relação de pessoa a pessoa, que se transforma depois, aos 7 anos, em uma relação entre as próprias coisas. Tal relação não é todavia inteiramente física pois supõe a utilização de meios morais ao mesmo tempo que físicos: o sol, por exemplo, é forte, e obriga as nuvens a mover-se, "como a polícia com os vagabundos" (CP, 71). A causa permanece interna (as nuvens submetem-se ou não), e externa (o sol impõe), e o animismo combina-se ao finalismo às vezes. As nuvens vêm por que está na hora de anoitecer, e movem-se para o bem-estar dos homens.

Com 7-8 anos, aparecem os primeiros indícios de um determinismo físico: a ação de fatores externos (como o vento) torna-se necessária para explicar o movimento de corpos celestes. Superpõem-se a estas causas físicas, agora indispensáveis, aquelas outras, morais e finalistas, ou ainda a idéia antiperistática de um refluxo de ar produzido pelo movimento.

Mas encontra-se aí a base para uma causalidade propriamente física, cujos primeiros indícios aparecem aos 9 anos e meio, para substituir o determinismo animista e finalista, de natureza moral.

A formação das ondas ou a corrente dos rios, obedecem a esta mesma evolução, e explicam-se agora pela influência do vento ou pela inclinação do leito do rio.

4. A explicação do movimento e a noção de força: uma interpretação

À explicação do movimento - que Piaget chama dinamismo infantil(*) - está associada a noção de força.

Para "o sentido comum contemporâneo", a passagem de um estado de repouso para um estado de movimento, ou vice-versa, não se dá

(*) Vale observar que Piaget dá à essa palavra um sentido distinto daquele usado pela Física. Para a Física, a dinâmica estuda as causas do movimento; Piaget caracteriza como dinâmica uma interpretação animista do movimento, inserida em uma concepção de mundo em que o movimento define a vida, e todo corpo possui força.

espontaneamente, mas é condicionada por agentes externos. Explicar o movimento, para o adulto ou o leigo, consiste então em buscar as causas e condições para esta transformação de estado.

Mas, para a criança, "todo movimento... tem vida, vontade, atividade e espontaneidade" (CP, 117). O mundo natural é animado e cheio de intenções. A natureza é povoada de forças vivas, e obedece a certos fins. As causas de um movimento são múltiplas e exigem "a participação global de influências distintas" (CP, 117).

Vida é movimento, atividade: é vivo tudo aquilo que se mexe. As pedras rolam, os rios correm, os animais se movem, o fogo estala, a chuva cai, as bicicletas andam, a vela ilumina, o fogão serve para cozinhar (*).

"Os movimentos são considerados como conscientes e emanando de corpos vivos" (CP, 118).

As forças em um mundo assim concebido, são "vivas e substanciais" (CP, 118). A matéria tem vida, e vida significa força. O corpo tem de possuir força para agir e cumprir seu papel. Toda substância tem força, uma força própria que lhe pertence de direito, que não é adquirida ou transmitida. É esta força que lhe concede a capacidade de movimentar-se, característica básica da própria vida.

Nesta interpretação animista, vida, movimento, e força, se identificam e confundem. Por isso a criança "define a força exatamente igual... a como define a vida" (CP, 121). Assim, à medida que evolui o conceito da vida, também evolui a noção de força. E o desaparecimento progressivo do animismo fará da noção de força "a herdeira de todos os caracteres primitivamente atribuídos à vida" (CP, 122).

Nesta concepção, tampouco há espaço para o acaso: todos, seres animados e inanimados, agem com alguma intenção.

"Il n'y a pas de hasard dans la nature, parce que tout est "fait pour" les hommes et les enfants, selon un plan établi et sage dont l'être humain constitue le centre" (Six études, 34. A propósito da análise dos "porque" infantis).

O acaso se opõe então à intencionalidade. A necessidade não é física, mas essencialmente moral; o determinismo moral suplanta o determinismo físico. Manifesta-se na sujeição às exigências de

(*) A interpretação do conceito de vida enquanto movimento e atividade é apresentada e discutida em detalhes em "A representação do mundo na criança" (RM), Cap. VI, pp. 159-168.

funcionamento de um mundo ordenado, servindo ao bem-estar do ser humano. A motivação é considerada a "única explicação possível" (CP, 121), em detrimento de causas mecânicas.

A trilogia vida-movimento-força, própria ao pensamento infantil em suas origens animistas, resulta em uma concepção dinâmica do movimento. A esse dinamismo inicial, para o qual "seguem existindo nas coisas, forças suscetíveis de explicar sua atividade e seus movimentos" (CP, 246), Piaget opõe um "mecanismo" definido pela identificação e utilização de causas propriamente físicas, cuja influência se manifesta através do contato ou da transmissão. Esta concepção mecânica supõe distinguir o movimento próprio de um corpo - o pássaro que voa, a criança que corre - do movimento determinado por agentes externos - as nuvens empurradas pelo vento, a bicicleta que avança porque pedalamos. É portanto a capacidade de identificação de uma causa externa indispensável, não mais revestida de características animistas ou finalistas, que define uma causalidade propriamente física. Com o abandono de uma mentalidade animista e artificialista, a criança admitirá "uma causalidade mecânica à base de inércia" (CP, 118).

Resta ainda analisar a origem da noção de força.

Tal análise é realizada a partir da interpretação de Maine de Biran, que para tanto utilizou o método da introspecção. Segundo este autor, a experiência subjetiva do esforço, fundada na intuição primária ou direta do Eu, está na origem da noção de força, que é então, e posteriormente, transferida para os objetos.

Os estudos psicogenéticos contradizem esta interpretação. Assim, a ausência de uma consciência subjetiva - diferenciando o Eu e o mundo, e evidenciada no realismo infantil que atribui à realidade externa características subjetivas - torna impossível uma intuição primária do Eu. Tampouco parece encontrar confirmação a idéia de uma etapa posterior ou secundária, em que é transferida para os objetos uma força originada na experiência do esforço próprio: de fato, a concepção infantil, animista, percebe primeiramente um mundo exterior pleno de forças. E é apenas enquanto o sujeito se constitui como Eu dissociado do mundo, que "diminui em extensão a idéia de força" (CP, 128), e portanto, que se nega aos objetos a

propriedade de possuir força, essa força que os caracteriza como sendo intencionais e lhes dá a capacidade de mover-se. "A aquisição progressiva da consciência infantil coincide com o processo de negação de força ao mundo exterior" (CP, 128).

Assiste-se então à uma inversão da ordem proposta por Maine de Biran, sem no entanto rejeitar a idéia de que a noção de força se origina na experiência subjetiva do esforço. De fato, todo pensamento é produto de uma experiência sensível, de um "aporte externo", e ao mesmo tempo originado no próprio organismo e nos seus esquemas motores. Nesta interpretação, para a qual a realidade externa é assimilada graças aos esquemas, "a noção de força pode ser considerada como um dos possíveis esquemas de assimilação" (CP, 130).

A análise da causalidade infantil relativa à explicação do movimento baseia-se claramente na idéia de uma indiferenciação inicial entre o Eu e o mundo, o sujeito e as coisas, o que é interior e exterior. Tal indiferenciação, lembrada a propósito da origem da noção de força, se refere aqui à pequena infância, que se estende até a idade de 7-8 anos(*). É através desta indiferenciação inicial que se explicam a multiplicidade de causas, localizadas na realidade natural ou participando de uma realidade humana ou divina, e a bipolaridade sempre presente de um objeto dotado de vida, vontade e intenção, que se submete às exigências morais e depois físicas de agentes externos. Será então o estabelecimento progressivo de um Eu dissociado das coisas, com caracteres próprios e específicos, que possibilitará negar, subtrair, propriedades animistas ou antropomórficas da vida à realidade natural. É na medida em que o sujeito se constitui em si mesmo e vive a sensação de esforço, que a explicação do movimento se tornará mecânica e física.

5. Previsão e explicação

O estudo da causalidade física prossegue com a análise das relações

(*) É somente na década de 30, quando Piaget volta sua atenção para o estudo de bebês até 2 anos, que o conceito de indiferenciação generaliza-se para sua forma atual.

entre previsão e explicação. Ao abordar este tema, Piaget pretende identificar as relações entre a lógica infantil e a explicação causal. Para tanto, propõe experiências ou problemas a propósito de fenômenos naturais (como a flutuação dos corpos, as sombras), ou ainda, relativos ao funcionamento de máquinas. Vale dizer que a análise das relações entre a lógica infantil e a explicação está, por sua vez, vinculada à questão epistemológica da legalidade e causalidade.

O fenômeno da flutuação dos corpos suscita respostas que evoluem em forma similar às aquelas obtidas para explicar a sustentação das nuvens. Para a criança até 5 anos, as razões para que os corpos flutuem são de natureza animista e moral: os barcos, por exemplo, flutuam porque têm que flutuar sempre. Sucodem-se mais tarde, e até aproximadamente 8 anos, explicações que se baseiam, alternadamente, no peso ou na leveza do objeto flutuante e que, ao mesmo tempo, vinculam a capacidade de flutuar ao movimento: flutua aquilo que é grande, pesado, e tem movimento - assim por exemplo o barco ou a canoa, que andam com motor, ou a remos. Com 9 anos em média, aparecem as respostas que relacionam o peso do objeto e o peso da água: a madeira flutua porque é mais leve que a água.

Ao analisar essas diferentes respostas, verifica-se que, em uma primeira etapa, o comportamento dos objetos é regido por exigências morais ou sociais. Para a criança, estas exigências configuram leis, que são "acompanhadas de um sentimento de necessidade" (CP, 136) que parece conceder-lhes certo poder explicativo. Todavia, estas leis não são gerais: a observação de um fenômeno específico corresponde uma interpretação que só é válida para este fenômeno, e não é utilizada para descrever ou explicar fenômenos similares. Tampouco podem estas leis gerar previsões: a criança responde após observar o fenômeno, utilizando uma idéia que para ela é explicativa, e depende inteiramente daquilo que observou.

Em uma segunda etapa, a criança já possui um esquema explicativo, que associa o peso à força e ao movimento - o que é pesado é forte, e pode por conseguinte apoiar-se sobre a água, ou sobre ela movimentar-se e nadar: portanto, flutua. Dessa explicação, a criança deriva previsões, mas que a experiência frequentemente contradiz, gerando então novas explicações: um objeto leve por exemplo também

flutua, pois que a água é pesada, e pode sustentá-lo. Agora, a explicação precede e determina a previsão, mas adapta-se às observações, pois que é reformulada quando a experiência não confirma as previsões.

Estas duas primeiras etapas, relativas à flutuação dos corpos, mostram "entre a lei e a explicação uma perpétua ação recíproca" (CP, 140). Os exemplos seguintes ilustram esta idéia.

O fenômeno da sombra, produzida por um objeto colocado sobre a mesa, é interpretado pela criança da primeira etapa como uma substância que emana do objeto, e ao mesmo tempo provem da noite, ou das árvores no jardim. A variação do nível de água de um recipiente no qual se mergulha um objeto é explicada, também em uma primeira etapa, pelo peso do corpo submerso, peso este que lhe dá força para empurrar a água para cima.

Essas explicações são retiradas da imaginação da criança: introduzem idéias que não são induzidas, nem confirmadas, pela experiência. Essas idéias expressam uma determinada concepção da realidade: impõem-se para explicar todos os fenômenos, e não são passíveis de uma reformulação que as adapte às observações.

Em uma segunda etapa, a observação e a experiência obrigam a uma reformulação da interpretação inicial. A criança agora não mais impõe suas idéias de modo inflexível, mas reformula-as e adapta-as aos dados não previstos. A observação torna-se importante, e dá origem a previsões acertadas. No entanto, a explicação não é correta, apesar de acompanhar a evolução dos fatos.

Há então uma defasagem entre previsões adequadas, e explicações incorretas. Assim por exemplo, a criança de 7 e até 9 anos saberá prever que o nível de água subirá quanto maior for o objeto submerso. Percebe-se, em sua resposta, que sua previsão depende do volume. No entanto sua explicação é baseada na idéia de peso: o objeto pesa sobre a água e a faz subir.

Piaget justifica a defasagem entre uma previsão correta e uma explicação incorreta, explicando que a primeira deve-se a uma inteligência prática ou motriz - que se pode interpretar como a experiência cotidiana que tem a criança, por exemplo, ao brincar com a água. A explicação, por sua vez, funda-se em uma tomada de consciência com relação aos resultados obtidos através da experiência e da percepção. Assim, continuando com o exemplo acima sobre a variação do nível de água, a criança deve tomar "consciência dos motivos reais que determinaram sua previsão" (CP, 169) em termos

de volume. A explicação deve-se a uma inteligência lógica, e supõe a utilização de uma lógica. A análise das respostas da terceira e última etapa permitem esclarecer estas idéias.

Na etapa final, ambas a explicação e a previsão são corretas. A observação e a experiência resultam numa descrição correta: uma lei. Com base nestas observações, constrói-se a explicação. Tal construção é qualificada como lógica, e define uma dedução. Em outras palavras, a dedução é uma construção lógica, que procede por abstração a partir da observação. Como tal, a dedução está vinculada ao desenvolvimento da lógica infantil, que inicialmente considera qualidades absolutas e só depois as entende enquanto relativas. Por exemplo, a noção de peso específico, na experiência de flutuação, que depende da densidade do material com que é feito o objeto; ou a relação, para o problema do nível de água, entre a forma que pode variar, e o peso que permanece constante. A explicação correta nasce então da capacidade de raciocinar logicamente, de um raciocínio lógico correto. A explicação está implicitamente contida na lei, e com ela se confunde pois que é deduzida a partir da lei e dela resulta por construção lógica.

6. Conclusão : Realidade e causalidade

Para concluir o estudo do pensamento infantil, enquanto expressa uma representação do mundo e uma concepção da causalidade física, é preciso analisar o conceito de realidade. O pensamento, em cada uma de suas etapas de desenvolvimento, pretende conhecer a realidade exterior, tal como ela é. Apesar de cumprir essa mesma função para todos os indivíduos, a realidade é interpretada de maneiras variadas, de acordo com as etapas de desenvolvimento. Analisando então o conceito de realidade, poder-se-á abordar o problema central do conhecimento: as relações entre pensamento, e o mundo exterior.

Tratar deste problema em termos psicológicos consiste em determinar qual o papel do sujeito e do objeto na formação do conhecimento. A abordagem psicológica, adotada por Piaget nesse texto, supõe o estabelecimento de certas definições. Entende-se por mundo exte-

rior, o mundo tal como é descrito pela ciência contemporânea, considerada enquanto sistema de referência absoluto. Designa-se, com a expressão realidade exterior, a realidade tal como ela é concebida em cada etapa do desenvolvimento intelectual (CP, 225).

Com estas definições, Piaget recusa-se explicitamente a abordar o problema do conhecimento em termos críticos e filosóficos. Situa-se no campo da psicologia, e dá ao problema uma formulação precisa: o mundo exterior é captado direta e imediatamente pelo pensamento? Ou o conhecimento é produto da atividade intelectual? Piaget pretende ainda que esta temática seja inserida em um contexto biológico: as relações entre o pensamento e as coisas vêm a ser então um caso particular das relações entre um organismo e seu meio. Ao lado das posições empirista e apriorista, uma terceira solução, a de Piaget, propõe "a noção de transformismo das categorias do pensamento, e uma adaptação cada vez mais delicada do pensamento às coisas, e vice-versa" (CP, 227).

O conceito de realidade

Três processos complementares descrevem a evolução do conceito de realidade na criança, a partir de um realismo primitivo, e até chegar finalmente à objetividade, reciprocidade e relatividade. A objetividade é a capacidade de "distinguir entre o que procede do Eu, e o que forma parte da realidade exterior tal como cada um a imagina e vê" (CP, 228). Há reciprocidade quando "se concede igual valor aos pontos de vista alheio e próprio" (CP, 229). Entende-se por relatividade "o considerar cada objeto ou qualidade, não a título de substância ou atributo independente, mas sim como existindo em função de outros objetos e caracteres, ou em virtude da situação específica do sujeito que o percebe" (CP, 239). O realismo se opõe a cada uma dessas três características. Uma concepção realista da realidade não diferencia atributos subjetivos e objetivos; nela predomina o ponto de vista próprio com relação ao dos outros; ela descreve o mundo através de noções e qualidades absolutas, e não em termos relativos.

Um conhecimento objetivo da realidade não é inato, e o pensamento infantil só o atinge na medida em que possui uma consciência de sua subjetividade. De início, a criança confunde seu universo interior e o mundo exterior: por isso, atribui aos objetos caracte-

rísticas que são próprias do ser humano. A realidade externa é animada e ativa, possui vontade e intenções.

Com a reciprocidade, que consiste em considerar além do ponto de vista próprio o dos outros, a realidade é aquilo que há de comum para todos. Para ilustrar esta idéia, basta lembrar a resposta da criança, que afirma que o sol a segue em seu passeio. Quando concilia sua interpretação pessoal com as interpretações similares de outros, a criança conclui que o sol não segue ninguém, mas que cada um o vê acima de si.

O processo que leva à reciprocidade dos pontos de vistas comporta dois aspectos complementares. De um lado, a predominância inicial da percepção, que leva a criança a conceber a realidade tal como ela lhe aparece, evolui e é substituída por uma "interpretação propriamente raciocinada" (CP, 233). Por outro lado, e este segundo aspecto parece ser mais importante para Piaget, a reciprocidade possui um componente lógico, que se manifesta da seguinte maneira. Se o ponto de vista pessoal é o único considerado, então a noção de direita-esquerda, ou as relações entre irmãos são absolutas: o que está à minha direita estará sempre à direita, e assim para todos; tenho um irmão, mas a relação não é recíproca, e meu irmão não tem irmão. A reciprocidade consiste em abandonar o ponto de vista absoluto, para raciocinar em termos de relações recíprocas.

Este último aspecto está relacionado com a relatividade. Uma interpretação relativista da realidade implica em não mais pensar os objetos ou suas qualidades como absolutos, reais, e independentes. A relatividade define um universo de relações, e interações. O exemplo da sombra é ilustrativo: a sombra do jardim, para a criança pequena, é uma substância que emana do próprio objeto (a árvore, por exemplo). Mais tarde, a formação da sombra é explicada pela relação entre a fonte de luz e um obstáculo que se interpõe. Também a expressão "é pesado" perde seu sentido absoluto, e passa a ser compreendida como: este objeto é pesado em comparação com tal outro.

São estes, então, os três processos que descrevem a gênese do conceito de realidade na criança. Piaget explica este gênese através de dois tipos de fatores. Há, de um lado, um fator social: ao impor uma variedade de opiniões e pontos de vista, a sociedade exige da criança uma definição de suas opiniões pessoais, uma tomada de consciência de sua subjetividade. Mas, se "a vida social

é necessária para um desenvolvimento normal", ela não é "suficiente para criar o raciocínio" (CP, 237). Há portanto um segundo fator na genese do conceito de realidade: é o próprio raciocínio lógico que evolui também. A análise dos fatores de desenvolvimento será retomada mais adiante.

A gênese da noção de causa

A análise da causalidade infantil mostra a existência de dezessete tipos de relações causais, mas que podem agrupar-se em três grandes períodos evolutivos.

No primeiro período, as explicações são de natureza psicológica, fenomenista, finalista ou mágica. Um fenômeno ocorre por motivos psicológicos ("por exemplo, os homens ou Deus nos enviam sonhos porque fizemos o que não devíamos" - CP, 242), ou para obedecer a certa finalidade ("a água dos rios corre para ir até o lago" - CP, 243). Dois fatos simultâneos levam ao estabelecimento de uma relação causal entre os dois ("a lua sustenta-se porque é amarela e brilhante", ou "o fogo aceso ao lado de um motor é considerado como a causa de seu movimento" - CP, 243). A semelhança entre duas coisas lhes permite agir a distância uma sobre a outra, o que define uma "participação" (quando, por exemplo, o ar de fora é chamado pelo bater palmas). Ações e pensamentos pessoais são eficazes e provocam certos acontecimentos ("tal gesto protege contra determinado perigo" - CP, 245).

Em um segundo período, surgem as explicações artificialistas, animistas e dinâmicas, ao mesmo tempo que desaparece o componente mágico que caracteriza a primeira etapa. As coisas têm vida e consciência, o que lhes permite obedecer a injunções divinas, morais ou psicológicas. Vida é movimento, e a natureza é essencialmente ativa, "dinâmica" como diz Piaget. Rios, nuvens, astros, etc, possuem força e isso explica seus movimentos.

Com o terceiro período, estas explicações são substituídas por outras mais "racionais". Surge uma causalidade caracterizada como física, exemplificada na interpretação antiperistática do movimento que busca esclarecer o "como" do fenômeno, ou na explicação mecânica que introduz o contato ("o vento empurra as nuvens - CP, 246) ou a transmissão ("os pedais movem as rodas da bicicleta" através das correias - CP, 246). Há também as explicações para a origem das

coisas: elas podem ser geradas como os seres vivos ("o sol é uma pequena bola... produto de uma nuvem inflamada; as próprias nuvens se originam na fumaça, no ar, no fogo, etc" - CP, 247), e percebe-se aí a marca do animismo, abandonada depois para se chegar à idéia de geração propriamente dita. As coisas também podem provir de uma condensação ou rarefação da matéria, o que leva à hipótese de uma composição atomística da matéria. O terceiro período contém ainda a forma mais evoluída de causalidade, a explicação por dedução lógica, obtida pela combinação de observações empíricas e construções intelectuais.

Piaget denomina "pré-causalidade" as explicações dos dois primeiros períodos, e a define (*) como uma interpretação da realidade essencialmente antropomórfica, onde as causas são atribuídas à vontade e intenções de um deus ou dos homens, onde portanto não há acaso e tudo se justifica. A "causalidade estrita" aparece em torno de 7 ou 8 anos, com o terceiro período que se prolonga até os 11 ou 12 anos.

Três processos caracterizam a evolução da causalidade, que mostra importante semelhança com a gênese do conceito de realidade.

O primeiro processo refere-se à progressiva aquisição de objetividade. Descrito a propósito da noção de realidade, este processo explica a passagem de uma causalidade impregnada de antropomorfismo onde "o mundo se explica em função do Eu" (CP, 253), para seqüências causais objetivas.

O segundo processo trata da formação de séries temporais. De fato, as primeiras explicações infantis estabelecem causas e efeitos "infinitamente próximos" (CP, 251). A criança parece não considerar o tempo que leva a causa para agir e produzir o efeito, ou a distância entre ambos os termos, como o mostra a afirmação de que o vento se precipita da rua e até as mãos quando uma pessoa bate palmas. Assim, a criança não busca ou identifica os intermediários que ligam a causa ao efeito, e tampouco se preocupa em desvendar "como" a causa provoca o efeito. Logo "o progresso consiste precisamente em estabelecer cadeias de intermediários e conexões de tal modo que cada um seja efeito do precedente e causa do que

(*) A definição aqui utilizada para a "pré-causalidade" encontra-se em "A linguagem e o pensamento na criança", 1986, cap. VI, pp 166 e seguintes.

segue"(CP, 251).

O terceiro processo, que caracteriza a evolução da causalidade, concerne o estabelecimento de séries reversíveis que, para Piaget, estão relacionadas com a compreensão. Por exemplo, ao compreender como o pedal da bicicleta faz girar a roda, a criança perceberá que a roda ao girar move o pedal. Assim, se existe uma sequência ordenada de intermediários, é possível percorrê-la nos dois sentidos. As explicações do terceiro período comportam uma reversibilidade que não se encontra nas formas primitivas pré-causais.

A noção de lei

Para a criança, a lei é geral e necessária. A noção infantil de lei reúne portanto duas características que, diz Piaget baseado em Meyerson, devem ser separadas: a lei é geral, mas a necessidade é própria da relação causal.

A gênese da noção de lei apresenta três períodos de evolução. Durante o primeiro, até 7 ou 8 anos, não há generalidade: as descrições são pontuais, as leis primitivas adaptam-se às sinuosidades dos fatos. A necessidade invocada pela criança deste período é moral: existem regras, divinas ou humanas, ou de seres inteligentes e poderosos (como o sol que produz calor porque é inteligente) - que constituem um motor externo - que são obedecidas por todos. Com este conjunto de regras, a criança explica e justifica um mundo ordenado e harmônico, do qual está excluído o acaso, e onde tudo tem uma razão de ser.

O segundo período estende-se até os 11 ou 12 anos. Nele emergem dois tipos de necessidade, progressivamente diferenciados: a necessidade moral e o determinismo físico. Alguns fenômenos são explicados fisicamente (o mecanismo da bicicleta, o vento empurrando as nuvens), mas muitas interpretações baseiam-se ainda na idéia de necessidade moral (por exemplo o movimento do sol e da lua). A lei começa a adquirir um caráter de generalidade, e a criança busca não contradizer-se.

Com o terceiro período, a partir dos 11 e 12 anos, a lei é afirmada como geral. E a necessidade? Surge progressivamente um novo tipo de necessidade, de natureza lógica, obtida por dedução. Desse modo, uma lei só poderá ser necessária "se é deduzível, com alguma exigência lógica, de outra lei..." (CP, 258). Para Piaget, a

necessidade lógica "é a convicção de que toda lei empiricamente comprovada deve poder justificar-se recorrendo, não à vontade nem aos sentimentos, senão à razão" (CP, 259). Supõe então que a necessidade moral evolui e se transforma em necessidade lógica, a razão substituindo as exigências morais.

Uma interpretação para o desenvolvimento cognitivo: Bases para o modelo teórico.

As respostas das crianças apresentam uma característica paradoxal. De um lado, são próximas daquilo que é observado, e retratam a realidade tal como ela se apresenta aos sentidos: "as leis primitivas que estabelece a criança se adaptam a todos os acidentes e sinuosidades da percepção imediata: não são gerais, e admitem exceções" (CP, 261). A criança considera verdadeira e confiável sua percepção da realidade; não a questiona. Daí resultam o realismo ou fenomenismo de suas concepções. Por outro lado, as respostas infantis afastam-se da observação, e a deformam. Uma concepção do mundo à imagem e semelhança do ser humano gera respostas animistas ou artificialistas, que comportam "aderências subjetivas", isto é, qualidades próprias ao sujeito.

Esta dualidade das respostas infantis deve ser explicada. Para tanto, Piaget baseia-se na distinção epistemológica entre forma, e matéria ou conteúdo, do conhecimento.

A matéria ou conteúdo é "tudo que é imposto pela experiência e observação direta" (CP, 262). A forma do conhecimento é "o que a criança acrescenta à matéria, isto é, todas as pré-relações e pré-noções das quais nós, adultos, já nos liberamos" (CP, 262). Essa distinção é retomada no plano biológico, e as definições acima adquirem um sentido preciso.

A matéria do conhecimento, originada na experiência e observação do mundo exterior, torna-se um caso particular da influência do meio sobre o organismo. A forma do conhecimento, por sua vez, equivale às estruturas orgânicas.

Esse modelo biológico engendra uma clara definição das relações entre organismo e meio. Assim, o meio tem por função prover e alimentar o organismo. No entanto, nem toda matéria existente no meio é absorvida pelo organismo: a influência do meio não é, por-

tanto, ilimitada, e as estruturas orgânicas condicionam e determinam a matéria a ser absorvida. A influência do meio sobre o organismo corresponde uma influência recíproca, originada no organismo: "toda ação externa supõe uma reação interna, e o que é assimilado pelo organismo é sempre e necessariamente um produto de uma influência exterior e de uma digestão interna" (CP, 262). Cada um dos termos da relação existe em função do outro.

Ora, "a vida psíquica não pode escapar a tais leis, posto que está condicionada pela vida orgânica" (CP, 262-263). A relação entre o pensamento e as coisas não é senão um caso particular das relações entre um organismo e seu meio. Às estruturas orgânicas, correspondem sensações e movimento, que são os elementos primitivos da vida psicológica. E as sensações e movimentos, que estão na base da experiência interna e subjetiva, configuram esquemas motores. Estes cumprem o papel de formas, que são impostas pelo sujeito ao meio, e condicionam a influência deste último sobre o primeiro. A matéria ou conteúdo do conhecimento é provisto pelo meio, através da experiência física do sujeito sobre os objetos. Assim, há, por um lado, a experiência interna e subjetiva, feita de sensações e movimentos, que dão origem a esquemas motores. Tais esquemas constituem os "instrumentos de trabalho" do sujeito. E do outro, há a experiência física sobre os objetos, que abre a porta à influência do meio. A indiferenciação entre caracteres subjetivos e propriedades objetivas, que resulta em concepções animistas, realistas, etc, repousa sobre a fusão das experiências interior, e física.

As relações entre o sujeito psicológico e o meio são analisadas e interpretadas com os conceitos de assimilação e imitação. O primeiro expressa a utilização, pelo sujeito, de uma forma ou esquema motor, no momento de sua entrada em contato com o mundo exterior. A imitação descreve a influência deste último sobre as formas do sujeito.

A assimilação é exemplificada nas respostas infantis, que interpretam os objetos como se fossem "seres vivos que agem com esforço e vontade" (CP, 265). Piaget entende que a idéia de esforço, que é projetada nos objetos, tem origem na experiência interna do sujeito. Vale ainda dizer que, de início, a criança não tem cons-

ciência de que sua interpretação, em termos de esforço, origina-se de uma experiência interna. É posteriormente que ela "volta-se para o instrumento de trabalho já confeccionado, e graças a ele toma consciência da experiência interna" (CP, 265).

Em outras palavras, a assimilação realiza-se através de, ou é regida por esquemas motores, que constituem os instrumentos de trabalho com os quais o sujeito se dirige à realidade para conhecê-la. Piaget acrescenta que a noção de assimilação merece maior aprofundamento; para tanto, seria preciso estudar os primeiros anos de vida (*), focalizando dessa forma "a zona limite entre a vida orgânica e intelectual" (CP, 265).

A influência do meio exterior sobre o organismo manifesta-se através do processo de imitação, segundo o qual "o organismo se adapta ao objeto que exerce essa influência: assim se forma uma espécie de esquema motor em relação com o novo objeto" (CP, 263-4).

Os conceitos de assimilação e imitação explicam então o dualismo das respostas infantis, ao mesmo tempo subjetivas e realistas. De um lado, a criança "imita" a realidade, e "em tal caso, segue servilmente as sinuosidades da percepção direta, dando a impressão ao observador de um pensar empírico, todo fenomenista, que se limita a estabelecer relações entre duas coisas quaisquer contanto que a experiência tenha facilitado sua aproximação espacial ou temporal..." (CP, 267). A realidade obriga a criança a modificar suas idéias, estabelecendo assim sua influência sobre o pensamento. Por outro lado, e obedecendo a uma tendência inversa, a criança interpreta a realidade de acordo com seus instrumentos de trabalho, os esquemas motores. Tal interpretação tende a ser deformadora, pois se realiza em detrimento da observação.

Assimilação e imitação constituem, pois, duas tendências opostas que, no entender de Piaget, devem equilibrar-se. A razão de tal equilíbrio reside em que, se não se equilibram, essas tendências "não conduzem a nada coerente" (CP, 267). E na medida em que colaboram, assimilação e imitação modificam-se reciprocamente: a assimilação perde gradualmente seu caráter deformador e adapta-se à observação e experiência, enquanto que a imitação dobra-se às exigências do espírito. A assimilação é então "sinônimo de compreen

(*) Vale observar que tal projeto foi realizado alguns anos mais tarde, e resultou nas publicações sobre o período sensório-motor.

são ou dedução" (CP, 268); e a imitação, que é uma adaptação às coisas, corresponde ao pólo da experiência.

Experiência e dedução, exigências impostas pelo real de um lado, e do outro pelo pensamento, definem os dois termos constitutivos do conhecimento.

Para concluir o esboço deste modelo teórico, vale ainda mencionar, como Piaget o faz brevemente, que este modelo das interrelações entre um organismo e seu meio, entre o pensamento e as coisas, abarca também a influência social: "a assimilação e a imitação não afetam somente o meio físico, senão também o meio social" (CP, 268).

A lógica infantil

Após a descrição da gênese das noções de realidade, causa e lei, após a apresentação de um modelo interpretativo, cabem ainda algumas palavras sobre a lógica da criança.

As noções de realidade, causa e lei, apresentam uma regularidade do ponto de vista evolutivo. Assim, de fato, o mostram os dados: "as crenças propriamente infantis... são constantes entre as crianças das cidades onde temos experimentado [trabalhado]; encontram-se na maioria daqueles que têm uma mesma idade mental..." (CP, 269). Mas a incoerência e a-sistematicidade do pensamento infantil não permitem o estabelecimento de períodos evolutivos para a gênese da lógica na criança.

Piaget baseia sua afirmação de que a criança é incoerente e a-sistemática apontando para certas observações: a incapacidade para deduzir consequências gerais, e a utilização de interpretações animistas em certas situações, mas não outras (*). Mesmo a existência de uma alta correlação entre respostas apresentadas a problemas diferentes (como a flutuação, e a variação do nível de água de um recipiente), correlação esta interpretada como evidenciando "um esquema que (a criança) aplica de maneira automática todas as vezes que é possível" (CP, 168), não é suficiente para

(*) Vale dizer que é surpreendente esta afirmação, sobretudo ao final de um longo estudo, que parece-nos evoluir para uma conclusão oposta.

afirmar a coerência do pensamento infantil.

Piaget explica então que a lógica infantil não procede por dedução, que corresponderia à expressão mais evoluída de um raciocínio lógico, mas sim por transdução. A transdução então se opõe, e antecede do ponto de vista genético, a dedução. O raciocínio trans_{du}tivo baseia-se em experiências mentais, isto é, representações mentais da ação, mas que não a transformam ao representá-la. Tal raciocínio procede por analogias: passa de caso particular a outro caso particular, e não conduz a generalizações. Por isso, os esquemas, aplicados automaticamente pela criança a diferentes situações, não provam a coerência do pensamento infantil.

A conclusão final

A formação do conhecimento supõe uma mútua dependência entre o real e o racional. De um lado, a pressão das coisas, e do outro, as exigências da inteligência conduzem à "construção de um mundo objetivo e de um raciocínio rigoroso" (CP, 276). A conclusão de Piaget aponta para um paralelismo entre a gênese das categorias reais, que são as noções de realidade, causalidade, etc., estudadas nesta obra, e a gênese da lógica. Permanece no entanto o problema das relações entre "o conteúdo real do pensamento" e sua "forma lógica". A solução deste problema exige "um estudo mais preciso da natureza da assimilação intelectual" (CP, 280).

- SEGUNDA PARTE -

Observações críticas e comentários

I. A concepção piagetiana de causalidade em 1927: Observações críticas.

Em "La causalité physique chez l'enfant" (1927), Piaget propõe-se a estudar a causalidade física através das representações infantis acerca de fenômenos naturais, como o vento ou a sombra, o movimento de um projétil e a flutuação dos corpos e ainda, com relação ao funcionamento de máquinas como a bicicleta. As respostas obtidas junto a crianças de 5 até 11 ou 12 anos evidenciam representações, e constituem a base empírica a partir da qual Piaget identifica e caracteriza o conceito de realidade, e as noções de causa e lei.

Ao abordar o estudo da causalidade infantil, Piaget não parece formular hipóteses sobre a natureza da causalidade, mas objetiva verificar que as características animista, realista e artificialista do pensamento infantil, evidenciadas a propósito das representações do mundo natural e humano, reproduzir-se-ão nas explicações do mundo físico.

A obtenção e análise de grande número de respostas a variados problemas permite-lhe, de um lado, confirmar essa tendência geral do pensamento infantil, e do outro, caracterizar a evolução da causalidade.

A causalidade infantil em suas duas etapas iniciais é marcadamente antropomórfica. A criança até os 7 ou 8 anos interpreta e explica o mundo físico como se fosse um mundo humano, regido por intenções e vontades, inteligência e poder, imposições e obediência.

A interpretação que Piaget oferece para essa forma primitiva de causalidade repousa sobre a idéia de indiferenciação: a criança não reconhece ou distingue as qualidades que lhe são próprias e de todos os seres humanos, das propriedades específicas do mundo material. Com a indiferenciação entre o subjetivo e o objetivo, explicam-se as concepções infantis em suas características animistas, quando outorgam vida e consciência aos objetos, e realistas, quando atribuem aos fenômenos humanos a substancialidade própria ao mundo material.

Vale dizer que a interpretação do desenvolvimento cognitivo em base a uma indiferenciação inicial entre sujeito e objeto permeará os trabalhos posteriores de Piaget. O período sensório-motor, que se estende do nascimento até um ano e meio ou dois anos de idade, inicia-se em meio a uma indiferenciação total, quando o sujeito não se sabe sujeito, e tampouco percebe objetos. Todo o desenvolvimento cognitivo baseia-se assim em uma progressiva diferenciação entre sujeito e objeto, que Piaget exprime ainda em termos de de-centração com relação ao ponto de vista próprio ou a um aspecto específico de uma situação concreta(*). A idéia de indiferenciação voltará a aparecer nos próximos capítulos deste ensaio.

A análise da causalidade em sua etapa final de desenvolvimento possibilita-nos uma melhor aproximação de sua natureza. Piaget concebe a causalidade infantil como uma sequência objetiva, temporal e reversível. Entende que uma sequência objetiva expressa as interações entre objetos que localizam-se no mundo exterior, independentemente pois das interferências humanas. Estas sequências supõem ainda um antes e um depois, e constituem portanto séries temporais que se desenrolam com o fluir do tempo. A terceira característica da causalidade, em sua etapa final, reside na possibilidade de percorrer mentalmente a sequência em seus dois sentidos: Piaget afirma que a compreensão da relação entre o movimento dos pedais de uma bicicleta e o girar da roda supõe a compreensão da relação inversa: o girar da roda provoca o movimento dos pedais.

Vale dizer que as duas primeiras características parecem pertinentes, sobretudo se lembrarmos a tendência infantil em tudo explicar segundo um padrão essencialmente antropomórfico; a terceira característica no entanto merece maior atenção. De um lado, a idéia de uma "série reversível" parece antecipar os trabalhos posteriores que visam revelar e caracterizar as estruturas operatórias, das quais a propriedade de reversibilidade é constitutiva. Por outro lado, se o exemplo da bicicleta esclarece o que Piaget entende com esta expressão, já é mais difícil imaginar o que seria uma série reversível se pensarmos na origem do vento, na flu-

(*) Ver, a esse respeito, o Cáp. I de "L'épistémologie génétique" (Piaget, 1970), e o Cáp. V de "La psychologie de l'intelligence" (Piaget, 1947).

tuação dos corpos, ou na elevação do nível de água. Cabe lembrar que a reversibilidade descreve a possibilidade de inverter ou negar mentalmente ações ou relações. Entendemos então que uma série reversível constitui mais do que uma relação unidirecional entre causa e efeito: supõe uma interação entre pesos relativos da água e do corpo flutuante no caso da flutuação, ou uma interação entre a forma de um objeto mergulhado na água, e a própria água. A explicação de uma interação deste tipo parece, segundo nossa interpretação, ultrapassar os limites de uma relação entre causa e efeito.

Além das três características acima citadas, outro aspecto, apresentado a propósito das relações entre previsão e explicação, concorre para a definição de causalidade.

A previsão baseia-se na observação, enquanto que a explicação supõe uma construção, que ultrapassa então os limites do observável. Piaget caracteriza essa construção como lógica, e a define como uma dedução.

A esse propósito, cabe aqui abrir um parêntese. Baseando-nos em trabalho posterior de Piaget (*), podemos distinguir o plano da realidade, onde as relações são de natureza causal, e o plano intelectual e/ou epistêmico. A atividade intelectual consiste em elaborar significações - o esquema de assimilação sensório-motor já confere ao objeto uma significação: este é um objeto para se pegar e sacudir, este outro para se chupar, etc -. Mas uma significação não pode "causar" outra: as relações entre significações são então relações de implicação. Piaget falará de "implications signifiantes" para descrever as primeiras relações entre significações, e nelas vê a origem da implicação lógica. A relação entre objetos corresponde uma outra relação, elaborada pelo sujeito e situada portando no plano epistêmico, o que lhe confere uma natureza implicativa.

Assim, quando em 1927 (e depois em 1971) Piaget define a explicação causal como uma dedução, talvez ele esteja evidenciando com essa expressão, a origem intelectual e a natureza epistêmica da

(*) Trata-se de "L'explication en psychologie et le parallélisme psychophysiologique" (1963) que aborda outro problema, mas onde Piaget menciona "l'isomorphisme entre la causalité et l'implication" (pp 153-162).

causalidade. Origem intelectual porquanto a causalidade é uma construção e interpretação do sujeito; e natureza epistêmica pois é uma representação do mundo real, que não se confunde com ele.

Mas se a explicação supõe uma dedução ou construção lógica, exige também a participação da observação. O primeiro componente expressa o papel ativo do sujeito na formação do conhecimento, enquanto que o segundo, a observação, provê os conteúdos, associados ao objeto.

Essa concepção de causalidade remete-nos ao problema formulado por Piaget, quanto à origem subjetiva e/ou objetiva do conhecimento.

Já em 1927, Piaget fundamenta sua concepção interacionista da formação e evolução do conhecimento, inserindo-a em um contexto biológico (*). Entende que as relações entre o pensamento e as coisas - isto é, as contribuições respectivamente subjetiva e objetiva para a formação do conhecimento - constituem um caso particular das relações entre um organismo e seu meio.

A contribuição do sujeito reside em seu pensamento, aqui entendido como o exercício mesmo do pensar. O pensar origina-se na experiência subjetiva e interna, que inicialmente é feita, segundo Piaget, de sensações e movimentos (**). Essa experiência subjetiva gera esquemas (***) que orientam e determinam a interpretação do real. A título de ilustração: Piaget entende que as explicações finais para a variação do nível de água e a flutuação dos corpos derivam de um mesmo esquema, que faz intervir a idéia de volume (CP, 168).

Os esquemas constituem assim formas interpretativas, que independem de seu conteúdo de origem, e são utilizadas para pensar e conhecer a realidade. Os esquemas podem ser concebidos como os instrumentos cognitivos, ou instrumentos do pensar, e atestam o

(*) Esta idéia seria desenvolvida mais tarde, sob forma de uma hipótese, acerca da continuidade entre vida e pensamento, na introdução de "La naissance de l'intelligence chez l'enfant", de 1936.

(**) Encontra-se aí uma antecipação do esquema sensório-motor, noção apresentada na obra acima citada. Voltar-se-á a este tema mais adiante, no contexto do capítulo III.

(***) Esta idéia de esquemas é utilizada, com uma denominação variável, por pesquisadores em ensino de física. A ela voltaremos mais adiante, no capítulo III.

papel do sujeito na formação do conhecimento.

O objeto, por sua vez, participa do conhecimento enquanto suporte para a observação e experiência. Através destes processos, ele influencia e modela as interpretações do sujeito, obrigando-o a adaptar seus esquemas interpretativos. O objeto contribui para a formação do conhecimento, oferecendo conteúdos, isto é, a matéria a ser interpretada pelo sujeito.

Com estas idéias, Piaget delinea os marcos teóricos que virão moldar seus estudos posteriores.

Em primeiro lugar: a origem da vida psicológica consiste de sensações e movimentos, que constituirão, segundo a formulação adotada alguns anos mais tarde, os esquemas sensório-motores.

Em segundo lugar: a distinção entre forma e conteúdo do conhecimento corresponde a dissociação entre o papel do sujeito e o do objeto na formação do conhecimento (*). Define-se aí o problema fundamental de uma teoria do conhecimento, seja ela epistemológica ou psicológica: as relações entre o sujeito que conhece, e o objeto a ser conhecido.

Em terceiro lugar: a formação do conhecimento situa-se na confluência entre as exigências do espírito, associadas à dedução e de natureza lógica, e as exigências das coisas, que se manifestam através da experiência e da observação.

Estas idéias apontam assim para uma teoria que supõe uma interação entre sujeito e objeto para a formação do conhecimento. No entanto, apesar de sugerir um pressuposto interacionista com os mecanismos de assimilação e imitação, Piaget não o formula explicitamente em seu texto de 1927. Entende até mesmo que, para definir as relações entre o pensamento e as coisas, ser-lhe-á preciso um estudo mais aprofundado do mecanismo de assimilação intelectual. Ao longo deste ensaio, veremos como esta exigência o levará a dedicar-se quase exclusivamente à análise do sujeito conhecedor, em detrimento e apesar de pretender (em particular em 1971, com "Les explications causales") desvendar o papel do objeto, fundamental para a formação do conhecimento físico.

(*) Cabe observar, a esse respeito, que a noção de esquema sensório-motor - que será detalhada no próximo capítulo deste ensaio - reúne os aspectos sensorial e motor, que exprimem precisamente o papel do objeto e do sujeito no desenvolvimento cognitivo.

II. A causalidade física na criança, e as pesquisas sobre concepções espontâneas ou alternativas em física.

As observações de Piaget revelam que a idéia de movimento domina toda a causalidade física da criança. De fato, as respostas de crianças a partir de 5 anos e até 8 ou 9 anos associam e identificam vida e movimento: a vida manifesta-se através do movimento, e o movimento é indício de que há vida. Esta concepção é caracterizada por Piaget como dinâmica, e se opõe às interpretações denominadas mecânicas, que subtraem do mundo objetivo os caracteres animistas, e situam as causas nos próprios objetos.

Entre as interpretações mecânicas, e a propósito do movimento de um projétil, distinguem-se as respostas baseadas na idéia de um refluxo de ar, e aquelas formuladas em termos de impulso. As primeiras assemelham-se à explicação aristotélica para o problema do projétil. É possível também, apesar de Piaget não o ter feito em seu estudo de 1927 (*), comparar a idéia infantil de impulso, e a noção medieval de impetus (**).

Tais comparações e semelhanças supõem uma análise da história da física. Ora, o estudo das concepções espontâneas ou alternativas(***) em mecânica clássica, evidenciadas nos anos 70 pelas pesquisas em ensino e aprendizagem de física, havia sugerido (ou até mesmo imposto, tais eram as coincidências conceituais) uma comparação entre as respostas dos alunos e as interpretações históricas acerca

(*) A comparação surge mais tarde em Inhelder (1980); Piaget & Garcia (1982); Garcia (1983).

(**) Para anteceder eventuais indagações do leitor: as semelhanças aqui mencionadas são de natureza conceitual. A comparação apontada por Piaget em 1927, entre as respostas das crianças e a concepção aristotélica (e mais tarde a interpretação medieval) do movimento, aí insere-se. Vários anos depois, Piaget e Garcia (1982), e Garcia (1983), analisam tais coincidências conceituais, evidenciadas vale dizer apenas em casos particulares. No entanto, e é importante ressaltá-lo, essa análise conceitual inscreve-se no contexto de uma problemática que trata da evolução do conhecimento; neste contexto, então, eles propõem um estudo comparativo entre psicogênese e história da ciência, que focaliza os mecanismos de passagem de uma determinada concepção para outra, posterior.

(***) Lembramos que não há uma terminologia unificada para descrever as respostas dos alunos que diferem das interpretações científicas sobre os mesmos temas. Utilizaremos, neste ensaio, as expressões concepções espontâneas, ou concepções alternativas, sem estabelecer entre elas diferenças.

do movimento (*). Vale dizer que a incursão dos pesquisadores desta área, pela história da física, visava buscar algumas respostas: esperava-se desta incursão que oferecesse, por exemplo, elementos de comparação, originados no passado já que era difícil obtê-los em outras culturas (**), elementos esses que permitiriam uma maior caracterização conceitual das respostas dos alunos (***). Esperava-se ainda que uma análise da história das ciências pudesse sugerir indicações quanto ao problema da mudança conceitual (****), que focaliza os fatores que determinam a passagem de uma interpretação para outra.

Quanto à evolução histórica das interpretações a respeito do movimento, vale dizer que distinguem-se, habitualmente, três concepções históricas básicas: a de Aristóteles, na Antiguidade grega; as medievais, baseadas na idéia de impetus; e a de Newton, preparada pelos estudos de Galileu, conhecida como mecânica clássica, e até hoje aceita como a interpretação correta - para as velocidades baixas de nosso cotidiano. Sem pretender realizar uma análise da história da física, já que ela supõe, enquanto área específica de estudo, conhecimentos especializados de física, história e filosofia, gostaríamos todavia de delinear brevemente as três interpretações do movimento acima mencionadas: elas nos serão úteis.

Apresentaremos, pois, uma breve descrição desta evolução (*****). Aristóteles concebeu dois tipos de movimentos, no mundo sub-lunar e terrestre: o movimento natural e o movimento violento. Os objetos possuiriam cada qual seu lugar natural, e quando ali estivesse, um objeto estaria em repouso. Mas quando estivessem em algum outro lu-

(*) A título de exemplo, mencionaremos o estudo de Viennot (*Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, 1979), que identifica nas respostas obtidas junto a estudantes universitários e secundaristas (estes em final de curso), semelhanças com as teorias medievais do movimento.

(**) Essa é a razão, oferecida por L. Viennot (1979), para justificar sua claríssima análise de "Quelques faits d'histoire des sciences".

(***) Ver a esse respeito, os artigos de G. Boido (1985), e J. Lythott (1984), que discutem as vantagens e limitações desta tentativa.

(****) Dentre os trabalhos que abordam o tema da mudança conceitual, pode-se mencionar, a título de exemplo, os de D. Gil Perez & J. Carrasosa Alis (1985), P.W. Hewson (1981 e 1985), e o artigo de revisão de M.Z. Hashweh (1986).

(*****). Essa descrição baseia-se em estudos realizados por pesquisadores...
(continua na página seguinte)

gar que não seu lugar natural, todas as coisas tenderiam para ali voltar: este seria o movimento natural. Todo movimento requereria uma explicação "et comment nier, remarque A. Koyré (*), que le mouvement, beaucoup plus que le repos, ait besoin d'une cause qui l'explique?". O movimento natural explicar-se-ia cosmologicamente, em função de uma ordem ou harmonia cósmica. A interpretação aristotélica baseava-se na existência de quatro elementos fundamentais: fogo, ar, terra e água, que seriam qualidades constitutivas dos objetos; ora, cada um desses elementos, e as combinações entre esses elementos, constitutivos de todas as coisas, tenderiam para um determinado lugar. As coisas leves, feitas de ar ou de fogo, iriam para o alto; as coisas graves ou pesadas, que seriam feitas de terra ou água, iriam para baixo, em direção à terra. A explicação do movimento natural não requereria então uma causa objetiva: o objeto conteria em si mesmo a fonte de seu movimento. Não seria preciso introduzir uma força que produzisse o movimento natural, pois que ele seria tão somente a expressão da tendência que teriam as coisas de ir para seu lugar natural.

O movimento violento seria aquele que contrariasse a "inclinação natural" das coisas (**). A explicação deste tipo de movimento exigia uma causa, que seria localizada fora do objeto, e no meio externo. Agora, era preciso uma força, para manter o movimento de um objeto, contra sua inclinação natural(**). A idéia de antiperistasis (***) exemplificava uma causa externa ao objeto. Haveria um primeiro motor, o lançamento do projétil. A esta primeira causa, seguir-se-iam uma série de outras, localizadas também no meio am-

(cont. da página anterior)... da área de ensino de física, a saber: Gilbert & Zylbersztajn (1985) - A conceptual framework for science Education: The case study of force and movement; Lythott (1984) - "Aristotelian" was given as the answer, but what was the question; Saltiel & Viennot (1984) - what do we learn from similarities between historical ideas and the spontaneous reasoning of students? ; Viennot (1979) - Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire; Viennot (1984) - Natural tendencies in analysing students' reasoning - Two instances in mechanics. Cabe mencionar ainda os estudos de Piaget e Garcia (1982) - Psicogênese e História de la ciencia; e Garcia (1983) - Psychogenesis and the history of science, que tratam também da história da ciência.

(*) citado por Viennot (1979, p.113).

(**) A expressão foi tomada de Gilbert & Zylbersztajn (1985, p.111).

(***) As noções de antiperistasis, de força, e ar são profundamente interligadas. Não pretendemos aqui detalhar a explicação aristotélica, pois isso exigiria uma especialização que não possuímos. Vale mencionar, todavia, o texto de Garcia e Piaget: Psicogênese e História de la ciencia (1982), que estuda com detalhes este tema.

biente, e que expressariam precisamente a idéia de um refluxo de ar: o projétil, ao ser lançado, movimentava o ar em torno dele, e este ar o fazia avançar. L. Viennot (1979, p.114) resume assim esta idéia: "le milieu ambiant assurait, par un ingénieux système de renvoi, la permanence du mouvement d'un objet qu'on lance".

As respostas infantis, recolhidas em "La causalité physique chez l'enfant" a propósito do movimento de um projétil, apresentam alguns pontos em comum com essas interpretações. Mencionamos, já, que a característica aristotélica de um refluxo de um ar que vem empurrar o projétil, havia sido apontada por Piaget em 1927. Mas as comparações por ele evidenciadas abrangem outros aspectos ainda. Quando discute as origens do animismo infantil em "La représentation du monde chez l'enfant" (1926), ele cita também a oposição "natureza-violência", a propósito da resposta de uma criança de 6 anos, interpretada nos seguintes termos: "o calor do sol é "natural", porquê o sol está dirigido por uma força interna para um objetivo útil à vida, enquanto que a atividade das nuvens é "violenta" no sentido que contrariam o sol" (RM, 182). Quanto à idéia do lugar natural das coisas, ela surge na resposta de uma criança de 8;7 anos quando ela descreve a trajetória de uma esfera colocada sobre um plano inclinado: "se a colocamos aqui (ponto de partida), tem que haver um lugar de chegada onde irá sempre; ela tem que ter seu lugar natural" (exemplo de Piaget e Garcia, 1982, p.72).

Se as respostas das crianças, até 9 anos aproximadamente, comportam características que as assemelham em certos aspectos à física aristotélica, as respostas em torno de 11 ou 12 anos para o problema do projétil referem-se ao impulso do objeto, impulso esse causado pelo lançamento. Uma comparação destas últimas respostas com a história da física aponta para as teorias medievais baseadas na idéia de impetus.

A concepção aristotélica do movimento tornou-se, desde o século VI, com Philoponus, objeto de discussões críticas, que iriam resultar finalmente nas interpretações medievais. Dois estudos (*)

(*) Viennot (1979), que constitui uma das referências para nossa análise das concepções medievais, nos diz: "Ces questions amènent un autre mode d'explication, qui se fait jour, dès le VIème. siècle (J. Philopon) et se développe largement au cours du XIVème dans l'école dite Parisienne: d'externe, la cause du mouvement du projectile devient interne à l'objet" (p.114). O outro estudo, sobre o mesmo tema e aqui utilizado, é o de G. Boido (1985): Conceptiones prenewtonianas en el aprendizaje de la física.

em particular mostram como, ao longo de vários séculos, operou-se uma passagem: a causa que era localizada no meio externo seria, a partir do século VI, situado no próprio objeto, sob a forma "de una "fuerza motriz incorpórea" interna en el cuerpo, transferida a él durante el lanzamiento por la fuente impulsora, y responsable de la perduración del movimiento" (Boido, 1985, p.4, a propósito de Philoponus). A partir de então, e até a idade média, o movimento explicaria-se por uma causa interna ao objeto, uma força que lhe seria transmitida desde fora pelo primeiro motor (por exemplo, a mão que lança a pedra), e que o objeto em movimento armazenaria. Assim, "l'impetus est la force (ou autre chose) de l'objet" (Viennot, 1979, p.çç6): seria uma qualidade do objeto, a capacidade que ele teria de mover-se.

A terminologia empregada no século XIV é pouco precisa: Viennot (1979, p.114) menciona as expressões "une certaine force", "l'impetus", "une puissance de se mouvoir", "une capacité impétussique", e outras ainda. A interpretação medieval do movimento baseiava-se então em uma qualidade do objeto móvel, "sa capacité impétussique". Os fatores que influenciavam o movimento (Saltiel & Viennot, 1984, p.3) eram esta característica do objeto móvel, e ainda, sua forma, tamanho, e quantidade de matéria. Duas outras variáveis também seriam significativas: de um lado, a intensidade da força impressa pelo primeiro móvel ao objeto em movimento (por exemplo, a força de lançamento no caso de um projétil), que estava relacionada com a capacidade do objeto em recebê-la; e do outro, o tempo de aplicação desta força ("la durée d'impression", diz Viennot, 1979, p.116-7).

Ao final da idade média, a evolução das teorias sobre o impetus resultariam em uma mudança do conceito de movimento (*). Até então, o movimento exigia uma explicação, mas não o estado de repouso. A mudança consistiria em estabelecer uma equivalência entre o estado de repouso, e o movimento uniforme: "Galileo introduces the idea of conservation of motion by arguing that a ball moving in a horizontal plane will remain in a state of uniform motion unless resisted by external impediments" (Gilbert & Zylbersztajn, 1985, p. 114).

O movimento uniforme e o repouso são estados equivalentes, que tendem

(*) Vale dizer que as várias análises históricas desta época, são objeto de controvérsias. Basearemos-nos nos estudos de Gilbert & Zylbersztajn (1985), e Viennot (1979).

a se conservar. Enquanto tal, o movimento uniforme não requer mais uma explicação, uma causa a provocá-lo. O ímpetus das teorias medievais seria substituído por Newton (Viennot, 1979, p.126) pela força de inércia do móvel (*). Distinguem-se, assim, as forças externas e internas em um movimento.

As observações colhidas em "La causalité physique chez l'enfant" evidenciam a utilização da idéia de impulso, nas respostas das crianças em torno de 9 anos para os problemas de movimento. Dentre as várias interpretações das concepções espontâneas em mecânica que se basearam em uma comparação com a história da física, algumas identificaram características aristotélicas nas respostas dos alunos, enquanto que outras apontaram para uma comparação com as idéias medievais. A bem da verdade, vale dizer que a análise comparativa entre as concepções espontâneas dos estudantes e as várias interpretações históricas da física tornou-se assunto polêmico (**): as tentativas de caracterizar as respostas dos alunos em termos aristotélicos começaram a ser questionadas, e delineou-se uma tendência crescente, que utiliza-se do referencial medieval.

O problema.

Ao colocar lado a lado as respostas obtidas por Piaget, com relação ao problema do movimento, com crianças até 10 ou 11 anos de idade, e os resultados das pesquisas atuais sobre concepções espontâneas ou alternativas em mecânica de adolescentes e universitários, surgem algumas questões, relativas à noção de gênese.

Em "La causalité physique chez l'enfant", as respostas formuladas em termos de impulso são consideradas por Piaget como configurando uma etapa "posterior, do ponto de vista genético, à hipótese de uma corrente de ar que vem empurrar o projétil" (CP, 31). A gênese é definida, em uma primeira etapa, empiricamente: é uma sequência

(*) Viennot (1979, p.126) cita, a esse propósito, a Definição III dos "Principes mathématiques de la Philosophie Naturelle" (1687), de Newton: "la force qui réside dans la matière (vis insita) est le pouvoir qu'elle a de résister. C'est par cette force que tout corps persevere de lui-même dans son état actuel de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite...". A essa força da matéria, corresponde atualmente o princípio de inércia.

(**) Essa discussão é abordada em particular por J. Lythott (1984), E. Saltiel & L. Viennot (1984) e L. Viennot (1984).

de idades-médias, estabelecida a partir do cálculo da média estatística das idades nas quais se dá um mesmo tipo de resposta. No entanto, essa sequência cronológica, qual seja, a evolução das respostas em função das idades, não define ainda uma gênese propriamente dita. Para afirmar a existência de uma evolução genética, é preciso identificar, teórica e empiricamente, os fatores que a determinam. Se aceitarmos que uma gênese (*) se refere, por definição, a um sujeito, e se distingue de uma evolução (*), no sentido por exemplo da evolução das ciências que envolve uma comunidade científica e social, os fatores a determinar a gênese situar-se-ão no âmbito dos processos psicológicos, que incidem sobre o sujeito e suas respostas. Em outras palavras, a gênese se refere a uma sequência de elaborações cognitivas, que são construídas por um sujeito. E a afirmação de uma gênese exige um modelo teórico a propósito desse sujeito, qual seja, uma teoria psicológica.

Em seu estudo de 1927, Piaget define os fatores que, segundo ele, explicam a gênese que foi sugerida por suas observações. De um lado, ele aponta para a socialização: a influência do meio social solicita e exige do sujeito uma mudança em suas formas de raciocínio, iê, uma evolução em termos lógicos; mas a influência social manifesta-se também através de um "sentido comum contemporâneo (formado pela indústria e habituado ao princípio de inércia graças ao maquinismo" (CP, 31), que leva a criança a abandonar suas interpretações animistas e dinâmicas.

Por outro lado, invoca os processos de assimilação e imitação, que tendem a equilibrar-se um ao outro, garantindo desse modo uma adaptação entre o pensamento do sujeito e a realidade objetiva. Estes processos são definidos teoricamente, mas a partir da interpretação de evidências empíricas (vale lembrar, a esse respeito, a introdução da noção de esquema motor originado na sensação de esforço muscular, que está na base das idéias infantis a propósito de força e movimento).

Se a abordagem genética caracteriza este, e todos os estudos de J. Piaget, esta não parece ser a tendência predominante dos trabalhos realizados no contexto do ensino e aprendizagem de física(**).

(*) Não se trata aqui de discutir os conceitos de evolução e gênese, mas apenas de distinguir o sujeito e autor de uma ou outra.

(**) A idéia de uma tendência predominante não exclui a possibilidade de existirem estudos genéticos. Apenas para citar um exemplo, poderíamos mencionar o trabalho de G.R.P. Queiroz, sobre gazes e pressão (IF/UFF).

De fato, as pesquisas desenvolvidas sobre as concepções espontâneas em física, apesar de investigar populações de diversas idades, raramente propõem (*) um estudo genético. No entanto, no decorrer de uma primeira etapa, em que estas pesquisas voltavam-se predominantemente para a identificação e caracterização de tais concepções, começaram a surgir algumas preocupações teóricas (**): tratava-se de encontrar um modelo que explicasse o aparecimento das respostas dos alunos. Neste contexto, o modelo teórico proposto por J. Piaget, e em particular a idéia de estágio, tomou-se o alvo de discussões polêmicas. (***)

(*) É significativo por exemplo que o artigo de revisão de Mc Dermott (1984) não mencione nenhuma pesquisa que se proponha a evidenciar uma gênese.

(**) Voltaremos a esse assunto em nossas observações a propósito do capítulo III deste ensaio.

(***) A esse respeito, vale mencionar as análises críticas de Gilbert & Swift (1985) - Towards a Lakatosian analysis of the Piagetian and alternative conceptions research programs; Driver (1978) - sobre a noção de estágios; e Dibar Ure & Colinviaux (1987) - quanto à caracterização dos pressupostos da psicologia genética.

- CAPÍTULO III -

A CAUSALIDADE SENSORIO-MOTORA (1937)

(LA CONSTRUCTION DU RÉEL)

Em 1925, nasce a primeira filha de J. Piaget; em 1927, e depois em 1931, nascem uma outra filha e um filho. Da vida familiar são retiradas aproximadamente 500 observações, que fundamentam os estudos sobre a inteligência nos dois primeiros anos de vida da criança. Um olhar atento mostrar-nos-á que muitas destas observações comportam um aspecto propriamente experimental: uma observação fortuita - nos diz Vinh-Bang(*) - por exemplo, a de um sobrinho que busca em baixo de uma cadeira, sob a qual consegue engatinhar, a bola que viu desaparecer sob um sofá, que não lhe permite fazer a mesma coisa - sugere uma série de situações experimentais para o estudo da gênese do objeto permanente.

"La construction du réel chez l'enfant" (1937) aborda o estudo das categorias básicas do conhecimento: o objeto permanente, tempo e espaço, e causalidade. É neste estudo, precisamente em seu capítulo III: "Le développement de la causalité", que encontraremos o segundo texto por Piaget escrito sobre o tema da causalidade.

Nosso método de trabalho visa, também neste capítulo III de nosso ensaio, trazer para o leitor as idéias de J. Piaget, tal qual ele as formulou. Para tanto, este capítulo III dividir-se-á em duas partes: a primeira constitui uma apresentação do texto original de Piaget, que preserva seu encadeamento e organização, e retrata o fio condutor de seu pensamento. Esta primeira etapa, assim destituída de comentários e opiniões que não sejam os de Piaget, é a base a partir da qual são elaboradas nossas observações críticas. A segunda parte deste capítulo apresentará estas observações.

(*) Vinh-Bang: El método clínico y la investigación en psicología del niño (1970, p.44). A edição original deste texto, inserido em "Psychologie et épistémologie génétiques - thèmes piagétiens", é de 1966.

- PRIMEIRA PARTE -

A origem sensório-motora da causalidade:
O estudo de J. Piaget

1. O contexto para o estudo da causalidade sensório-motora

O estudo da inteligência sensório-motora descreve em um primeiro momento (NI(*), 1936) o desenvolvimento de instrumentos cognitivos, de apreensão da realidade: são os esquemas de ação, que possibilitam a assimilação do mundo exterior e que se acomodam simultaneamente aos caracteres dos objetos.

A esse desenvolvimento funcional da inteligência, corresponde uma organização progressiva do universo. Daí surge o conhecimento, elaborado segundo as categorias de substância (permanência do objeto), espaço, tempo e causalidade.

O mundo do recém-nascido é caótico, formado de uma multiplicidade de realidades, quadros instantâneos e passageiros. Sujeito e objeto compõem um todo indissociado, e a ação reúne em uma experiência difusa, única e global, impressões subjetivas e objetivas.

Neste universo, não existem - do ponto de vista do sujeito e não do observador - objetos constituídos em sua permanência, nem tampouco um sujeito consciente de si-mesmo. Não há diferença entre dentro e fora, Eu e não-Eu, entre sujeito e objetos.

Ambos os termos deverão ser progressivamente elaborados: "o nascimento da inteligência" desvenda a gênese do sujeito em seus mecanismos funcionais, e "a construção do real" descreve a formação do conhecimento, enquanto retrata a organização do mundo dos objetos.

Delinea-se então "une sorte de loi de développement de la connaissance elle-même... De l'égocentrisme au relativisme objectif, telle semble être la formule de cette loi d'évolution" (CR(**), 191).

A essa lei geral de evolução obedecerá a gênese da noção de causalidade: assim, "au début... l'univers initial n'est pas un réseau de séquences causales, mais une simple collections d'évènements surgissant en prolongement de l'activité propre" (CR, 191). Já no final do período sensório-motor, "l'univers devient un ensemble cohérent, dans lequel les effets succèdent à des causes indépendantes du sujet" (CR, 192).

(*) NI: La naissance de l'intelligence chez l'enfant. Neuchatel, Delachaux et Niestlé, 1977 (1a. edição: 1936)

(**) CR: La construction du réel chez l'enfant. Neuchatel, Delachaux et Niestlé, 1977.

Antes de prosseguir, convém discutir a legitimidade da utilização da noção de causalidade sensório-motora. Não é possível atribuir à criança, entre 0 e 2 anos, um ensaio de explicação enquanto tal: neste período todo conhecimento é prático, e visa unicamente uma eficácia da ação, evidenciada em seu êxito ou fracasso. Mas não se pode negar que esta criança age como se sua ação produzisse certos fenômenos, causasse certos efeitos. Assim como é legítimo utilizar as categorias práticas de espaço ou objeto, enquanto elas são anteriores aos conceitos de espaço geométrico ou matéria, também é legítima a idéia de uma causalidade sensório-motora. E portanto, "si l'on fait de la causalité un schème sensori-moteur avant de le concevoir comme un concept, ou une catégorie pratique avant qu'elle devienne une catégorie noétique, le langage dont nous nous servons ne soulève aucune difficulté" (CR, 193).

2. A origem da noção de causalidade: os dois primeiros sub-estágios do desenvolvimento sensório-motor

A análise da causalidade em suas raízes sensório-motoras funda-se na indifferenciação original entre sujeito e objeto: subjetividade e objetividade se confundem na experiência ("vécu") da ação, primeira e única realidade dada à criança. Assim se expressa a interação primitiva entre um sujeito conhecedor e seu universo. A inteligência sensório-motora em suas etapas iniciais (1º e 2º sub-estágios) é feita de reflexos e hábitos, ações simples e isoladas, coordenadas às vezes. Procurar ver o que se ouviu, ou sugar o que se tocou, são alguns indícios destas coordenações primeiras.

O exame da existência de causalidade nestas condutas utiliza as interpretações oferecidas em estudos clássicos do tema: de um lado, a explicação associacionista, e do outro, aquela baseada no sentimento de esforço originado na intuição primária do Eu.

Os dados disponíveis são o sorriso relacionado ao aparecimento de certas pessoas, fontes de prazer; a posição do corpo seguida de absorção de alimentos, ou ainda, a associação entre sons e imagens. Aceitar a existência de relações causais primitivas significaria que, para o recém-nascido, o antecedente - pessoas que aparecem, certa

posição do corpo, imagens - produz o conseqüente - prazer e sorriso, alimentação, sons.

Esta hipótese supõe a percepção de objetos concebidos como substanciais e externos. Mas, do ponto de vista do sujeito, não há objetos; tampouco existe um sujeito consciente de sua subjetividade e interioridade. A única realidade que lhe é dada é sua ação. Nela se mesclam sensações musculares, iê, kinestésicas e proprioceptivas (e tais sensações originadas na ação não são todavia propriamente subjetivas), e sensações táteis, coloridas, gustativas, etc, que são as qualidades assimiladas a partir do real (e tampouco essas qualidades derivadas de um contato com o objeto o constituem). Nesta ação se confundem os aspectos motor (emissor e centrífugo) e sensorial (receptor e centrípeto).

Para o sujeito, há quadros sensoriais, feixes qualitativos, em que não se distinguem impressões objetivas e subjetivas, que se originam nas coisas ou no corpo próprio.

A interpretação associacionista pressupõe uma realidade objetiva, suporte para a descoberta e conhecimento dos objetos em suas qualidades. Concebe então a causalidade enquanto produto de uma associação entre qualidades objetivas: a regularidade da associação gera uma relação causal entre qualidades observadas, registradas no objeto.

Mas, se as sensações são inseparáveis em suas fontes subjetiva e objetiva, como identificar sensações qualitativas de natureza objetiva? Se os espaços sensoriais são múltiplos e independentes - isto é, não relacionados: o espaço bucal não se vincula ao espaço visual ou tátil -, como estabelecer relações entre sensações ou qualidades? Se a experiência sensório-motora engloba em uma mesma totalidade difusa as diversas qualidades, como dissociá-las para delas fazer causas, e efeitos? A interpretação associacionista mostra-se inadequada, em sua exigência de uma realidade objetiva, para explicar a origem psicogenética da causalidade,

Poderia então a interpretação baseada na intuição do Eu, e na impressão de um esforço subjetivo, fundamentar a causalidade, já que o esquema sensório-motor, isto é, a ação e as impressões musculares dela decorrentes, são a única realidade para o sujeito?

Na concepção psicogênética, sujeito e objeto constituem-se complementarmente (reciprocamente) em sua interação. O universo infantil primitivo não comporta objetos substanciais, nem tampouco as sensa-

ções ligadas às ações delimitam um sujeito interior. Se a ação é a única realidade, a criança no entanto não se percebe, não se sabe autora desta ação, e a impressão de esforço não poderá dissociar-se das sensações registradas a partir do objeto. Essa impressão não é dada enquanto tal ao sujeito. A experiência da ação é única, indissociada: ela é ao mesmo tempo interna e externa. O sujeito é o ponto de convergência de todas as sensações, mas não o sabe. A interpretação baseada na impressão primária de um esforço subjetivo tampouco pode explicar a origem da causalidade.

A concepção piagetiana situará a origem da causalidade exatamente na experiência sensório-motora da ação, mas enquanto ela incorpora em uma totalidade indiferenciada os mundos externo e interno.

La causalité primitive peut donc être conçue comme une sorte de sentiment d'efficience ou d'efficace lié aux actes comme tels, à la condition seulement de se rappeler que de tels sentiments ne sont pas réfléchis par le sujet en tant qu'émanant de lui-même, mais qu'ils sont localisés dans les faisceaux perceptifs constituant le point de départ des objets en général ou du corps propre. (CR, 199). (*)

Dois caracteres complementares e indissociáveis definem então a causalidade.

De um lado o dinamismo, ou sentimento de eficácia marcada pelo êxito da ação enquanto ela produz certo resultado. E do outro o fenomenismo, que sujeita a relação estabelecida entre as coisas às circunstâncias externas e fortuitas. A causalidade primitiva repousa sobre a união das impressões subjetivas, decorrentes da ação, e objetivas, quando constituídas à propósito de um dado externo. É assim, ao mesmo tempo, interna e externa, e caracteriza-se pela sua dupla polaridade.

3. O terceiro sub-estágio: a causalidade mágico-fenomenista

Os fatos.

(*) Vale observar que a análise proposta por Piaget resulta menos em uma recusa definitiva, ou negação pura e simples das interpretações de Hume e Maine de Biran, do que em sua aceitação relativa, para explicar aspectos particulares da causalidade infantil, tais como eficácia e fenomenismo.

A criança, com 6 ou 7 meses, olha para as suas mãos com aparente surpresa. Movimenta-as olhando com cuidado, vira-as, afasta-as, agita-as, e começa a tocar os objetos em torno de si. Agarra o cordão amarrado ao teto de seu berço, e isto desencadeia o movimento dos brinquedos ali suspensos. Repete o gesto, e observa atentamente o que acontece. Volta-se para o chocalho que está a seu lado, pega-o, começa a sacudi-lo, esfrega-o no lençol, bate-o contra o berço. Consegue coordenar visão e apreensão, pois que tenta pegar tudo o que vê.

Estas condutas evidenciam uma nova atitude na criança: a ação por si mesma é conhecida, já que o movimento das mãos ou dos pés são primitivos. A novidade reside então no interesse pelas consequências da ação. Parece que a criança exercita o poder que tem sobre o corpo, estuda a submissão dos objetos às suas intenções. O corpo próprio, enquanto sede da ação, torna-se cada vez mais importante, e central. Há aí uma relação: a relação entre uma ação e sua consequência. É preciso caracterizar a natureza destas relações para o sujeito. A observação dos resultados da ação supõe a existência, ainda que parcial e circunstancial, de um objetivo. E a existência desse objetivo está vinculada a uma intenção. Intenção do gesto e resultado da ação começam por isso mesmo a dissociar-se, e consequentemente diferenciam-se progressivamente a causa e o efeito. A causa identifica-se com a intenção, e "présente une tendance à s'intérioriser" (CR, 202); o efeito está ligado ao resultado observado, e tende a exteriorizar-se.

Mas sujeito e objeto não constituem ainda entidades substanciais. A intenção não é propriamente subjetiva; a eficácia atribuída à ação intencional deriva e está determinada por uma coincidência entre o gesto experienciado e o resultado observado. Na causalidade deste terceiro estágio, eficácia e fenomenismo continuam indissociados.

A análise da ação, quando ela não se restringe aos movimentos do corpo próprio mas é exercida sobre os objetos, evidencia novos fatos. Quando a criança tem por objetivo reproduzir um acontecimento que a interessou, não procura assegurar um contato físico e espacial entre os elementos: assim o mostram as tentativas de sacudir um objeto distante, ou de obter resultados variados utilizando o recurso de agitar-se no berço, condutas que são conhecidas pela sua eficácia anterior. A ausência de contato entre a ação e o objeto, que configura uma ação à distância, comprova o papel da intenção e do senti-

mento de eficácia a ela associado, julgados suficientes para garantir a obtenção do resultado final. Confirma-se também o fenomenismo do vínculo entre ação antecedente e situação consequente, uma vez que tal vínculo é estabelecido à propósito de circunstâncias fortuitas, ocorridas no meio exterior.

A relação de causalidade supõe então uma contiguidade entre a ação e o objeto-suporte da ação, uma coincidência entre ação eficaz e fenômenos observados, enquanto unidos em um mesmo quadro perceptivo. A relação causal é mágica também, pois que tende a generalizar-se, quando o gesto eficaz é aplicado a todo tipo de contexto.

É assim que a causa geral dos fenômenos vê-se atribuída à ação do corpo próprio. Esta ação no entanto não é entendida como externa e material, ela não depende do contato físico entre os elementos. Tampouco provém esta ação de um sujeito consciente de si. A causa de todos os fenômenos identifica-se com "*l'action sentie comme un tout et situ  e dans un réel    mi-chemin de l'interne et de l'externe*" (CR, 210).

Mas como se define a relação causal, quando os fenômenos observados são totalmente independentes da ação do sujeito? Quando, por exemplo, alguém estala os dedos ou agita um chocalho, ou faz barulho ao movimentar-se. O problema agora é saber se a criança concebe objetos e pessoas como centros objetivos capazes de ação, e portanto fonte ou "*locus*" ("*si  ge*") de causalidade, ou se a idéia de causa só existe enquanto vinculada à ação própria.

Para obter uma resposta a este problema, observam-se as situações que comportam uma relação constante entre um antecedente A e um consequente B. O antecedente A refere-se à ação de uma pessoa sobre um objeto (por exemplo, aproximar a mão e dar um peteleco num chocalho), para produzir o efeito B (por exemplo, o movimento, e som decorrente do chocalho). Trata-se então de identificar se a criança, em sua tentativa de reproduzir ou manter a sequência causal, tentará agir sobre a causa A (a mão do adulto), ou sobre B (o chocalho).

As observações mostram que a criança, no terceiro estágio de desenvolvimento, tentará agir diretamente sobre o objeto para obter o efeito desejado. Fica clara então a tentativa de produzir o efeito diretamente através da ação própria. Isto significa subordinar o

efeito à ação própria vista como a única causa possível.

Quando, ao contrário, a criança volta-se para A, i.é., a ação realmente causadora que é executada pela pessoa, não é para estimular esta pessoa a reproduzir o efeito. Se assim fosse, haveria lugar para uma ação causal externa e independente da ação própria. Não é este o caso; o interesse pela ação da pessoa manifesta-se da seguinte maneira: a criança a trata não como devendo ser estimulada a produzir o efeito, mas sim utilizando para com ela os procedimentos cuja eficácia foi comprovada em situações anteriores. Ao invés de tentar colocar a mão em contato com o chocalho, a criança sacode-se e agita-se no berço (procedimentos eficazes) ao mesmo tempo que olha para a mão; ou chega até mesmo a tocar a mão do adulto, mas é para sacudi-la e batê-la (outros procedimentos eficazes). Em outras palavras, volta-se para a causa A, não enquanto objeto ou causa autônoma, mas sim como se estivesse submetida ao seu poder próprio, como se fosse mais um efeito subordinado à eficácia de sua ação. O efeito B é considerado então como apenas um fenômeno entre todos, gerado pela ação do sujeito, e não produzido por uma causa externa, independente e autônoma.

Para a criança, não há centros autônomos de ação, pessoas ou objetos exteriores e substanciais, "siège" de causalidade. Há, sim, um único agente causal: sua própria ação. Para ela, toda sequência - que para o observador independe da ação do sujeito - é submetida à eficácia mágico-fenomenista de seus gestos, característica da causalidade deste terceiro estágio.

4. O quarto sub-estágio: uma etapa de transição

A causalidade evolui. O quarto sub-estágio é uma etapa de transição que conduz, ao final do primeiro ano de vida, ao estabelecimento de relações causais entre objetos substanciais, situados em um universo espacialmente organizado. Essa evolução se realiza segundo dois processos complementares. O primeiro é o processo de substancialização do universo infantil, que consiste em fazer dos objetos e das pessoas, entidades "individualisées, permanentes et indépendantes de l'activité de l'enfant" (CR, 57). O segundo é o processo de espacialização: as posições e deslocamentos dos objetos tornam-se exteriores ao sujeito, e coordenam-se de tal modo que, entre as coisas, se estabelecem relações de proximidade, contato ou distância.

A substancialização da relação causal reside na atribuição do poder causal aos objetos e pessoas, constituídos enquanto centros autônomos, e independentes do sujeito. A plena independência da causalidade relativamente à ação própria caracteriza o quinto sub-estágio de desenvolvimento.

O sujeito da quarta etapa ainda desencadeia, pela sua ação direta, a atividade das pessoas ou o movimento dos objetos. Assim é que, de um lado, os movimentos espontâneos de objetos e pessoas são observados com atenção, e até mesmo surpresa: são concebidos como centros de ação que independem da vontade do sujeito. Do outro lado, no entanto, verifica-se a tentativa, persistente e como que necessária, de provocar tal atividade espontânea, através da utilização de procedimentos cuja eficácia foi comprovada em outras ocasiões. Aparecem simultaneamente os primeiros sinais da existência de conexões espaciais, intermediárias entre causa e efeito. O tocar, pressionar, dar um peteleco no objeto, evidenciam a necessidade, para o sujeito, de estabelecer contatos físicos entre os vários elementos da situação. Não se trata mais de relacionar "une attitude d'ensemble, surtout sentie de l'intérieur, et l'effet produit" (CR, 224): a relação causal começa a dissociar-se, envolve elementos distintos, e requer conexões espaciais entre eles.

O que caracteriza esta quarta etapa, é que a criança já não se propõe a produzir diretamente o fenómeno-efeito, mas delega o poder causal a outro objeto que não é ela mesma. Mas é necessário, ainda, agir sobre este intermediário, para estimulá-lo a gerar o efeito - ao contrário do que ocorre na terceira etapa, quando o intermediário é passivo, mero prolongamento da ação própria, julgada única e verdadeira causa. A consideração dos intermediários mostra uma primeira ruptura daquela totalidade global, que reunia indistintamente todos os elementos da relação causal. Objetos e pessoas constituem progressivamente um polo exterior de causalidade, que se diferencia e opõe, ainda que parcialmente, à eficácia toda-poderosa do gesto próprio. É na medida em que coincidem o polo exterior e a eficácia da ação que ambos poderão diferenciar-se, e "l'efficace, primitivement concentrée dans le geste propre, se décentralise, s'objective et se spatialise en se transférant sur les intermédiaires" (CR, 230).

5. O quinto sub-estágio: uma causalidade objetivada e espacializada

A atribuição de causalidade aos objetos, e a inserção da sequência causal em um espaço organizado, resultam na "constitution d'un univers dans lequel l'action de l'enfant se situe parmi les autres causes et obéit aux mêmes lois" (CR, 238).

Algumas condutas evidenciam a objetivação completa da causalidade. A simples colocação de um objeto sobre um plano inclinado, sem dar-lhe um peteleco, provoca seu deslocamento: a criança deixa agir o objeto por si só, sem interferir (obs. 148; CR, 238). A busca de causas para um movimento observado, como o do berço ou da porta, mostra a necessidade de estabelecer sequências causais explicativas (obs. 151; CR, 240). A entrega de uma bola ao adulto, para que ele a jogue, prova a existência de centros causais que independem do sujeito (obs. 153; CR, 240-241).

Objetos e pessoas são agora definitivamente concebidos como fontes permanentes e autônomas de ações espontâneas, e até mesmo necessárias. A causalidade já não diz respeito à uma experiência global e difusa: a relação causal compõe-se de elementos distintos e seriados. A seriação dos elementos causais é espacializada e as relações entre os objetos são de contato direto. Assim é que para aproximar um objeto utilizando um suporte, a criança assegura o contato entre o objeto e o suporte colocando o primeiro sobre o segundo. "Il y a donc pour la première fois série causale détachée de l'action propre, autrement dit relation de cause à effet entre un objet extérieur et un autre objet également extérieur" (CR, 244).

Este quinto sub-estágio do desenvolvimento sensório-motor descreve a forma mais evoluída da noção de causalidade a nível de uma inteligência prática - isto é, voltada para o êxito motor, e limitada à realidade atual. A longo do sexto sub-estágio, surgirão os primeiros indícios de representação mental. A causalidade, assim como as outras categorias de conhecimento e os esquemas de ação, começam a ser interiorizadas, dessa forma rompendo com o imediatismo sensório-motor.

Após a análise dos fatos, resta ainda examinar o ponto de vista do sujeito, esclarecendo de que maneira a criança ela própria concebe a causalidade. Para isso, faz-se necessário definir as relações que, para o sujeito, unem intenção e ação.

Se a causalidade dos primeiros estágios de desenvolvimento reúne, em uma mesma experiência única, a percepção do fenômeno e a impressão de esforço (a expectativa), a quinta etapa marca a distinção entre esses dois polos. O fenomenismo, enquanto fonte exterior e objetiva da experiência sensório-motora, evolui para uma concepção propriamente física da causalidade, em que os objetos mantêm entre si relações de causa e efeito, independentes das ações ou intenções do sujeito. A eficácia, associada à ação, está na origem das sensações subjetivas: é o polo interior. Neste quinto sub-estágio, o sentimento de eficácia não desaparece totalmente, mas retringe-se ao âmbito do corpo e ação próprios. Através deste sentimento fica estabelecida a conexão entre intenção e ação, "en tant que pouvoir direct de ses intentions sur son organisme" (CR, 251). A causalidade originada na eficácia dá lugar a uma causalidade psicológica. A criança agora distingue dois tipos básicos de causalidade: a física, que se refere aos objetos, e a psicológica, que é subjetiva (*).

Neste contexto, em que se dissociam mundo externo e mundo interno, quais as relações entre o corpo próprio e as coisas? Entre a ação do sujeito e as inter-ações dos objetos?

Era a ação, e o esforço a ela associado, a causa global de todos os fenômenos. Agora, a atividade própria já não produz certos fenômenos, quando a causa situa-se nas coisas elas mesmas. Além do mais, a ação encontra resistências, obstáculos: é limitada em seu poder. A criança começa a descobrir-se submetida a certas condições, leis que são independentes de sua vontade ou ação. O sujeito era onipotente. Torna-se apenas uma causa entre todas as outras, e sua ação depende "des lois du monde extérieur" (CR, 253).

6. O sexto sub-estágio: a causalidade representada

A causalidade elaborada pelo sujeito ao longo dos cinco primeiros

(*) Vale observar que a evolução posterior da causalidade psicológica, ou subjetiva, não é tema de interesse para Piaget, que preocupa-se com o conhecimento objetivo, isto é, voltada para a conquista do mundo exterior. Se a causalidade subjetiva surge novamente, é apenas enquanto manifestação do pensamento egocêntrico na pequena infância, no contexto do estudo sobre a causalidade física (CP, 1927).

sub-estágios de desenvolvimento apresenta limitações.

De fato, é para ele impossível identificar causas, quando elas não estão dadas no instante atual. Duas são as razões para isso: de um lado, a criança não pode evocar aquilo que não está presente em seu campo de ação ou percepção; e do outro, não concebe esta ação fora de seu imediatismo. A aquisição própria do sexto sub-estágio refere-se precisamente à capacidade de reconstituir as causas quando em presença de seus únicos efeitos, ou de prever e representar efeitos a partir de determinadas causas: é a capacidade de representar causas passadas (e não observadas) e efeitos futuros. Evidencia-se assim uma construção mental, definida como "dedução causal" (CR, 260), em oposição à percepção de sequências causais atuais.

A causalidade representada supõe a compreensão do vínculo causal, e o vínculo compreendido ultrapassa, por definição, a sequência regular de elementos no espaço e no tempo. Esta idéia é ilustrada através de uma observação (obs. 163; CR, 263-264). A criança, com 1 ano e meio, está sentada em sua cama, e é colocado um brinquedo sobre os cobertores amontoados à sua frente. Agita-se a ponta do cobertor e o brinquedo cai devagar, aproximando-se da criança. A criança, interessada, repete algumas vezes toda a sequência, sozinha. Coloca-se então o brinquedo sobre uma pequena mesa, distante da criança (mais ou menos um metro). A criança volta a puxar a ponta do cobertor, e depois com mais força, ao mesmo tempo que olha para o brinquedo. Mas se o brinquedo é afastado mais ainda, a criança o olha sem esboçar nenhuma tentativa para aproximá-lo.

Duas semanas mais tarde, reproduz-se a situação inicial, utilizando-se agora, ao invés do brinquedo, uma corrente de relógio. A criança puxa o cobertor. Mas quando o objeto é colocado sobre a pequena mesa, a criança, sem muita convicção, tenta puxar o cobertor como se quizesse apenas confirmar o resultado negativo de seu gesto. Este exemplo possibilita distinguir o que, para o sujeito, é simples sucessão de fenômenos, "rapprochements phénoménistes entre les éléments co-variants de la réalité" (CR, 268), e uma compreensão real do vínculo causal. Quando, no início da observação, repete após o adulto o gesto de puxar o cobertor, a criança reproduz corretamente a sequência de fenômenos. Mas não compreende a relação causal entre o gesto de puxar e o movimento do brinquedo, pois que não assegura as condições físicas necessárias para obter o resultado final: puxa o cobertor mesmo quando o brinquedo está sobre a mesa, dotando

seu gesto de uma eficácia residual (*). Quando, ao contrário, a criança não esboça nenhum gesto para apanhar o objeto sobre a mesa (ou seu esboço não mostra nenhuma convicção ou surpresa), compreende o vínculo causal, em sua exigência de contatos físicos.

(*) Cabe notar, nesta observação, a existência lado a lado de condutas mais avançadas e condutas residuais, típicas de estágios anteriores, e marcadas pelo duplo aspecto do fenomenismo e da eficácia. Tais condutas surgem ao longo de todo o desenvolvimento, por ocasião de situações desconhecidas ou de difícil resolução para o sujeito, e tendem a confirmar a interpretação genética.

- SEGUNDA PARTE -

A origem da causalidade : os esquemas sensório-motores
Análise crítica e comentários

1. A causalidade sensório-motora e a origem da vida psicológica

A interpretação piagetiana de uma causalidade sensório-motora a define e caracteriza como uma relação entre um antecedente e um consequente, relação esta que é uma sequência temporal, e pode comportar intermediários localizados no espaço.

A lei de evolução da causalidade é a mesma que caracteriza o desenvolvimento como um tódo:

l'élaboration de l'univers par l'intelligence sensori-motrice constitue le passage d'un état, dans lequel les choses sont centrées autour d'un moi qui croit les diriger tout en s'ignorant lui-même en tant que sujet, à un état dans lequel le moi se situe au contraire, au moins pratiquement, dans un monde stable et conçu comme indépendant de l'activité propre. (CR, 307).

A causalidade inicial consiste em localizar no corpo próprio, enquanto ele atua sobre o mundo exterior, a causa de todos os fenômenos; ao final do período sensório-motor, a causa é atribuída aos objetos, que estabelecem entre si relações que independem da intervenção do sujeito.

Qual o ponto de partida, a origem da vida psicológica? Qual o contexto inicial em que se desenvolve a causalidade sensório-motora?

O sujeito, ao nascer, possui reflexos hereditários. Sucedem-lhes depois ações, que são exercidas sobre os objetos que cercam o bebê, e sobre seu corpo próprio, objeto privilegiado entre todos os objetos(*). Assim, corpo próprio e objetos oferecem uma oportunidade, ao mesmo tempo que o suporte imprescindível, para as ações do sujeito. Definem-se então entidades, formadas de um objeto, e da ação sobre ele exercida pelo sujeito: essas entidades constituem os primeiros esquemas sensório-motores.

O esquema sensório-motor dá origem a duas experiências: a motora, e a sensorial. A ação gera, de um lado, sensações proprioceptivas

(*) Vale observar que Piaget concebe o meio com o qual interage o bebê como um meio exclusivamente físico, isto é, de objetos materiais, e não sociais ou afetivos. E veremos ainda, logo adiante, como o organismo, enquanto sede ("siège") das sensações, precede e funda a subjetividade. (Observações apontadas por A. Bullinger).

e do outro, enquanto é exercida sobre os objetos, ela provoca sensações que neles são registradas: assim, por exemplo, a textura e temperatura (através do tato), a côr (através da visão, e mesmo que o bebê não saiba que côr é essa), o gosto, etc. Mas, da mesma forma que o esquema sensório-motor constitui em sua origem uma entidade indivisível que comporta uma ação e um objeto, também as sensações originadas no organismo do sujeito e registradas no objeto são indiferenciadas. Uma ação dá lugar a uma experiência global, feita de sensações que provêm simultaneamente do corpo próprio e dos objetos. Cada ação provoca um quadro instantâneo e isolado, e os quadros se sucedem, aparecem e desaparecem, com o início e fim de cada ação.

Como se manifesta a causalidade em um universo assim caracterizado? Que tipo de relação causal pode ser estabelecida a partir desta experiência sensório-motora? A resposta de Piaget menciona uma impressão de que "aconteceu alguma coisa". Tal impressão ocorre a partir de uma circunstância interna, a ação do bebê quando chora, olha, pega (*); ou então, a propósito de uma circunstância externa, quando um objeto (a mãe, a ponta do cobertor ou sua própria mão) se apresenta em seu campo perceptivo.

Que le nourisson de 1 à 2 mois parvient à sucer son pouce après avoir fait un effort pour l'introduire dans sa bouche, ou qu'il suive du regard un objet mouvant, il doit ainsi éprouver, bien qu'à des degrés divers, la même impression: c'est qu'une certaine action aboutit, sans qu'il sache comment, à un certain résultat, autrement dit qu'un certain complexe d'efforts, de tension, d'attente, de désir, etc., est chargé d'efficace. (CR, 200).

A ação, ou melhor dizendo, o esquema sensório-motor, constitui o primeiro instrumento cognitivo de um sujeito: ela permite estabelecer uma ponte entre o bebê, e o universo de objetos que o cercam. Através da ação, o sujeito entra em contato com a realidade, e lhe atribui suas primeiras significações. Mais tarde, a criança também se utilizará de ações, mas interiorizadas ou mental-

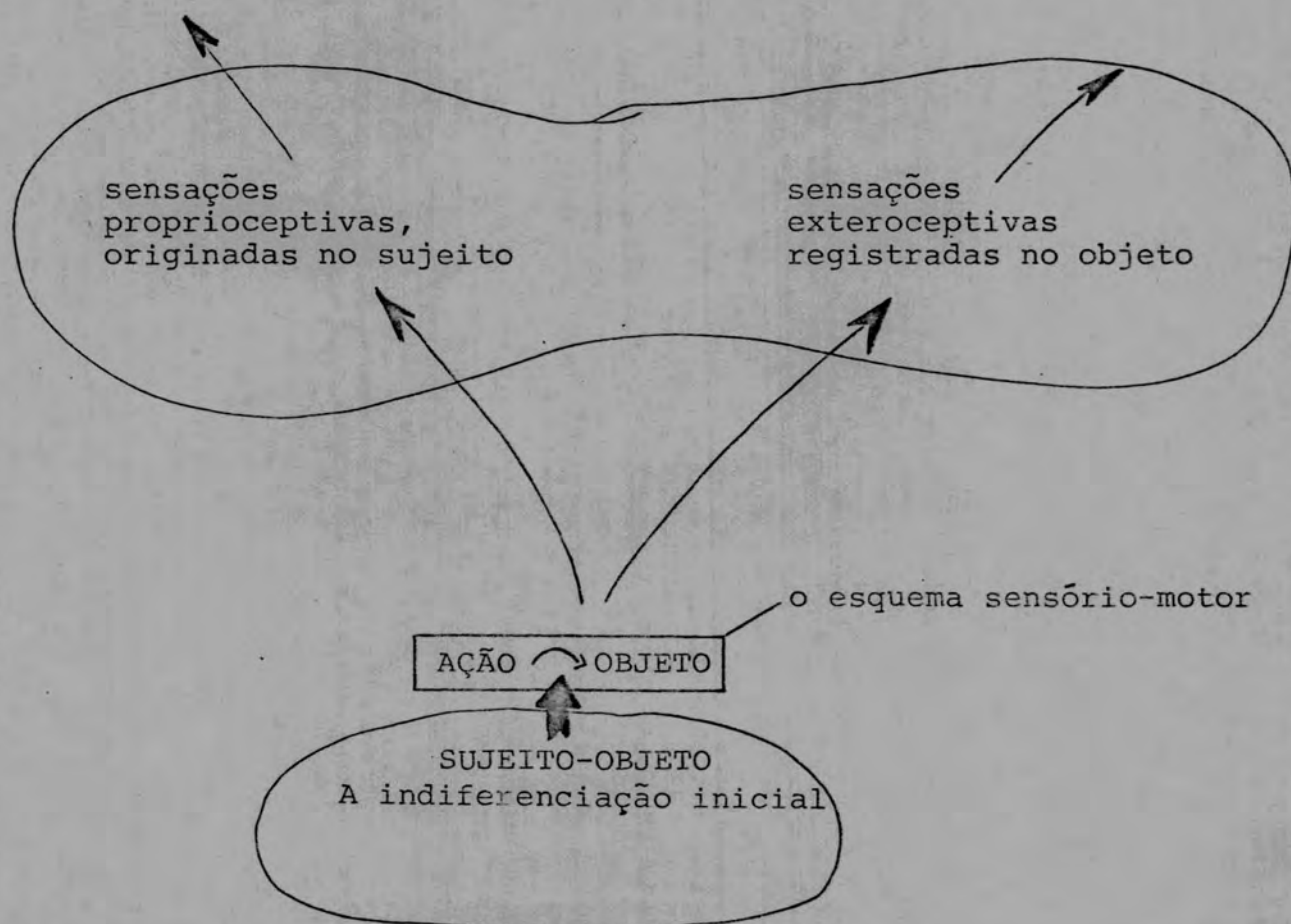
(*) A ação mostra-se um conceito abrangente, pois que inclui, além do movimento das mãos, pés e tronco, por exemplo a visão. Poder-se-ia indagar se a cada um dos cinco sentidos corresponderia, pelo menos teoricamente, uma ação.

mente representadas, para interpretar a realidade. Teremos a ocasião de voltar a este tema mais adiante, nesse mesmo capítulo.

2. A indiferenciação sujeito-objeto e a evolução da causalidade sensório-motora.

O desenvolvimento cognitivo no período sensório-motor está baseado em uma progressiva diferenciação entre sensações subjetivas e objetivas - lembrando todavia que o sujeito não se sabe sujeito nem tampouco os objetos estão constituídos enquanto externos e permanentes: as expressões subjetivo e objetivo se referem ao suporte, à origem ou localização da sensação do ponto de vista do observador.

A indiferenciação original entre sujeito e objeto exprime-se no esquema sensório-motor, que dá origem a uma experiência global. O desenvolvimento consiste de uma dupla evolução, na direção do sujeito, e do objeto. Tentamos, com a figura abaixo, retratar esta idéia.



De um lado, as sensações experienciadas pelo sujeito em seu organismo estão na base de uma subjetividade; e do outro, as sensações registradas nos objetos fundam uma exterioridade, uma objetividade. A evolução em termos de sujeito refere-se à construção de instrumentos cognitivos, descrita através das estruturas cognitivas, oriundas das coordenações de ações. A evolução em termos de objeto decorre das sensações sobre ele registradas, e dá lugar a um conhecimento do objeto em suas qualidades, assim como a uma organização do mundo dos objetos em suas interações. Para a organização do mundo exterior e concreto, Piaget reservou a expressão "estruturas causais" (*). O estudo do período sensório-motor evidencia assim um movimento evolutivo ou desenvolvimentista, que, a partir de uma indiferenciação original, segue uma dupla direção, do lado do sujeito, e do lado do objeto.

No que concerne à categoria de causalidade, também verificar-se-á uma evolução em uma dupla direção. A causalidade inicial, própria dos primeiros sub-estágios de desenvolvimento, é qualificada pela reunião de uma eficácia com um fenomenismo. Ela é fenomenista porque se constitui a propósito de uma circunstância externa: o objeto que, ao apresentar-se aos sentidos da criança, desencadeia sua ação. A causalidade é caracterizada, ainda, como eficaz, pois que associada, ou vinculada, à ação do bebê, e acompanhada por isso mesmo de sensações proprioceptivas, tais como as musculares, e também de impressões como esforço e expectativa.

Os dois caracteres, fenomenismo e eficácia, da causalidade sensório-motora dissociam-se progressivamente, para dar origem a dois tipos de causalidade. O fenomenismo está na base de uma causalidade externa, entre objetos: a essa Piaget chama de causalidade física. A eficácia, por sua vez, desenvolve-se em direção a uma causalidade interna, ou, escreve Piaget, psicológica. E assim,

naissant des relations entre l'activité propre
et le monde extérieur, elle (la causalité) par-

(*) Vale mencionar - e assim o fazendo, estamos adiantando a problemática de nosso próximo capítulo - que o conhecimento físico refere-se precisamente a essas estruturas causais, pois que pretende conhecê-las representando-as através de um sistema epistêmico. A esse respeito, adiantaremos ainda a distinção que ali se estabelecerá, entre o plano da realidade, onde estão situadas as estruturas causais, e o plano epistêmico ou do conhecimento, no qual são elaboradas as teorias e interpretações da realidade.

ticipe bien, au début, de l'efficace et du phénoménisme mêlés, mais pour se dégager ensuite à la fois de ce subjectivisme et de cet empirisme, et pour se constituer en un système de pures relations. (CR, 273).

Estas idéias fazem eco à interpretação desenvolvida nos anos 20, a propósito da representação do mundo e da causalidade física na criança. Ali, nos lembra Piaget dez anos mais tarde em seu estudo da causalidade sensório-motora, ali, dizíamos, revela-se uma concepção do universo centrada sobre o eu, e marcada pela confusão entre os caracteres subjetivos e objetivos. Configura-se então, entre o período sensório-motor e o período em que o pensamento da criança é interpretado como animista e realista (e que seria mais tarde identificado como pré-operatório), uma decalagem ou defasagem: a indiferenciação, que caracteriza inicialmente as experiências sensório-motoras subjetiva e objetiva, repete-se nos anos seguintes, mas sob a forma de uma confusão entre as qualidades humanas e materiais, confusão essa que é praticada por um sujeito que agora sabe-se sujeito e concebe um universo exterior que dele se distingue. E portanto, se a indiferenciação determina a causalidade em suas formas sensório-motora e pré-operatória, ela o faz de forma distinta.

Todavia, uma análise mais aprofundada revela que

si l'enfant renonce, en effet, à considérer ses actions comme la cause de tout événement, il n'arrive pas encore, par contre, à se représenter l'action des corps autrement qu'au moyen de schèmes de sa propre activité. (CR, 332).

Delineia-se uma transposição, dos esquemas sensório-motores para os esquemas mentais, estes últimos mantendo o referencial da atividade própria: o movimento, por exemplo, é explicado pelas crianças até 7 ou 8 anos por uma força do objeto, força essa que se funda na sensação de esforço muscular decorrente da ação e movimento próprios.

3. A interpretação: assimilação e acomodação.

Para explicar a gênese da causalidade sensório-motora, Piaget in-

troduz os mecanismos de assimilação e acomodação (*), que retratam respectivamente o papel ativo do sujeito em sua abordagem e contato com a realidade, e a pressão e influência transformadoras desta última sobre a ação do primeiro. A eficácia pode então ser interpretada como uma assimilação da realidade à ação própria, enquanto que o fenomenismo corresponde à acomodação imposta pelas circunstâncias empíricas (CR, 276). Piaget menciona ainda, apontando para uma evolução futura do desenvolvimento cognitivo, que, enquanto expressam a interação entre sujeito e objeto, assimilação e acomodação constituem, em sua forma sensório-motora, a primeira, a base da dedução, e a segunda a origem da experiência.

4. A noção de esquemas e os ensaios teóricos desenvolvidos no contexto das pesquisas sobre concepções espontâneas em mecânica.

As análises até agora realizadas, a propósito da causalidade física na criança, e da causalidade sensório-motora, e ainda, a respeito da evolução histórica da física, apresentam todas elas um elemento em comum: a variação da localização da causa de um movimento. Além de que, situando a causa no objeto móvel, ou fora dele, varia-se também a natureza da causa.

Nas interpretações animistas das crianças entrevistadas por Piaget em 1927, o movimento explica-se pela força e vontade que tem o objeto para locomover-se, associadas à exigências morais que lhe são impostas por deuses ou seres inteligentes: a causa, nestas respostas, é psicológica e moral. Mas há também as explicações que mencionam a "força" do objeto móvel, ou um impulso, que lhe seriam transmitidos desde fora, por um agente externo. Este tipo de resposta, que entende ainda que tais forças e impulsos gastam-se pro-

(*) O termo "acomodação" substitui, e de forma definitiva, a expressão "imitação", utilizada por exemplo no texto de 1927 sobre a causalidade física. Apesar da mudança de vocabulário, a idéia permanece sensivelmente a mesma: ambas a imitação e a acomodação retratam o processo que consiste em absorver a pressão da realidade, modificando os instrumentos de assimilação (esquemas).

gressivamente, é evidenciado em diferentes estudos sobre concepções espontâneas em mecânica (*), que apontam sua semelhança com as teorias medievais do impetus. As respostas obtidas parecem sugerir, nesse caso, uma causa objetiva, no sentido de localizada no mundo dos objetos.

A explicação do movimento pela mecânica clássica parece exigir o abandono de qualquer intuição ou modelo antropomórfico. As causas situam-se nos objetos, mas enquanto existe entre eles uma interação, que seria expressa com o princípio de ação e reação (a 3a. lei de Newton). A interpretação da mecânica clássica afirma ainda que o movimento linear com velocidade constante não requer uma explicação: é um estado, que tende a conservar-se, assim como o repouso (**). No entanto, vale notar que, no mundo em que vivemos, os objetos que se movem - trens, carros, barcos, ou o livro que faço escorregar sobre a mesa - estão submetidos à resistências e atritos. Por essa razão, nenhum destes objetos movimenta-se sozinho. A idéia de que um objeto pode deslocar-se com uma velocidade constante, sem nenhuma intervenção externa, é dificilmente acessível na experiência cotidiana(***). Esta experiência, portanto, parece sugerir uma interpretação do movimento que não é aquela proposta pela mecânica clássica (****).

Configura-se então um problema: quais os elementos ou fatores que geram e determinam as respostas das crianças, adolescentes e alunos universitários? O que está "por trás" de suas respostas?

Se, em 1927, dirigíssemos esta pergunta a Piaget, ele nos explica-

(*) O estudo de L. Viennot (1979) foi o primeiro a utilizar a expressão "capital de força". Vale lembrar que L. Mc Dermott (1984) apresenta uma revisão das pesquisas sobre concepções espontâneas em mecânica.

(**) Esta formulação encontra-se, por exemplo, em Gilbert & Zylbersztajn(1985).

(***) Existem experiências "não-cotidianas", de laboratório, que permitem criar situações onde o atrito torna-se desprezível, através da utilização de trilhos de ar ou mesas de gelo.

(****) A esse respeito, Ogborn (1985, p.147) sugere uma análise, do ponto de vista da conceituação física, sobre "how organisms living in a Newtonian world can have experiences that would lead naturally to their developing a non-Newtonian theory...".

ria (e ele o faz de fato em seu texto) que a resposta da criança é determinada por esquemas motores, dos quais ela habitualmente não tem consciência, mas que definem sua leitura da realidade. A origem do esquema, que subjaz às interpretações sobre o movimento, é atribuída à experiência interna e subjetiva de esforço, feita de sensações musculares. Além da experiência interna, a experiência física sobre os objetos também gera sensações, e participa assim da formação do esquema (*). Há que considerar, ainda, que a resposta da criança, assim como os esquemas que o determinam, são por sua vez submetidas a outro fator: a lógica infantil, em sua expressão transdutiva e depois dedutiva.

A noção de esquema adquire precisão com os estudos sobre a inteligência sensório-motora. Analisamos, há pouco, como o esquema de assimilação, cuja origem situa-se na ação do bebê sobre os objetos, proporciona uma experiência simultaneamente subjetiva (sensações proprioceptivas) e objetiva (sensações registradas no objeto).

Mas também os pesquisadores da área de ensino e aprendizagem da física buscam interpretações para as respostas dos alunos.

No decorrer de uma primeira etapa em que eles dedicaram-se predominantemente à identificação e análise das concepções alternativas em física, começaram a surgir preocupações de ordem teórica, visando descrever e explicar as características de tais concepções. Inaugurava-se, com essas perguntas, uma segunda fase de trabalhos (**).

Para L. Viennot (1985), assim como para J. Ogborn (1985), o número considerável de dados obtidos sobre concepções espontâneas ou al-

(*) Vale observar que em seu texto (1927, pp.129-131), Piaget explica claramente a origem interna, enquanto que a origem externa do esquema parece justificar-se através da idéia que as sensações decorrem de uma experiência sobre o mundo objetivo, iê, de um aporte externo.

(**) A caracterização destas preocupações teóricas foi abordada por M.C. Dibar Ure (1987), e em suas idéias nos baseamos, para abordar este tema.
Cabe observar que referimo-nos aqui às pesquisas desenvolvidas na Europa. É precisamente durante um "Workshop on Physics Education", realizado em 1983 em La Londe les Maures (França), que se evidenciaram tais preocupações teóricas. Das discussões ali desenvolvidas, resultaram em particular, três artigos, publicados em 1985: o de P. Guidoni - On natural thinking; o de J. Ogborn - Understanding students' understandings: An example from dynamics; e o de L. Viennot - Analysing students' reasoning in science: A pragmatic view of theoretical problems. Estes são os três artigos que pretendemos aqui discutir.

ternativas pode ser analisado em termos de perguntas e respostas: de um lado, as perguntas variadas formuladas pelos pesquisadores a propósito de situações específicas que recobrem diversos temas de física; e do outro, as respostas dos alunos, que apresentam padrões de regularidade(*). O problema, para esses dois autores, consiste em estabelecer uma relação entre ambos os termos, ou, em outras palavras, em identificar por que certas perguntas suscitam determinadas respostas. Para tanto, torna-se necessário desenvolver um modelo teórico, que ofereça, se não uma explicação, ao menos uma descrição das respostas, em sua vinculação com os problemas e perguntas que as determinaram.

J. Ogborn propõe-se então a elaborar "a theory - ou ainda, a more or less formalized version - of the ordinary person's commonsense theory of motion" (p.145). E para tanto, sugere possíveis termos, que seriam constitutivos das interpretações do leigo a respeito do movimento, e cuja origem situar-se-ia nas noções do sujeito sobre o mundo, na linguagem, e/ou na interação social. Dois termos básicos, em uma teoria do movimento de senso comum, seriam: "support" ("support" - se um livro é suportado por uma mesa, ele não cai), e "cair" ("falling" - sem suporte, as coisas caem). Há ainda, para os movimentos que não são de queda, o termo "esforço" ("effort"), que pode ser o esforço de um agente externo sobre o objeto móvel, ou um esforço gerado pelo próprio objeto, ou ainda, um esforço do movimento do objeto.

L.Viennot, por sua vez, discute o processo ele mesmo de interpretação das respostas dos alunos pelo pesquisador, e os critérios que deveriam presidir à elaboração de um modelo teórico. Considera que a interpretação das respostas dos alunos baseia-se em inferências do pesquisador quanto aos raciocínios, concepções ou "frameworks" utilizados pelos alunos e subjacentes às suas respostas. Ela propõe então a noção de elementos mediadores hipotéticos - que corresponderiam "ao que está na cabeça do aluno" (a expressão não é de Viennot). Tais elementos são descritos de maneiras variadas por autores diferentes - e P. Guidoni, em um artigo que analisamos a seguir, fala em "protótipos", que para Viennot constituem

(*) Essas regularidades referem-se ao conteúdo das respostas, ié, à conceituação física utilizada pelo aluno (ver os artigos de revisão L. Mc Dermott (1984) ou de A. Zylbersztajn (1983)), ou a certas características, como por exemplo a persistência das respostas apesar do ensino (ver o artigo de R. Driver, 1984).

um exemplo de elemento mediador - mas referem-se em geral ao modo como os alunos lêem e interpretam as situações e perguntas que se lhe apresentam nas investigações. Os elementos mediadores proporcionam então uma hipótese quanto à determinação, ou relação, entre as respostas dos alunos e as situações que lhe são propostas.

P. Guidoni (1985) refere-se, em seu artigo "On natural thinking", a esquemas cognitivos, que denomina "protótipos". Exemplos destes esquemas são o protótipo da "mola", ou o protótipo do "cair", cuja função é "stabilizing and making coherent our cognitive approach to (way-of-looking-at) a given context" (p.136). Os protótipos constituem assim os instrumentos de que dispõe o indivíduo para ler e interpretar a realidade. A utilização de protótipos está vinculada a uma aproximação rápida, econômica, e bastante eficaz da realidade, que prescinde de conhecimentos formais. Tal aproximação é característica do "natural thinking", expressão por Guidoni utilizada, para retratar um processo essencialmente dinâmico, de natureza cognitiva, e indissociável dos outros processos psicológicos (como a linguagem, ou a percepção). A função deste processo cognitivo é promover uma adequação ("fit") entre contextos ou situações objetivas, e determinações ou intenções subjetivas. Para tanto, criam-se "esquemas duplicadores", que representam estes vários elementos, objetivos e subjetivos. A estes esquemas-duplicadores Guidoni dá o nome de protótipos. Os protótipos constituem então a "espinha-dorsal" de um pensamento natural, os instrumentos que subjazem a leitura e interpretação da realidade.

Os ensaios teóricos destes três pesquisadores da área de ensino e aprendizagem de física comportam uma certa analogia com a interpretação de Piaget, nos anos 20 e 30. Todos analisam os mecanismos através dos quais um sujeito lê e interpreta a realidade. Mas - e aí reside uma importante diferença - enquanto que Piaget concebe os esquemas de assimilação essencialmente como formas interpretativas (desprovidas de conteúdos), P. Guidoni e, em particular, J. Ogborn, evidenciam as conceituações que determinam a interpretação da realidade. Nesse sentido, protótipos e termos assemelham-se muito mais a esquemas conceituais.

- CAPÍTULO IV -

AS EXPLICAÇÕES CAUSAIS (1971)

Com "Les explications causales", publicado em 1971, Piaget encerra, com a colaboração de R. Garcia, o estudo da causalidade na criança. Esta obra pretende portanto apresentar um ponto de vista definitivo para a abordagem psicogenética do tema. As discussões prosseguiram todavia no âmbito epistemológico: em "Les théories de la causalité" (1971) e "L'explication dans les sciences" (1973), vários autores de diferentes disciplinas apresentam suas contribuições para a análise epistemológica da causalidade.

O estudo "Les explications causales" (*) divide-se em duas partes. A primeira, de autoria de J. Piaget, aborda o tema "Causalité et opérations". A segunda parte, de R. Garcia e J. Piaget, trata de "Explications physico-géométriques et réductionnisme". O capítulo IV do nosso ensaio focaliza unicamente a primeira parte, relativa ao estudo psicogenético da causalidade; não utilizamos em nenhum momento a segunda parte do trabalho de Garcia e Piaget.

O texto de J. Piaget sobre "causalidade e operações" apresenta características peculiares. Piaget e seus colaboradores realizaram cem experimentos, sobre os mais variados temas (**). Mas, ao invés de seguir sua técnica habitual de redação, que consiste em descrever a metodologia experimental e os resultados obtidos, para depois proceder às análises, interpretações e discussões, Piaget modifica seu estilo. Dessa vez, ele inicia seu trabalho definindo um problema (***) - quais as relações entre operações e causalidade - para apresentar depois sua hipótese (***) - causalidade e operações desenvolvem-se através de interações recíprocas. Apresenta então, em 17 pequenos capítulos, uma discussão das relações entre certos tipos de operações e conjuntos de problemas ou experimentos que se agrupam em torno de um mesmo tema geral. Não há, no corpo do texto, uma descrição detalhada dos experimentos; o leitor deve contentar-se com as brevíssimas referências incluídas no texto, ou buscar informações complementares nas publicações que, após 1971, apresentaram essas pesquisas (****).

A redação do texto de Piaget sobre causalidade e operações é, portanto, de difícil leitura e compreensão. E uma apresentação de suas idéias, nos padrões adotados para os capítulos anteriores de nosso ensaio, resultaria um tanto confusa. Por isso modificamos nosso método de trabalho. Não seguiremos, nesse capítulo IV, a

(*) As referências a esta obra utilizarão o símbolo "EC", seguido da página em que se encontram.

(**) Apresentamos em anexo a lista destes cem experimentos.

(***) Não desenvolvemos aqui o problema e as hipóteses formuladas por Piaget, que serão formulados mais adiante.

(****) Vale dizer que alguns dos experimentos, realizados vários anos antes, já haviam sido publicados em 1971.

organização e encadeamento propostos por Piaget em seu texto original. Realizaremos uma análise, que focalizará problemas e hipóteses, e os conceitos que fundamentam a interpretação de Piaget sobre a causalidade.

Além do mais, introduziremos referências a outras obras, como "Les théories de la causalité" (1971) e "L'explication dans les sciences" (1973), com o intuito de esclarecer alguns pressupostos implícitos do texto original das "Explications causales".

A organização deste capítulo será então a seguinte.

I . Uma introdução.

Aqui pretendemos uma primeira definição ou aproximação do que é "uma explicação causal", e de qual é seu objeto.

II. A explicação: o ponto de vista da física.

Esta parte está baseada em artigos publicados em "Les théories de la causalité" e "L'explication dans les sciences", de autoria de F. Halbwachs e R. Garcia, ambos com uma formação básica em física, e conhecedores e/ou colaboradores dos estudos de J. Piaget. O ponto de vista destes dois autores define o que é uma explicação física: discutem a causalidade em um sistema teórico, a Física, e em sua formulação mais evoluída - a formulação científica. As contribuições de Halbwachs e Garcia resumem, em nosso entender, o ponto de chegada de uma evolução psicogenética. Ao apresentá-las, pretendemos esclarecer os pressupostos implícitos que levam Piaget a conceber a causalidade como o faz.

III. A interpretação psicogenética.

1. A contribuição do sujeito na formação do conhecimento: as operações cognitivas.

Iniciaremos com uma breve apresentação a propósito das estruturas cognitivas, que descrevem os instrumentos de que dispõe o sujeito para conhecer a realidade.

2. O problema e as hipóteses.

Esta parte explicita o problema e hipóteses por Piaget formulados, ao abordar o estudo das explicações causais.

3. As características psicológicas da explicação causal.

Baseados na caracterização (mais acima apresentada) da explicação física, buscamos estabelecer, a partir do texto sobre causalidade e operações, as características correspondentes da explicação causal, quando elaborada por um sujeito epistêmico.

4. A gênese da explicação causal.

Esta parte descreve as etapas de construção da explicação causal, do período pré-operatório ao período das operações formais, apresentando exemplos de algumas experiências utilizadas com as crianças.

5. A interação entre causalidade e operações: problemas e interpretação.

Esta parte final, que retrata ainda as idéias de Piaget, trata da interpretação e modelo teórico que explicam a gênese das explicações causais.

Após a análise do texto sobre "Les explications causales" (1971), a segunda parte deste capítulo IV destinar-se-á aos comentários e observações críticas.

- PRIMEIRA PARTE -

Uma análise das explicações causais
segundo J. Piaget

I- Uma introdução

A causalidade, no sentido mais amplo da palavra, refere-se a "toute explication d'un phénomène matériel" (EC, 7).

Explicar é buscar a razão das coisas. Explicar um fenômeno material consiste em identificar, explicitar, expressar como produziu-se: explicar é desvendar o "mode de production" (Piaget, 1973, p.11) dos fenômenos.

Quando, por exemplo, uma bola de gude vem empurrar outra, antes em repouso, ou quando a água ferve e evapora-se, produz-se um evento novo: a bola de gude inicialmente em repouso move-se; forma-se vapor de água. A situação de origem transforma-se e surgem novos elementos, ao mesmo tempo que outros mantêm-se constantes.

Explicar o modo de produção de um fenômeno consiste, de um lado, em mostrar como originou-se o fenômeno a partir da transformação de uma situação inicial. Por outro lado, a explicação evidencia os elementos novos, não presentes inicialmente, bem como aqueles que se conservaram ao longo das transformações. A explicação causal assim engloba os dois aspectos de transformações e conservações.

A explicação causal refere-se a um fenômeno material: tem por objeto a realidade. Baseia-se no pressuposto de que os objetos existem e interagem entre si, independentemente do sujeito que os observa e explica. O pressuposto realista, que afirma a existência do real, caracteriza a interpretação piagetiana da causalidade. Segundo Halbwachs, o físico tampouco questiona a existência do real: "placé en face d'un phénomène à expliquer, il cherche fonctionnellement à le comprendre au moyen d'un rapport causal auquel il attribue le même degré de réalité qu'aux objets mêmes dont ce phénomène est le siège" (Halbwachs, 1971, p.20). Este tema será retomado mais adiante. Por enquanto interessa observar que, é esta realidade, em sua dinâmica e funcionamento, em sua complexidade de relações e interconexões, que o sujeito apreende e retrata, sob a forma de uma explicação causal.

A causalidade envolve então, por um lado, um universo de objetos

e suas interações, e do outro, um sujeito que, com seus instrumentos cognitivos, busca desvendar e conhecer esta realidade.

Mas, e é este, segundo Piaget, o problema central para o estudo da causalidade, os ensaios explicativos do sujeito esbarram e confrontam-se à realidade, que pode comprová-los, ou resistir, desmentindo-os.

O sujeito possui instrumentos de conhecimento: as operações. Em seu estado mais evoluído, as operações cognitivas são abstratas; aplicam-se a todo tipo de objeto, e independem de conteúdos específicos. O conhecimento que delas deriva é de natureza formal, e não é possível comprovar empiricamente a verdade de tal conhecimento: também a lógica e a matemática prescindem da realidade para estabelecer seus critérios de verdade (*).

Mas a explicação de um fenômeno material é um processo diverso: tem por suporte uma realidade empírica, que pretende retratar. A explicação causal - e todo conhecimento empírico, como por exemplo a física - depende da realidade empírica para sua própria elaboração, e também, para assegurar e comprovar sua verdade. Exatamente por isso, um estudo da causalidade deverá considerar, e evidenciar, o papel do objeto na formação da explicação. A esse respeito, uma análise dos trabalhos realizados a partir de 1960 por Piaget e sua equipe^(**) revela uma intenção explícita de "mieux connaître le rôle de l'objet dans l'activité du sujet" (p.299), através do estudo desenvolvido em "Les explications causales". Nossa análise pretende mostrar se tal objetivo foi alcançado, ou não.

(*) Pode-se, mas este não é um problema de verdade, encontrar um domínio empírico de aplicação para um sistema formal. A esse respeito, Garcia (1973) discute as diferenças entre os modelos físico e matemático.

(**) Trata-se de um estudo realizado por C. Monnier & A. Wells (1982), sobre os trabalhos recentes do "Centre International d'Epistémologie Génétique", das quais eram colaboradoras naquela época.

II- A explicação em física: o ponto de vista de F. Halbwachs e R. Garcia.

A explicação em física é objeto de reflexão para os cientistas desta área, e em particular para F. Halbwachs e P. Garcia, cuja colaboração com Piaget resultou em várias publicações.

A apresentação que aqui fazemos de algumas destas reflexões tem por objetivo caracterizar a explicação física em seus estágios mais avançados, qual seja a sua formulação científica. Ora, a ciência representa, na abordagem de J. Piaget, o ponto de chegada para o qual tende o sujeito epistêmico em sua evolução (*). Entendemos assim que a explicação vista pela física fundamenta o estudo psicogenético da causalidade.

Realidade e conhecimento

A abordagem científica do tema da causalidade difere do tratamento filosófico que lhe é dado.

A física adota claramente uma posição realista, recusando assim a discussão sobre a existência do real. Segundo Halbwachs (1971,b), para a física existem dois planos distintos (**). O primeiro é o plano ôntico, da realidade:

Il existe un monde physique et des objets physiques réels engagés dans des interactions et des transformations qui s'opèrent indépendamment de l'homme, sauf dans la mesure où celui-ci intervient comme

(*) Halbwachs (1971,a), ao discutir a utilidade para os estudiosos da causalidade infantil, em conhecer a concepção de causalidade do físico adulto e contemporâneo, caracteriza esta última como "l'aboutissement de la genèse qu'ils étudient" (p.19). Quanto ao sujeito epistêmico, voltaremos a ele um pouco adiante.

(**) Sem pretender abordar o contexto histórico desta distinção, vale mencionar que Halbwachs, em outro artigo (1973), mostra como a evolução da física resulta, com o advento da física quântica, em uma "conscience nette de la distinction entre le niveau de la théorie...et le niveau de l'expérience ..." (p.93). Afirma ainda que "c'est à cette occasion que s'est précisée en physique la notion même de modèle théorique..." (p. 93-94), que é central para a discussão que aqui segue.

étant lui-même un objet physique et agissant sur les autres objets physiques d'une manière spécifique, mais sur le même mode d'existence. (p.39)

Ao lado do plano ôntico, real, surge um outro plano, próprio da cognição: é o plano epistêmico.

Les interactions entre l'homme et le monde physique font surgir dans son champ de conscience tout un continuum de sensations qui, élaborées par l'intelligence, constituent dans l'esprit une représentation du monde physique. (ibid., p.40)

As abordagens científica e física, em seu pressuposto explícito de um realismo, pretendem então

décrire aussi exactement que possible dans leurs modèles épistémiques des rapports réels existant au plan ontique, et c'est un rapport réel qu'ils s'efforcent de refléter sous la catégorie de causalité. (ibid., p.41)

Qual o objeto da física? O que, precisamente, é focalizado na imensidão do real?

Define-se - e a constituição do objeto de estudo situa-se no plano epistêmico - um sistema físico, com seus componentes. Define-se, ainda, um número finito de propriedades que caracterizam o sistema, e são expressadas em termos de grandezas. A um determinado valor dessas grandezas corresponde um estado do sistema; e a variação desses valores define um conjunto (um "espaço" abstrato) de estados do sistema. A mudança de estado é a passagem, ou evolução em função do tempo, de um estado para outro.

A explicação física tem por objeto esta mudança ou transformação e propõe-se a " 'rendre compte'... des changements qui se produiront effectivement dans le système..." (Halbwachs, 1973, p.78).

O modelo: uma representação da realidade.

Mas como explicar as transformações do sistema físico? Como conciliar os dois planos, da realidade e do conhecimento, quando se considera, no século XX, que existe "une irréductible différence de nature entre les concepts de la théorie physique et les objets de la réalité physique..." (ibid., p.95).

A busca de uma explicação resulta na construção de um modelo, que

represente (*) a realidade: um modelo da realidade. Assim, se o sistema físico considerado caracteriza-se por uma mudança de estado, ou, em outras palavras, por uma transformação de uma situação inicial para uma situação final - transformação essa que podemos "opérer avec nos mains" (ibid., p.97), e que situa-se no plano da experiência -, então o modelo epistêmico que lhe corresponderá também será feito de transformações, mas téóricas.

Uma explicação supõe então que se estabeleça uma relação de representação, ou correspondência, entre realidade e modelo. E tal relação deve expressar um acordo, passível de verificação, entre o modelo e a realidade, entre teoria e experiência. Essa constitui a primeira característica de um modelo explicativo. A segunda é nas palavras de Garcia, "la 'nécessité' inhérente à tout schéma explicatif, dans la mesure où il s'agit d'une déduction logique" (Garcia, 1973, p.114).

A distinção entre teoria e experiência fundamenta, e esclarece, essas duas características: "les objets intellectuels... sont seuls capables d'entretenir des relations rigoureuses et formalisables..." (Halbwachs, 1973, p.95), enquanto que "les objets matériels de la réalité physique... sont les seuls garants du rapport avec le réel expérimental..." (ibid., p.95).

O modelo enquanto sistema explicativo.

Necessidade e dedução

Un modèle physique...

Dans le modèle il y a des fonctions qui relient des variables par le moyen d'opérations logico-mathématiques, et dans lesquelles interviennent certaines constantes; il y a aussi des schèmes déductifs qui nous permettent de transformer les fonctions, de les relier et de calculer leurs valeurs. (Garcia, 1973, p.114)

O modelo teórico não se preocupa, portanto, com noções ou objetos isolados, mas focaliza as relações funcionais: constitui "un système de relations, avec en plus, une interprétation précise des termes qui y interviennent" (ibid., p.114). Tais relações são

(*) É muito clara, a esse respeito, a expressão de Planck (citada por Halbwachs, 1973, 0.96): "une image représentative physique, qui est un monde de concepts pensés..."

formuladas matematicamente e, conseqüentemente, o sistema de relações obedece às regras formais da matemática: operando dedutivamente, o sistema resulta então em proposições logicamente necessárias.

A correspondência com a realidade.

A continuação da citação acima trata da correspondência entre o modelo e a realidade, segunda característica de um modelo explicativo para a física:

... aux constantes et variables dans le modèle, correspondent, dans le monde physique, les propriétés des objets; aux fonctions, correspondent les liaisons "réelles" entre les propriétés; et aux schèmes déductifs, correspondent des relations causales. (ibid., p.114)

Fica definido assim, e com a contribuição da própria física, o que é um modelo explicativo. Essa definição, vale lembrar, indica o ponto de chegada ("l'aboutissement") para o qual tenderá o sujeito epistêmico ao longo de seu desenvolvimento. Esse, portanto, é o contexto dentro do qual Piaget aborda o estudo psicogenético da causalidade.

III- A explicação causal: uma interpretação psicogenética.

Pretendemos agora apresentar a interpretação psicogenética da causalidade, segundo o texto de 1971, "Les explications causales".

Antes de iniciar esta apresentação, cabe uma observação. Ao abordar o estudo sobre as explicações causais, no final dos anos 60, Piaget já havia elaborado um sólido arcabouço teórico. Esse estudo diferencia-se portanto das análises anteriores sobre o tema, apresentadas em 1927 e 1937. "La causalité physique chez l'enfant" (1927) e "La construction du réel" (1937 - esta última focalizando a causalidade no período sensório-motor) lançam as bases para uma psicologia genética, e antecipam vários conceitos e pressupostos fundamentais. Mas seguiram-se depois, até 1971, um conjunto impressionante de estudos, que resultaram precisamente em um modelo teórico de grande força conceitual. O período que se estende desde os anos 40, e até o final dos anos 50, foi caracterizado como genético-estruturalista: Piaget volta toda sua atenção para as estruturas operatórias, e descreve extensamente esses instrumentos cognitivos que são as operações intelectuais. Define ainda um sujeito epistêmico que, ao reunir aquilo que há de comum em vários indivíduos (*), toma o lugar e suplanta a criança com toda sua individualidade. A gênese desse sujeito epistêmico retrata então "la voie royale" que desabrocha no pensamento científico, em detrimento de todos os caminhos divergentes e alternativos.

Assim é que o estudo das explicações causais, em 1971, insere-se em um contexto teórico, que já havia revelado quem era o sujeito conhecedor, e quais seus instrumentos de conhecimento. Faltava, no entanto, abordar o problema do objeto, ou ainda, a formação de um conhecimento empírico. A retomada do estudo da causalidade pretendia preencher esta lacuna.

(*) A expressão é de Piaget (1970): L'épistémologie génétique, um dos raros textos (que conheço) onde se define o sujeito epistêmico.

1. A contribuição do sujeito na formação do conhecimento: as operações cognitivas.

Os instrumentos cognitivos.

A operação é um tipo de ação, já não mais efetiva e material, e sim, interiorizada. Operar sobre objetos consiste em reuni-los, enumerá-los, ou classificá-los segundo suas semelhanças e diferenças; ou ainda, operar sobre um objeto é decompô-lo em partes, e deslocar essas partes para formar novas configurações... Operar sobre objetos tem por consequência transformar a realidade, organizando-a de modo inteligível, através da introdução de propriedades que decorrem da ação operatória. Nesse sentido, as operações cognitivas são formas organizativas que, aplicadas à realidade, tornam-a inteligível.

As operações são então transformadoras da realidade: são transformações. Mas o são também em outro aspecto. Com efeito, as operações compõem-se em sistemas, segundo certas regras ou relações. Um sistema reúne aquelas operações que podem ser derivadas, ou transformadas umas nas outras: assim, por exemplo, a operação "reunir" está relacionada com a operação "dissociar", e a relação entre ambas é de inversão ou negação. À cada operação corresponde uma outra operação, que dela é uma transformação, e com ela pode compôr-se. Os sistemas operatórios reúnem tais conjuntos de operações, que são coordenados, organizados segundo certas relações. Um sistema de operações é um conjunto coordenado de transformações, que é de natureza formal, pois que independe dos objetos. A natureza formal, ou lógico-matemática das estruturas operatórias - e a fortiori, de seus componentes, as operações - explica-se: "elles tiennent aux propriétés des actions ou opérations, et non pas des objets..." (*) e, exatamente por essa razão, "leur accord avec les 'objets quelconques' demeure assuré en ce sens qu'aucune expérience physique ne saurait les démentir..." (Piaget, 1970, p.94).

As estruturas operatórias descrevem portanto os instrumentos cogni-

(*) A título de lembrança: a operação cognitiva é construída a partir das coordenações de ações sensório-motoras, através do mecanismo da "abstraction réfléchissante". Este mecanismo descreve como "l'information est tirée, non pas des objets, ..., mais des actions ou opérations du sujet en tant que coordinations..." (EC, 128).

tivos do sujeito, e expressam como ele procede quando pensa, e conhece. As operações, enquanto instrumentos cognitivos, instrumentos do pensar, tornam possível o conhecimento. Trata-se agora de analisar qual é esse conhecimento, gerado através das operações cognitivas.

O conhecimento: descrição e explicação.

Descrição e explicação, legalidade e causalidade são teoricamente distinguidas, apesar de serem decorrentes , na prática, de um mesmo processo, o de elaboração de conhecimento.

A observação, ou leitura da realidade, exige que se estabeleçam, por exemplo, semelhanças e diferenças entre fenômenos, ou correspondências com situações análogas, para qualificar o observável. Tais qualidades não são inerentes ao objeto, mas introduzidas pelas ações e operações do observador: decorrem da aplicação de formas assimiladoras à realidade. A observação é portanto uma interpretação da realidade, executada com os instrumentos cognitivos do sujeito.

Desde já, vale dizer que nesse processo, intervêm a abstração empírica ou simples, e a abstração "réfléchissante" (*), cada qual preenchendo uma função, como o mostra Piaget: "les faits et les lois... portent sur les propriétés observables des objets et leurs variations, qui sont découvertes les unes et les autres par abstraction simple (à partir des objets). Par contre, la lecture même de ces faits suppose déjà l'utilisation d'instruments d'assimilation (classes, relations, mesures, etc.) dont la formation relève de l'abstraction réfléchissante" (EC, 20).

A constatação de regularidades, quais sejam, fenômenos ou relações que se repetem, resulta então em uma descrição da realidade, que se expressa habitualmente em termos de leis gerais.

Mas uma descrição, baseada na observação ou constatação de regularidades, não assegura que uma lei ocorrerá para todo o sempre: o conhecimento descritivo não comporta uma necessidade intrínseca. Tampouco desvenda a razão dessa lei, que subjaz a aparência, o fenômeno regular. A descrição permanece no âmbito limitado da legalidade, do fenômeno; não assenhora-se de um "universo objetivo",

(*) A tradução de "réfléchissante" varia conforme as traduções: encontram-se os termos: refletente, e refletidora. Por isso mantenho o termo original em francês.

nem desvenda o porquê das coisas. Ao lado da descrição, e complementando-a, há outro tipo de conhecimento: a explicação.

Assim, a aplicação de formas operatórias à realidade, que está na base da observação, do conhecimento descritivo, da legalidade enfim, não basta para mergulhar para além do fenômeno, para "conquistar a realidade externa" (Inhelder, 1980, p.29), e aproximar-se do objeto. A explicação física, tomada como referência para o estudo da causalidade na criança, supõe a existência dos objetos; postula ainda entre eles, uma relação causal que não é observável; e exige do sistema explicativo que ele seja logicamente necessário, ao mesmo tempo que confirmado pela experiência.

2. O problema, e as hipóteses

O problema da causalidade, no contexto acima delineado, trata das relações entre os instrumentos cognitivos do sujeito, e a explicação causal.

Três hipóteses são formuladas quanto a essas relações. A primeira considera que as estruturas operatórias, originadas na ação do sujeito, constituem a única forma possível de conhecimento - "la forme nécessaire de toute connaissance" (EC, 9) - e portanto modelam e determinam a causalidade, que "ne constituerait qu'une sorte de réplique ou de série de répliques successives des structures opératoires graduellement acquises" (EC, 12).

A segunda hipótese subordina as operações cognitivas ao desenvolvimento das estruturas causais. A relação causal constituiria um dado psicológico primitivo pois que toda ação comporta um aspecto causal, e esta experiência da causalidade daria origem às operações enquanto "reflet intériorisé puis formalisé des notions causales successivement imposées par le réel au sujet" (EC, 15).

A hipótese piagetiana nega a primazia de um ou outro termo, e postula uma interação entre ambos:

notre hypothèse sera que, à tous les niveaux, l'élaboration de la causalité procède en interaction avec celle des opérations, ce qui revient à dire que chacun des deux développements favorise l'autre... (EC, 18).

O objetivo do estudo da causalidade consiste precisamente em caracterizar esta interação entre as operações cognitivas e a explicação causal.

Desde já, pode-se supor, como o faz Piaget:

puisque la causalité procède de l'action propre avant d'être généralisée aux relations entre objets (*), et puisque les opérations de leur côté dérivent des actions et de leurs coordinations, (que), plus on remonte haut, plus les actions du sujet seront indifférenciées, donc simultanément pré-opératoires et causales, tandis qu'avec le progrès des opérations il y aura tout à la fois différenciation et collaboration, dans un sens qu'il s'agira de dégager. (EC, 19).

3. As características psicológicas da explicação causal

A abordagem da causalidade, segundo a perspectiva da física, possibilitou uma primeira caracterização de um sistema explicativo. Trata-se, agora, de analisar e caracterizar a explicação causal de um ponto de vista psicológico.

- (i) A explicação como atribuição de uma forma operatória à realidade: o acordo entre pensamento e realidade.

A causalidade é definida como

un système d'opérations, mais attribuées aux objets, c'est-à-dire situées dans le réel, et tendant à exprimer ce que produisent ces objets lorsqu'ils agissent les uns sur les autres et se comportent en tant qu'opérateurs. (EC, 8-9).

A explicação causal tem por objeto transformações materiais, reais.

(*) É o que mostra o estudo da causalidade sensório-motora, apresentado no capítulo anterior.

Para desvendar o modo de produção de um fenômeno, a explicação deverá identificar transformações em meio aos aspectos que permanecem constantes.

Enquanto representa as transformações reais, a causalidade "consiste en un système de transformations" (EC, 20).

Ora, tal representação é elaborada com os instrumentos cognitivos do sujeito: as operações, que são elas próprias transformações. A ação transformadora exercida pelo objeto, corresponde uma outra ação, a do sujeito.

Les opérations reviennent à transformer le réel et correspondent ainsi à ce que le sujet peut faire des objets en ses manipulations déductives ou déductibles (c'est-à-dire d'abord matérielles, mais susceptibles d'une épuration formelle progressive), tandis que la causalité exprime ce que font les objets en agissant les uns sur les autres et sur le sujet... (EC, 11).(*)

De um lado, então, as ações e operações do sujeito. E do outro, as ações dos objetos. O que define e caracteriza a explicação causal é a atribuição das primeiras aos segundos: "dans la construction d'un modèle causal, les opérations en jeu ne deviennent explicatives que lorsqu'elles peuvent être 'attribuées' aux objets, puisqu'il s'agit de comprendre comment agissent ceux-ci" (EC, 21). A atribuição consiste em delegar aos objetos o poder de ação e transformação: são os objetos que operam as transformações reais. Os objetos constituem assim "operadores", que interagem e possuem "the property of being centres of action." (Inhelder, 1980, p.29)(**)

Vale dizer que atribuem-se menos operações particulares do que composições de operações, denominadas formas operatórias gerais, tais como a transitividade, a associatividade e distributividade, simetrias e proporções, etc.

A atribuição distingue-se, então, da aplicação das formas operatórias à realidade. E com isso, explicita-se a diferença entre causalidade e legalidade. No caso da aplicação, associada à legalida-

(*) A esse respeito, vale lembrar o paralelismo, mencionado em nosso capítulo II, entre as relações no plano da realidade, e sua representação, sob forma de implicações.

(**) A noção de atribuição evidencia claramente o pressuposto realista: "La causalité exige 'que l'objet existe'", afirma então Piaget (1970, p.104).

de,

lorsque le sujet se livre à des classifications, séries, dénombrements ou mesures, etc, c'est lui qui agit, tandis que les objets se laissent faire, sans imposer au sujet l'une de ces opérations plutôt qu'une autre.

Lorsque par contre une composition opératoire est attribuée à l'objet... ce sont les objets qui agissent... et c'est au sujet de se soumettre aux faits... (EC, 31).

O mecanismo de atribuição justifica e garante a semelhança, ou até mesmo um isomorfismo (*) entre as ações do sujeito e as ações entre objetos, as transformações cognitivas e aquelas objetivas e reais.

Tal semelhança é importante, pois que fundamenta e assegura a compreensão do mundo físico pelo sujeito. A inteligibilidade do real deve-se, com efeito, ao fato de que os objetos "constitueraient des sortes d'opérateurs fonctionnant comme ceux de notre raison..." (EC, 112).

Por outro lado, esta semelhança ou, para utilizar outra expressão de Piaget (**), a "convergence entre ce que font matériellement les opérateurs objectifs et ce que peut faire, en ses déductions, le sujet lui-même", tem por consequência o acordo entre a explicação e a realidade. Se as estruturas causais, "le système objectif des opérateurs en leurs interactions effectives" (***), são isomórficas às estruturas operatórias, então só pode haver um acordo entre o conhecimento originado nestas últimas, e a realidade.

Existe então uma relação entre estruturas operatórias e estruturas causais, mas que não significa uma derivação ou redução de umas para as outras. A relação é de isomorfismo ou de correspondência, e origina-se nas "raízes comuns do sujeito e dos objetos", ambos submetidos à leis da realidade (EC, 113). Ao agir sobre os objetos, o sujeito descobre tais leis. A ação em sua dupla origem, lógica e

(*) A expressão encontra-se em Inhelder, op.cit.

(**) Esta formulação é utilizada em "L'épistémologie génétique" (1970, p.104), a propósito da epistemologia da física.

(***) A definição de estruturas causais está em "Le structuralisme" (1968, p.36), a propósito das estruturas físicas. Vale observar que as estruturas causais estão localizadas na realidade objetiva, enquanto que a causalidade é uma construção do sujeito.

causal, funda a relação, e o acordo, entre conhecimento e realidade. (Esse assunto será retomado mais adiante).

ii) A explicação como sistema de transformações: a necessidade.

As operações coordenam-se em um sistema que as engloba: a estrutura. Uma operação cognitiva está sempre, e por definição, relacionada a outras operações, que dela derivam por transformações variadas. Estas operações, enquanto reunidas e coordenadas, compõem o sistema operatório.

Ora, a causalidade é um sistema de transformações, elaborado graças às operações cognitivas, e que representa as transformações operadas pelos objetos. Ao sistema coordenado de operações cognitivas, corresponderá um sistema de transformações objetivas, e, "le propre de la causalité est ainsi toujours de comporter un système de transformations, sans pouvoir se réduire à une relation simple de cause à effet..." (EC, 113).

Por outro lado, as formas operatórias, sejam elas operações simples ou composições de operações, possuem a propriedade de ser logicamente necessárias. Por que?

A estrutura ou sistema operatório reúne aquelas operações que mantêm entre si certas relações: são relações de inversão ou negação, como no exemplo das operações de reunião e dissociação. Há, ainda, relações de composição: a composição de operações de reunião e dissociação (para guardar o mesmo exemplo), resulta numa anulação das transformações operadas por cada uma delas; e assim, ao reunir, e depois, dissociar os objetos que estão sobre a mesa, volta-se à situação inicial. A composição entre uma operação e sua inversa constitui uma nova operação, denominada operação idêntica. Vale ainda dizer que, se as operações não são isoladas, mas reúnem-se em sistemas, também as relações entre operações coordenam-se para formar o sistema operatório (*). Uma relação isolada não é necessária: é apenas enquanto constituem um sistema que as relações são necessárias. Assim, a necessidade que caracteriza operações e relações está associada ao sistema que engloba umas e outras. As

(*) A esse respeito: R. Garcia, em um curso sobre "Sistemas, estruturas e evolução - Bases epistemológicas do trabalho interdisciplinar", realizado na Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo em agosto de 1986, caracteriza um sistema pelas relações existentes entre seus elementos.

relações entre as operações são formais: para serem estabelecidas, tais relações independem dos objetos sobre os quais são exercidas as operações.

No interior do sistema, as operações podem ser deduzidas umas das outras, ou da combinação entre várias delas: por isso, as formas operatórias são logicamente necessárias.

A explicação causal, originada da atribuição de uma forma operatória à realidade, também comporta um caráter de necessidade. A necessidade própria da forma operatória é atribuída às interações entre objetos, isto é, às relações causais.

A causalidade possui então três características básicas. Uma relação causal se obtém dedutivamente, a partir de um sistema, e, se é deduzida, é logicamente necessária. Distingue-se então de uma lei, que expressa uma relação geral, estabelecida através da observação. Ora, se a lei é observada, não é necessária, mas apenas geral (*). Finalmente, a relação causal não é observável: é construída pelo sujeito, que postula sua existência.

4. A gênese da explicação causal

A análise da gênese da explicação causal permite esclarecer a hipótese de uma interação entre o desenvolvimento das estruturas operatórias e a gênese da causalidade, bem como os diferentes aspectos anteriormente citados.

O ponto de partida, o dado primeiro da vida psicológica, é a ação:

(*) Piaget menciona, em vários textos (EC, (1971) ; L'épistémologie génétique (1970); Les relations entre le sujet et l'objet dans la connaissance physique (1967)), que existem leis obtidas por dedução; mas trata-se então de um processo que relaciona (através de inclusões ou generalizações) uma lei a outra, sem que isto lhes confira um caráter explicativo. Tal caráter se adquire quanto se atribui, ou quando há uma correspondência entre, o vínculo estabelecido logicamente e um vínculo real e objetivo.

uma ação efetiva e material, exercida pelo sujeito sobre os objetos que o cercam, ou seu próprio corpo. Originada nos reflexos hereditários, a ação sensório-motora evolui, para tornar-se uma ação representada, iê, exercida mentalmente, e finalmente, uma operação.

A ação, ponto de partida então da vida psicológica, e origem do desenvolvimento cognitivo, comporta dois caracteres indissociáveis: é causal, e lógica.

A qualidade causal da ação sensório-motora reside no fato que as ações sucedem-se temporalmente: não posso, por exemplo, subir as escadas e abrir a porta de casa ao mesmo tempo. As ações materiais organizam-se sequencialmente e estão sujeitas à irreversibilidade do tempo que passa. Vale dizer que as operações, definidas como ações interiorizadas, reversíveis, e coordenadas em sistemas, significam precisamente uma liberação relativamente a este aspecto temporal. Voltando à ação sensório-motora: ela é causal, ainda, porque exercida sobre objetos que são constitutivos e definidores de um espaço, e que comportam propriedades dinâmicas, como por exemplo a resistência ao deslocamento.

Mas a ação sensório-motora é, também, lógica: da repetição de uma ação, ou da coordenação entre ações decorre "une sorte de logique de l'action, comportant des mises en relations et en correspondances, des emboîtements de schèmes..., bref des structures d'ordre et de réunions qui constituent la substructure des opérations futures de la pensée" (Piaget, 1966, p.14). Essa "lógica da ação" independe dos objetos no sentido de que não se baseia nesse ou naquele objeto: as ações e suas coordenações dão origem a formas sem conteúdos.

A ação sensório-motora é simultaneamente causal e lógica. Inicialmente indiferenciados, estes aspectos evoluem depois em uma dupla direção. A componente causal está na origem da organização do mundo exterior em termos espaciais e temporais, cinemáticos e dinâmicos; está na base das coordenações entre objetos, externas: é o ponto de partida para os modelos causais. A componente lógica da ação está associada às coordenações entre as ações do sujeito que, enquanto ações exercidas pelo sujeito, são de natureza endógena(*). As coordenações entre ações evoluem e resultam enfim nas estru-

(*) A esse respeito, ver o artigo de Garcia: El desarrollo del sistema cognitivo y la enseñanza de las ciencias.

ras operatórias, que descrevem os instrumentos cognitivos do sujeito.

O desenvolvimento cognitivo consiste assim numa progressiva diferenciação dos aspectos lógicos e causais. A hipótese formulada a propósito da causalidade afirma que esta última é constituída em interação com as estruturas operatórias. Trata-se então de caracterizar tal interação, e isto é feito analisando as relações entre ambos os sistemas, ao longo do desenvolvimento.

A primeira etapa - após o período sensório-motor, cujo estudo havia sido realizado em 1937 - focaliza o período pré-operatório do desenvolvimento cognitivo. Nesta etapa, evidenciam-se contínuas interações entre a lógica e a explicação causal.

Assim, por exemplo, a característica de irreversibilidade, própria do pensamento pré-operatório, manifesta-se quando uma criança afirma que três blocos, superpostos verticalmente na ordem A-B-C, não pesam a mesma coisa que os mesmos três blocos colocados na ordem vertical inversa C-B-A.

A influência da componente lógica do raciocínio infantil, sobre a explicação de um fenômeno físico, verifica-se ainda nas experiências sobre a composição dos corpos (*). Essa experiências tratam da dissolução de açúcar (em cubos, como se encontra muito na Suíça, e menos no Brasil), ou de pastilhas de carvão, na água. A forma operatória, envolvida nessas situações, é a composição aditiva, que consiste das operações de partição, deslocamento, e reunião ou adição das partes, cuja composição resulta na conservação do todo. No estágio pré-operatório, não há conservação da matéria, e a dissolução do açúcar, ou de pastilhas de carvão em água, é explicada pelo desaparecimento dessas substâncias.

Há também uma influência recíproca da ação causal sobre as operações cognitivas, configurando dessa forma uma interação propriamente dita, e não apenas uma influência em sentido único.

Um primeiro exemplo refere-se às relações entre partes e todo. A-

(*) Cada experiência é designada com o símbolo R ("Recherche"), seguido de um número. Assim, as experiências aqui mencionadas sobre a composição dos corpos são R-21 e R-22, cuja referência encontra-se na lista, anexada ao final deste ensaio, de todas as experiências realizadas por Piaget e seus colaboradores.

presenta-se ao sujeito aproximadamente vinte contas de madeira, das quais umas quinze são marrons. Pergunta-se-lhe se um colar feito com as contas de madeira seria mais longo ou mais curto do que um colar feito com as contas marrons. O sujeito responde que o colar de contas marrons seria mais longo, porque, uma vez feito esse, sobrariam poucas contas de madeira para fazer outro colar. Verifica-se nessa resposta que o raciocínio desenvolvido pela criança está subordinado à ação causal. É-lhe impossível considerar simultaneamente a parte (as contas marrons) e o todo (as contas de madeira), pois cada um desses aspectos está vinculado à ação material de confecção do colar (*).

Neste período pré-operatório, o pensamento não é senão uma ação interiorizada e, enquanto tal, mantém as características da ação material, ao lado das possibilidades oferecidas pela interiorização. A interiorização da ação constitui uma conquista relativamente à ação sensório-motora, prisioneira do aqui e agora. Com a capacidade de evocar aquilo que não está presente, representando-o de algum modo (linguagem, desenho, etc), a criança obtém "une représentation d'ensemble" (**), que rompe e amplia os limites temporais e espaciais da ação. Mas as ações interiorizadas que caracterizam o pensamento pré-operatório são, ainda, ações: guardam o caráter de sucessividade próprio de toda ação material; não despreenderam-se suficientemente da realidade, e não possuem a mobilidade característica das operações, que lhes permite compor-se em sistemas lógicos.

O exemplo do colar, que trata da inclusão da parte no todo, mostra como o pensamento infantil procede por ações interiorizadas: ações que não mais precisam ser executadas materialmente, pois são representadas mentalmente; mas ações ainda, cujo encadeamento realiza-se passo a passo, assim como a ação sensório-motora.

Ora, se o pensamento pré-operatório consiste de ações interiorizadas, e se a ação é causal ao mesmo tempo que lógica, então há uma relativa indiferenciação entre a causalidade e as estruturas cognitivas deste período. A elaboração de cada um desses sistemas influencia a elaboração do outro: de um lado, a causalidade desta

(*) A esse respeito, Piaget (1947, p.144) afirma: "dans la mesure où la pensée pré-opératoire imite les actions réelles par expériences mentales imaginées, elle se heurte à cet obstacle qu'effectivement on ne saurait construire deux colliers à la fois avec les mêmes éléments..."

(**) Piaget (1947, p.131): La psychologie de l'intelligence.

primeira etapa do desenvolvimento (após o período sensório-motor) é marcada pelas características lógicas que são próprias do pensamento pré-operatório; e do outro, o desenvolvimento das estruturas cognitivas vê-se limitado pela sua proximidade e indiferenciação relativa com os aspectos causais do pensamento. Essa influência recíproca confirma portanto a hipótese de uma interação entre o desenvolvimento operatório e a gênese da explicação causal.

No segundo estágio de desenvolvimento cognitivo, as ações interiorizadas transformaram-se em operações, que são reversíveis e coordenadas em sistemas: as estruturas. O pensamento infantil adquiriu "un détachement" maior em relação à realidade, e em particular, aos aspectos causais da ação: assim é que a conservação de uma substância, como o líquido, resulta da composição (lógica) de duas diferenças, a diferença em altura e a diferença em comprimento dos dois recipientes a comparar. Tal composição era impossível no estágio anterior pois a coordenação das ações interiorizadas obedecia a uma sequência temporal.

As operações compõem-se em sistemas, e geram novas formas operatórias, como a transitividade, a distributividade, a aditividade ou a reciprocidade, para citar apenas alguns exemplos. A composição entre operações realiza-se por dedução, e as formas compostas que daí resultam são logicamente necessárias.

Ora, se as operações adquiriram um "détachement" relativamente à realidade, que consiste em abstrair os aspectos causais da ação da qual se originaram, então elas diferenciam-se, neste segundo estágio, da causalidade.

Mas tal diferenciação é, ainda, limitada. As operações concretas deste estágio II permanecem vinculadas aos objetos - e por isso mesmo são denominadas concretas, e não formais - pois tratam de uma realidade concreta, são exercidas a propósito de objetos materiais específicos. Não é possível, para uma criança desta etapa, operar com proposições abstratas, sem conteúdo, que podem representar esta ou aquela observação.

Como se manifesta então a interação entre causalidade e operações?

Quais as explicações causais apresentadas pelos sujeitos desta etapa?

Retomando o exemplo sobre a composição dos corpos: as respostas da segunda etapa de desenvolvimento operatório evidenciam as operações de partição, deslocamento e adição das partes. Os sujeitos mencionam pequenos grãos, de açúcar ou carvão, invisíveis a olho nu (operação de partição) que, se fossem novamente reunidos (deslocamento e adição), dariam lugar à quantidade inicial da substância utilizada. O progresso operatório reside na possibilidade de compor logicamente essas operações, composição essa que resulta precisamente na conservação, que passa a integrar a explicação causal. Percebe-se ainda, nesse exemplo, a característica central da causalidade, a atribuição das formas operatórias à realidade: são as pequenas partículas de matéria que interagem, gerando a reunião em um todo, ou sua fragmentação.

Verifica-se também uma influência recíproca, da experiência física e causal, sobre as estruturas operatórias deste segundo estágio. Um exemplo típico de tal influência é o fenômeno de decalagem, observado a propósito da conservação de quantidades físicas (*). Piaget atribui tal decalagem ao papel facilitador, ou não, dos conteúdos e situações apresentados ao sujeito. Vale lembrar que a resposta do sujeito é determinada, de um lado, por fatores internos: os instrumentos cognitivos, quais sejam, as operações do sujeito, que são formas, "construite(s) par l'activité du sujet pour structurer un contenu donné" (EC, 30). Por outro lado, a resposta do sujeito enquanto exprime uma interpretação de um dado externo, é determinada por esse dado: no caso das conservações, uma substância que possui qualidades ou características como massa, peso ou volume. O objeto então contribui para a formação do conhecimento oferecendo conteúdos (**).

A influência da experiência física e causal sobre o desenvolvimento das estruturas cognitivas reside precisamente na influência dos conteúdos empíricos.

(*) A expressão "décalage" (traduzida por "decalagem" ou "defasagem" em português), foi utilizada por Piaget para expressar o intervalo, de aproximadamente dois anos, entre a aquisição das noções de substância, peso, e volume, enquanto quantidades que se conservam em situações onde é modificada sua forma e aparência.

(**) A esse respeito, a formação do conhecimento físico, que trata de uma realidade externa e concreta "tiene una base incontestablemente exógena" (Garcia, op.cit., p.47), enquanto que o conhecimento lógico ou matemático é concebido como sem conteúdos empíricos.

Também o exemplo da composição dos corpos mostra essa influência. A experiência da dissolução do açúcar sugere fortemente, segundo Piaget, a idéia de decomposição ou partição, pois que o açúcar em pedaços, quando colodado na água, derrete e fragmenta-se de maneira bastante visível. Experiências semelhantes, relativas à mudança de estado (*) parecem não apresentar o mesmo poder sugestivo: de fato, as respostas infantis evidenciam uma dificuldade em aceitar que a mudança de estado constitui uma transformação que preserva a identidade da substância utilizada. Estas experiências diferem da dissolução de açúcar, pois situam-se a nível microscópico: a evaporação da água, assim como o próprio vapor de água, não são observáveis; uma vela, ao derreter, não se fragmenta como o açúcar.

No segundo estágio, das operações concretas, causalidade e estruturas cognitivas apresentam, com relação à primeira etapa pré-operatória, um grau maior de diferenciação. No entanto, tal diferenciação é limitada, e ambos os sistemas influenciam-se reciprocamente, ou interagem, em suas evoluções respectivas.

A terceira etapa do desenvolvimento cognitivo evidencia a aquisição das operações formais, que "se dissocient suffisamment de leur contenu pour pouvoir fonctionner formellement", isto é, no modo hipotético-dedutivo: elas independem de conteúdos para sua elaboração e funcionamento. A interação entre causalidade e operações formais é "de apoio mútuo", "les opérations fournissant par attribution une forme déductible à la causalité, et l'expérience physique nécessaire à celle-ci activant par ailleurs le travail de construction des opérations" (EC, 119-120). Piaget considera que neste terceiro estágio, o pensamento do adolescente assemelha-se ao pensamento científico. Com efeito, a ciência procede aliando teoria e experiência, "les expériences les plus finement approchées obligeant à de nouvelles reconstructions formalisées, et les théories les plus abstraites conduisant dans la mesure même de leurs distinctions formelles les plus poussées, à de nouvelles vérifications dont les résultats étaient jusque là imprévisibles" (EC, 120), garantindo com isso o acordo entre conhecimento e reali-

(*) R-24 e R-25: sobre fusão de uma vela; R-26: sobre a passagem do estado líquido ao gasoso; R-27: sobre a evaporação da água.

dade. No terceiro estágio de desenvolvimento cognitivo, os procedimentos hipotético-dedutivos aliam-se a experiências sistematizadas, gerando "progressos decisivos" no domínio da causalidade.

5. A interação entre causalidade e operações: problemas e interpretação.

A indiferenciação entre causalidade e estruturas operatórias traz consequências aparentemente contraditórias.

De um lado, a indiferenciação própria das etapas iniciais do desenvolvimento cognitivo gera uma interação entre ambos os sistemas (causal e operatório). Ora, esta interação provoca um aperfeiçoamento das formas operatórias que são utilizadas para a explicação (e portanto, um aperfeiçoamento das estruturas cognitivas em geral), ao mesmo tempo que um aprimoramento da explicação causal.

Mas, por outro lado, e aí residiria a contradição, a indiferenciação entre os aspectos lógico e causal do pensamento da criança, constitui um obstáculo, pois que gera confusões e deformações em todos os domínios: vale lembrar o problema lógico-matemático da relação entre parte e todo a propósito da confecção de um colar de contas de madeira; ou ainda, as dificuldades (no campo da explicação de fenômenos físicos) quanto à composição dos corpos ou à noção de peso.

Em resumo, a indiferenciação favorece, de um lado, a elaboração paralela dos instrumentos de conhecimento (que são as operações) e da explicação causal; mas representa, do outro, um obstáculo ao desenvolvimento de ambos. Essa contradição, no entanto, é apenas aparente.

Em primeiro lugar, cabe lembrar que o desenvolvimento cognitivo como um todo, e em todos os domínios do conhecimento, caracteriza-se enquanto passagem de um estado de indiferenciação para um estado de diferenciação.

O período sensório-motor, por exemplo, coloca em cena um sujeito que não se sabe sujeito e autor de suas ações, e tampouco concebe os objetos como exteriores: subjetividade e objetividade fundem-se em uma totalidade indissociável, indiferenciada. A etapa seguinte, pré-operatória, re-edita a indiferenciação entre sujeito e objeto, expressada agora nas concepções realistas, animistas e artificialistas, que atribuem aos objetos caracteres subjetivos, ao mesmo tempo que materializam os fenômenos humanos como o sonho, o pensamento, etc. Também as respostas infantis, acima citadas a propósito desta etapa, demonstram uma indiferenciação, entre os aspectos lógico e causal do pensamento intuitivo. A intuição pré-operatória não é senão "un schème sensori-moteur transposé en acte de pensée, et elle (a intuição) en hérite naturellement les caractères" (Six études, p.43). Esses caracteres, de natureza causal, expressam as limitações das ações enquanto, por exemplo, sucedem-se no tempo: essa temporalidade explica as concentrações sobre aspectos particulares da realidade que, por serem sucessivas, impossibilitam uma coordenação propriamente dita (*). O período das operações concretas caracteriza-se, ainda, por indiferenciações: as operações concretas, elaboradas e utilizadas a propósito de uma realidade concreta e específica, constituem formas, que não se diferenciam de seu conteúdo empírico. É somente com o aparecimento do pensamento formal, hipotético-dedutivo, que se verifica uma plena diferenciação, entre sujeito e objeto, formas e conteúdos, aspectos lógicos e causais.

O desenvolvimento cognitivo evidencia portanto uma evolução progressiva em direção à diferenciação. Mas o enigma persiste, nos diz Piaget, quanto ao mecanismo da diferenciação. Trata-se então de examinar como se processa a passagem de uma indiferenciação para a diferenciação.

A interpretação por ele delineada baseia-se na idéia de que a

(*) Para esclarecer esta idéia, um exemplo de conservação: quando dois recipientes de formas diferentes contêm uma determinada quantidade de líquido, a criança pré-operatória compara, mas sucessivamente, a altura ou a largura dos recipientes. Por isso é que não consegue coordenar, isto é, considerar simultaneamente estas duas observações.

indiferenciação gera contradições (*), que podem ser explícitas ou implícitas para o sujeito. Basta lembrar como as crianças pequenas afirmam que a flutuação deve-se, em alguns casos, ao peso do objeto flutuante, ou em outros casos, à sua leveza. Mas não é o pensamento pré-operatório o único a evidenciar contradições. Também o período das operações concretas é marcado por contradições, que decorrem das limitações de um pensamento exercido a propósito de uma realidade concreta, e incapaz de lidar com proposições abstratas de uma forma sistemática.

As contradições, inerentes ao pensamento em suas etapas iniciais de desenvolvimento, são mais cedo ou mais tarde percebidas pelo sujeito: "les contradictions sont senties, et il est inévitable qu'elles le soient tôt ou tard" (EC, 121). E quando o sujeito percebe as contradições, tenta resolvê-las. A resolução de uma contradição por sua vez "conduit à la fois à des distinctions, donc à une différenciation des notions, et à un effort de cohérence, donc à des coordinations" (EC, 121). As contradições inerentes ao pensamento infantil conduzem portanto ao desenvolvimento, pois que exigem a elaboração de novos instrumentos cognitivos para resolvê-las: "lever des contradictions c'est... construire une nouvelle structure opératoire" (EC, 122). E a causalidade, enquanto fundada de um lado na experiência e observação (que supõem, vale lembrar, a intervenção das operações enquanto instrumentos de assimilação) e do outro, na atribuição de operações à realidade, também beneficia-se e evolui a partir das contradições.

À tendência do pensamento que consiste em eliminar e superar as contradições associa-se a busca permanente de uma coerência, exigência esta, do pensamento, que visa a consistência interna de um sistema epistêmico ou interpretativo, bem como o acordo com a realidade. Se as contradições originam-se de uma indiferenciação entre

(*) O estudo das contradições (cuja apresentação em detalhes encontra-se em "Recherches sur la contradiction" (1974) - Vol.I: les différentes formes de la contradiction; Vol.II: Les relations entre affirmations et négations), tal como mencionado em "L'équilibration des structures cognitives" (1975), mostra que elas decorrem de um desequilíbrio entre afirmações e negações, iê, entre os caracteres positivos que são afirmados (por exemplo: todos estes objetos são verdes) e os caracteres negativos, que são formulados a partir de uma negação (este objeto não possui a propriedade de ser verde; a ausência de uma propriedade constitui também uma propriedade, mas negativa). O pensamento infantil focaliza predominantemente os caracteres positivos, e tem dificuldades em elaborar, e lidar com as negações. Daí resultam contradições, que deverão ser ultrapassadas.

os aspectos lógicos e causais do pensamento, a coerência decorre de sua progressiva distinção: o pensamento escapa à temporalidade do real, construindo formas sem conteúdos e logicamente relacionadas: as operações formais.

- SEGUNDA PARTE -

As explicações causais : Comentários críticos

1. O papel do objeto na formação e evolução da explicação causal

Em seus estudos psico-genéticos e epistemológicos, Piaget adota um pressuposto interacionista: entende que "la connaissance ne procède en ses sources ni d'un sujet conscient de lui-même, ni d'objets déjà constitués (du point de vue du sujet) qui s'imposeraient à lui: elle résulterait d'interactions se produisant à mi-chemin entre deux..."(*). Neste contexto, o problema central consiste em analisar as contribuições respectivamente subjetiva e objetiva na formação do conhecimento.

Ora, no início de seu estudo de 1971 sobre causalidade, Piaget afirma que a elaboração de uma explicação causal depende, por um lado, das estruturas cognitivas do sujeito, e por outro, da resposta dos objetos. A causalidade, enquanto se refere a fenômenos empíricos, e em última análise aos objetos, constitui assim o domínio por excelência que possibilitará um estudo do papel do objeto, na formação do conhecimento. Além de que, a explicação causal exige, ao lado de um modelo dedutivo (que se origina nas estruturas operatórias), a contribuição da experiência, que não faz senão evidenciar a resposta dos objetos confirmando, ou não, os ensaios interpretativos do sujeito.

Podemos então supor que o estudo das explicações causais focalizará o papel do objeto. Tal suposição encontra, ainda, confirmação em outro texto: C. Monnier e A. Wells (**) mencionam que "les études sur la causalité ont permis de mieux connaître le rôle de l'objet dans l'activité du sujet...".

No entanto, a busca de uma análise que focalizaria o papel do objeto, no texto de 1971 sobre causalidade e operações, mostra-se assaz infrutífera. Assim o mostra um exemplo, tomado das experiências sobre a composição dos corpos (dissolução de açúcar ou carvão na água), mencionadas anteriormente neste capítulo.

No contexto da análise das relações e interações recíprocas entre causalidade e operações, Piaget se propõe a evidenciar a influência, sobre as respostas infantis, da experiência cotidiana do

(*) Piaget (1970, p.12): L'épistémologie génétique.

(**) C. Monnier & A. Wells: Notes sur les travaux récents du Centre International d'Épistémologie Génétique: De la prise de conscience aux raisons (1982, p.299).

ponto de vista das interações entre objetos (isto é, de uma experiência causal). Lembremos que as explicações acerca da dissolução do açúcar na água supõe a utilização das operações de partição, deslocamento, e reunião ou adição das partes (*).

Ora, Piaget argumenta que não parece haver, na vida cotidiana da criança, evidências que sugiram que os objetos podem reunir-se ou dissociar-se, independentemente de uma ação humana: "les pierres d'un mur sont agencées par le maçon, tandis que celles d'une paroi rocheuse paraissent avoir été toujours là (sauf pour l'artificialisme encore si courant à ce stade I) [de la pensée préopératoire]" (EC, 39). Mas se a operação lógica de reunião não parece encontrar repercussão, ou eco, na vida cotidiana, este não é o caso para a operação infralógica de partição: "il semble que dans l'expérience physique et causale des objets que peut avoir l'enfant à son échelle indépendamment de ses actions propres, le sectionnement soit plus fréquent que la réunion, ce qui pourrait faciliter le fonctionnement préopératoire des partitions" (EC, 39). Com estas observações, Piaget pretende explicar que a criança consiga desde cedo interpretar a dissolução do açúcar ou do carvão na água como uma fragmentação. Mas, na medida em que "la réversibilité même de la partition semble ... plus difficilement trouver dans le réel, des incitations causales qui favoriseraient le développement des opérations correspondantes..." (EC, 39), a criança não elabora um modelo interpretativo onde os pequenos grãos possam reunir-se para compor uma quantidade de matéria equivalente àquela inicialmente jogada na água (**).

De uma maneira geral, o texto de Piaget sobre causalidade e operações não comporta um estudo sistemático sobre o papel do objeto na formação da explicação causal. Há, de fato, alguns comentários como o exposto acima, mas que não nos parecem oferecer subsídios relevantes se o objeto era evidenciar o papel do objeto. O estudo da causalidade centra-se muito mais no sujeito, e

(*) Cabe observar que as operações de partição, deslocamento, e reunião das partes em um todo, referem-se à objetos contínuos, ou ainda, "objets d'un seul tenant". Estas operações, denominadas infralógicas, consistem em decompor e recompor um objeto, assim como se parte uma bisnaga de pão ou uma bolinha de massinha ao meio. Essas operações distinguem-se então das operações lógicas, que tratam de objetos discretos e enumeráveis, reunindo-os em classes, ou seriando-os, etc. Vale ainda dizer que as estruturas lógicas e infralógicas são exatamente paralelas, diferenciando-se apenas pela natureza do objeto ao qual se referem.

(**) Piaget, em "Les relations entre le sujet et l'objet dans la connaissance physique" (1967, p.775), comenta as contribuições subjetiva (através da dedução) e objetiva (através da experiência) que participam da elaboração do atomismo grego: "...deux sortes d'apports: l'un est dû à l'expérience, qui suggère la décomposition d'un tout en parties de plus en plus menues (d'où "la métaphysique de la poussière"), l'autre aux exigences opératoires du sujet, qui en vient à concevoir les parties comme devant satisfaire aux deux conditions d'une composition additive et d'une conservation de l'ensemble inhérente à cette composition même".

a importância da noção de atribuição, nuclear para a definição de causalidade, o atesta.

O problema da interação entre o sujeito e seu meio foi discutido por J-J. Ducret, em seu estudo de 1984 sobre "Jean Piaget: savant et philosophe" (*). A idéia geral apresentada neste texto é de que a escola de Gênêve dedicou-se predominantemente ao estudo do papel ativo do sujeito na construção do conhecimento, assim deixando para um segundo plano, ou até mesmo não abordando, nem em seus problemas nem em seus métodos de investigação, "l'apport structurant du milieu dans la formation des connaissances, aussi minime soit-il" (p.15)(**). Ducret entende que esta característica dos estudos da escola de Gênêve pode ser explicada por um contexto teórico que fez com que Piaget preocupou-se sobretudo em demonstrar a insuficiência e os limites da tese empirista, quanto ao problema do conhecimento.

O papel do meio na formação do conhecimento não é, todavia, inteiramente desprezado: evidencia-se em particular através de dois mecanismos, a acomodação (***) e abstração empírica (****), esta última relacionada com a experiência empírica ou física do sujeito sobre os objetos.

A análise desta última, qual seja, a experiência física, possibilita uma caracterização de seu papel, de sua função. Ao tratar das relações entre o sujeito e o objeto na formação do conhecimento físico, Piaget (1967, op. cit., p.765) menciona, a propósito dos princípios de conservação na história da física: "...La nécessité déductive, intérieure au sujet et lui imposant la notion que

(*) "Le problème de l'interaction sujet-milieu" é abordado em particular no primeiro capítulo: "les quatre piliers de l'oeuvre piagétienne. Mise en perspective et justification du point de vue interactionniste adopté".

(**) Duas problemáticas de pesquisa manifestam, segundo Ducret (p.16), maior sensibilidade ao problema do meio. De um lado as pesquisas interculturais realizadas por P. Dasen; e do outro, os trabalhos sobre estratégias desenvolvidas mais recentemente por B. Inhelder e sua equipe.

(***) O mecanismo da acomodação enquanto expressando a influência do objeto sobre a ação do sujeito é analisado em "La naissance de l'intelligence chez l'enfant" (1936), e também em sua relação com a causalidade sensório-motora em "La construction du réel chez l'enfant" (1937).

(****) A abstração empírica "consiste à tirer son information des objets eux-mêmes en retenant d'eux certaines propriétés à l'exclusion des autres, et qui existaient en eux avant toute constatation de la part du sujet (par exemple la couleur ou le poids)".

"quelque chose se conserve" (comme disait Poincaré), et la vérification ou constatation objectives permettant de décider "ce qui se conserve". (grifo nosso). A experiência consiste então - e esta idéia encontra-se em vários textos, entre os quais aquele sobre causalidade e operações (1971) - em fornecer os conteúdos do conhecimento. Vale dizer que tais conteúdos estão na base dos conceitos e portanto das teorias ou modelos físicos (que comportam, além do mais, as relações matemáticas que os unem*). A análise, nesse mesmo texto de 1967 (p.774), do método de trabalho de um físico revela a construção de um "esquema intuitivo e sobretudo qualitativo", um modelo mesmo que grosseiro, anterior às formulações matemáticas. A esse respeito, Piaget menciona "les contraintes de l'objet", que conduzem à escolha de certos aspectos da situação em detrimento de outros para constituir tais "representações e modelos concretos"; mas conclui, afirmando mais adiante:

...dans la construction des "modèles" (physiques) le rôle du sujet et de ses structurations opératoires n'est pas moins important que l'apport de l'expérience. Mais... il s'agit du sujet épistémique... dont les structures opératoires encadrent ces mêmes apports et constituent la condition tant de l'élaboration des modèles et de leur déduction logico-mathématique (donc en général, de l'explication causale) que de la lecture même des faits physiques élémentaires. (p.777).

Confirma-se, aqui também, que apesar de adotar um pressuposto interacionista, Piaget trata do problema da influência do meio de forma extremamente genérica. Em nenhum momento, parece existir um interesse pelo objeto enquanto tal, em suas características específicas.

Ducret, por sua vez, caracteriza a influência do meio sobre a formação de conhecimento, tal como concebida nos estudos genebrinos, através de uma análise histórica que focaliza os temas da causalidade, e da aprendizagem. A propósito deste último tema, e entendendo que o meio, feito de objetos, constitui um suporte para a ação do sujeito, ele indaga: "quelle est la fonction de ce support? N'est-elle pas non seulement de perturber le développement cognitif de façon à l'accélérer ou le freiner, mais de le guider un tant soit peu? (p.29). A diferença entre perturbar e guiar o desenvolvi-

(*) A definição de um modelo ou teoria físicos nestes termos foi apresentada no início deste nosso capítulo, a propósito do ponto de vista dos físicos.

mento é sutil sem dúvida, contudo importante: o estudo sobre a equibração das estruturas cognitivas (1975) parece sugerir, segundo Ducret, que estão situadas no sujeito, ou mais particularmente na equibração própria das estruturas cognitivas do sujeito, a fonte e razão últimas do conhecimento (*). Neste contexto, o objeto-suporte da ação permanece num segundo plano, como um acessório indispensável, é verdade, mas apenas enquanto desencadeia e estimula o desenvolvimento cognitivo.

Os contextos em que são desenvolvidos os estudos de 1927 e 1971 sobre a causalidade na criança diferem profundamente. Os primeiros trabalhos de Piaget, nos anos 20, rompem com as análises, geralmente quantitativas, que se faziam do pensamento infantil. Em sua autobiografia, Piaget explica que, naquela época, visava "adquirir... um conhecimento objetivo e experimental das estruturas elementares da inteligência" (p.37). No entanto, se já existiam algumas intuições teóricas, vinculadas essencialmente às idéias de estrutura e totalidade, elas não turvariam sua sensibilidade para com os fatos(**). A análise de 1927, sobre a causalidade física, apresenta um verdadeiro catálogo dos variados tipos de causas utilizadas pelas crianças; mas um tal catálogo não é apenas descritivo, pois que é acompanhado de uma interpretação reveladora de como pensa a criança. Nos anos seguintes, os estudos sobre a inteligência sensório-motora desvendam, com o admirável detalhamento de um artesão afeito à precisão, os mecanismos de assimilação e acomodação, a progressiva coordenação entre esquemas, o conhecimento prático do mundo que cerca o bebê. Piaget lança então as bases de seu modelo teórico: com os conceitos de ação, interação, e equilíbrio, e com a caracterização da estrutura da inteligência sensório-motora, estão assentadas as fundações de seu edifício teórico. O período que se estende do final dos anos 30 até o início dos anos

(*) Ducret propõe uma análise rigorosa deste tema, e focaliza para tanto o mecanismo das regulações, perguntando sobre que critérios repousam as regulações. (Ver, por exemplo, p.13).

(**) Claparède, ao apresentar o estudo de 1924 sobre "Le langage et la pensée chez l'enfant", escreve: "É necessário um talento especial para fazer falar esses materiais (as condutas infantis) - isto é, para escutá-los. Porque justamente o que espanta nessa primeira obra do nosso autor é como a visão geral foi sugerida naturalmente pelos fatos; estão não foram forçados, por bem ou mal, a se enquadrar em hipóteses forjadas de antemão". (Prefácio, p. XIII).

60 é dedicado aos estudos genético-estruturalistas: "o estudo das operações concretas, escreve Piaget em sua autobiografia (p.43), permitiu-me finalmente descobrir as estruturas de totalidade operatória que buscava há tanto tempo". A identificação e caracterização destas estruturas operatórias resultam então na edificação de uma teoria geral das estruturas cognitivas. Os longos anos de trabalho constituir-se-iam em uma verdadeira catedral teórica, finalmente cinzelada.

O próximo passo levaria Piaget a abordar o problema da passagem de uma estrutura para outra: com a mudança de enfoque, agora voltado para a evolução das estruturas cognitivas, inauguravam-se os estudos sobre os mecanismos funcionais.

Quando Piaget retoma , em 1971, a análise das explicações causais, ele o faz do alto de sua catedral teórica. No modelo das estruturas cognitivas, "la notion de l'apport des informations extérieures dans la formation du sujet s'effaçait presque totalement devant la mise en évidence magistrale de l'importance dans la psychogenèse des activités du sujet et de leurs lois de coordinations" (Ducrot, p.23).

Vimos, há pouco, como a preocupação em demonstrar o papel ativo do sujeito na formação do conhecimento deixou-nos uma insatisfação quanto à uma análise da influência do objeto. Mas o estudo das explicações causais não poderia senão responder e confirmar as hipóteses geradas na catedral teórica: tratava-se de mostrar como a explicação causal (e o conhecimento físico, se a causalidade é dele uma expressão) é construída em base à utilização de formas operatórias. Este objetivo inscreve-se ainda em um contexto genético-constructivista: a formação e evolução das formas operatórias vinculam-se ao desenvolvimento das estruturas cognitivas. E assim, ao fundar a explicação causal na atribuição de formas operatórias à realidade, Piaget faz das estruturas cognitivas a variável central de seu estudo.

Mas ficam-nos todavia uma plêiade de perguntas.

2. A explicação causal: alguns comentários.

A explicação causal é uma construção do sujeito cognitivo, a propósito de uma situação real; ela se refere a algo que não é observável, sob a forma de relações necessárias que, reunidas e organizadas, constituem um modelo físico.

A causalidade assim concebida se opõe à legalidade: causalidade e legalidade são claramente distinguidas do ponto de vista teórico. Mas esta distinção não é revelada pelas respostas das crianças acerca de fenômenos materiais: a tentativa de caracterizar as interpretações infantis enquanto predominantemente causais, ou legais, mostra-se difícil (*).

Uma leitura cuidadosa das respostas aos problemas propostos no estudo de 1971 sobre a causalidade não nos permite tampouco nelas identificar a natureza das relações causais (**), ou as formas variadas de explicações (o que é uma explicação para a criança?). Se a análise de 1927 sobre a causalidade física revelou-nos de que maneira a criança concebe causas, e aonde, na realidade objetiva ou

(*) Cabe observar, e Piaget o faz claramente, que, para a criança ou para o físico, a formulação de leis, de um lado, e a busca de explicações inseridas em um modelo teórico, do outro, não constituem "deux phases chronologiquement distinctes, mais simplement deux moments dans l'élaboration de toute connaissance physique" (EC, 133).

Assim, causalidade e legalidade não parecem distinguir-se nas interpretações da física, cuja formulação em termos de leis gerais e leis causais mostra-se, a esse respeito, significativa. Vale notar, ainda, que uma expressão como $F = ma$, própria da mecânica clássica que se propõe a estudar as causas do movimento, não comporta em si mesma nenhuma indicação quanto ao fato de representar uma relação causal, ou uma lei geral; cabe ao físico interpretar esta expressão como uma relação entre a causa F (força) e o efeito a (aceleração).

NB: Esta discussão surgiu no contexto de um seminário realizado no IF/UFF, pelo Grupo de Pesquisa em Ensino de Física.

(**) R. Driver (1985), ao caracterizar as concepções infantis acerca de fenômenos físicos, evidenciadas nas pesquisas em ensino de ciências, menciona um raciocínio causal linear: "When children explain changes, their reasoning tends to follow a linear causal sequence...". Enquanto sequências que acompanham o sentido antes-depois determinado pelo fluir do tempo, estas relações causais não comportam simetrias ou interações recíprocas entre sistemas (manifestadas por exemplo no princípio newtoniano de ação e reação).

no mundo subjetivo, ela as localiza, a interpretação da causalidade, tal como apresentada em 1971, não responde às nossas perguntas.

Para esclarecer qual poderia ser o objeto de estudo de uma análise das explicações causais, vale mencionar as pesquisas desenvolvidas por B. Inhelder e sua equipe(*), sobre as estratégias individuais de resolução de problemas particulares. Tais pesquisas podem ser compreendidas (**), em suas grandes linhas, como controlando a variável estrutural (na medida em que a população observada situa-se em uma mesma etapa de desenvolvimento cognitivo), para evidenciar a especificidade da abordagem de cada sujeito. Poder-se-ia imaginar (**) uma análise da explicação causal que, à semelhança dos estudos sobre estratégias, focalizaria, em populações de mesmo nível cognitivo e para diferentes etapas do desenvolvimento, os modos variados de estabelecer relações causais. Poder-se-ia, ainda, analisar como a criança identifica, em situações que comportam um complexo de variáveis, aspectos relevantes ou desprezíveis, para deles fazer causas e efeitos.

O problema, que a partir destas considerações se delinea, trata das variáveis cognitivas que determinam a elaboração de uma explicação causal. Mas reservaremos esta discussão para a conclusão de nosso ensaio.

(*) Ver, por exemplo, os artigos de E. Ackermann - Valladão (1983), A. Blanchet (1978), B. Inhelder (1976), B. Inhelder et alii (1976 & 1979), A. Karmiloff-Smith & B. Inhelder (1974).

(**) Esta formulação é proposta por M.C. Dibar Ure (Private communication).

- CAPÍTULO V -

A FORMAÇÃO DO CONHECIMENTO FÍSICO

Reflexões finais

Após haver trilhado os caminhos da causalidade em J. Piaget, após haver enveredado pelas reflexões atuais acerca das concepções espontâneas ou alternativas em física, voltamos ao final deste ensaio, ao problema que o originou: a formação do conhecimento físico.

Ao propôr o problema da formação do conhecimento físico, limitarmo-nos à mecânica clássica, por essa razão que os estudos por Piaget realizados, assim como uma grande parte das pesquisas desenvolvidas no contexto do ensino e aprendizagem da física, focalizam precisamente esta área da física.

E, ao propôr este problema, adotaremos a perspectiva de uma psicologia cognitiva: focalizaremos no sujeito cognoscente (*) o ato de conhecer. Nosso capítulo final objetiva assim uma discussão dos processos cognitivos de um indivíduo que se lança à aventura de desvendar e conhecer o mundo físico em que vive.

(*) Preferimos esta expressão à de um sujeito do conhecimento ou um sujeito conhecedor - que parecem tratar de um indivíduo que já conhece - pois o adjetivo cognoscente (do latim "cognoscens") revela e evidencia o ato mesmo de conhecer, em seus aspectos dinâmicos, e corriqueiros ou cotidianos.

Esquemas de assimilação e operações cognitivas são, na psicologia genética de J. Piaget, os instrumentos de que dispõe o indivíduo para a elaboração do conhecimento. Esquemas e operações constituem, pois, a "espinha dorsal" - segundo a expressão de P. Guidoni - do pensamento do sujeito epistêmico. Mas o sujeito epistêmico é um sujeito científico: o problema da psicologia genética é evidenciar a gênese de um pensamento científico, que, combinando o rigor da dedução a uma experiência sistemática e metódica, possa construir o conhecimento em sua forma científica. Ora, ambos o rigor da dedução e a sistemática da experiência supõem uma lógica. O estudo do sujeito epistêmico objetiva revelar a gênese psicológica da lógica (*).

É precisamente na análise do pensamento, em seus aspectos lógicos, que reside a riqueza, e os limites, da contribuição de J. Piaget para o problema da formação do conhecimento físico.

Se observar e constatar, inferir, interpretar e conceituar são alguns dos passos que levam à elaboração de um modelo físico, é inegável que os instrumentos lógicos - convenhamos em assim denominar os instrumentos de conhecimento tal como os concebe Piaget - constituem uma variável importante na formação do conhecimento físico.

Mas, se a lógica é um componente necessário para a construção de modelos físicos, ela não parece todavia suficiente. A idéia, implícita na psicologia genética, de que junto com os raciocínios mais avançados em termos lógicos, se chega também a modelos físicos corretos, deve ser abandonada(**). O conhecimento físico envolve uma conceituação e, vale frisar, a conceituação determina, tanto quanto os instrumentos lógicos, a leitura e interpretação de um fenômeno em termos físicos.

Ao lado dos instrumentos lógicos, propomos a introdução de uma se-

(*) Cabe esclarecer que, ao estudar a gênese psicológica da lógica, Piaget situa-se claramente no âmbito de uma ciência natural ou empírica: a psicologia. E nesse contexto não pretende, pois isso não seria legítimo, tratar da natureza e validade da lógica formal.

(**) Os resultados de um estudo sobre mudança de estado da água (Dibar Ure & Colinvaux - 1985 e 1986) mostram que adultos em início de alfabetização (alunos de um Curso Supletivo do Rio de Janeiro) apresentam, de um lado, argumentos logicamente corretos para justificar respostas que são incorretas do ponto de vista físico, e do outro, respostas que coincidem com a interpretação científica mas cuja justificativa, do ponto de vista lógico, deixa a desejar.

gunda variável, na formação do conhecimento físico. Para tanto, baseamo-nos nas idéias de P. Guidoni e J. Ogborn, quanto à interpretação das concepções espontâneas ou alternativas em física(*). Para Guidoni (1985), a leitura e interpretação de fenômenos ou problemas físicos é determinada por "protótipos" (o "cair", a "mola"), que se originam de experiências anteriores e possibilitam uma aproximação rápida e eficaz da realidade. Ele entende ainda que os protótipos constituem a "espinha dorsal" de um pensamento natural ("natural thinking"). Ogborn (1985), por sua vez, propõe uma teoria do senso-comum, para os problemas de movimento, cujos termos (o "suporte", o "cair", o "esforço") reúnem e confundem os termos conceituais da mecânica clássica.

Termos e protótipos constituem, em nosso entender, um outro tipo de instrumento que o sujeito cognoscente utiliza ao abordar a realidade física. Mas diferenciam-se dos esquemas e operações por Piaget descritos, pois que comportam uma dimensão conceitual: convenhamos então em denominá-los os instrumentos conceituais. Vale dizer que tais instrumentos assemelham-se por um lado aos esquemas de assimilação, na medida em que possibilitam e determinam a atribuição de significações à realidade; por outro lado, protótipos e termos são propriamente constitutivos do conhecimento físico, pois que proveêm as conceituações que estão na base da elaboração dos modelos.

Se o processo de conceituação constitui para a psicologia um objeto de estudo em si mesmo, no contexto da formação do conhecimento físico, a conceituação parece adquirir características próprias. Os termos conceituais de um modelo físico, como o da mecânica clássica, são de uma lado amarrados à realidade, e do outro, matematizados em suas formas e relações - e assim compõem um sistema teórico. Originam-se, pois, em parte, da realidade. E a esse propósito, surgem algumas perguntas. Em uma situação física, que comporta um intrincado complexo de elementos e relações, quais os aspectos a serem conceituados? Como distinguir os aspectos relevantes, ou não, de um fenômeno? A situação física sugere ou determina o que deve ser conceituado? Quais os processos cognitivos que possibilitam uma observação da realidade tal que dela possam surgir os termos conceituais do modelo? A esse respeito, vale lembrar a sugestão de J. Ogborn, de um estudo visando mostrar "how organisms living

(*) As idéias destes autores foram apresentadas ao final de nosso capítulo III.

in a Newtonian world can have experiences that would lead naturally to their developing a non-Newtonian theory of the kind described". De fato, é particularmente significativo que a grande maioria dos indivíduos, vivendo em um mundo que, do ponto de vista da interpretação física, é newtoniano, elaborem concepções que se caracterizam por ser não-newtonianas... Qual a diferença - e qual a origem da diferença - entre o processo de conceituação física dos cientistas, e os processos que levam o indivíduo a conceituações desviantes? Para concluir esta discussão, mencionaremos ainda que, se a formação de um modelo não-newtoniano aparentemente não acarreta grandes prejuízos ao indivíduo, esse não é o caso, por exemplo, para as noções de espaço - estas, sim, constituem uma exigência para qualquer indivíduo que vive e se locomove em uma cidade ou no campo. Poder-se-ia pensar que aí encontra-se a origem das diferenças entre os modelos da física e as concepções espontâneas ou alternativas?

Há ainda um terceiro fator - e este é o último que aqui abordaremos - a ser considerado na formação do conhecimento físico. Trata-se das características do sistema de interpretação(*), quer seja ele um modelo físico em sua formulação científica, quer sejam as concepções de um sujeito cognoscente, que não coincidem com a interpretação científica. Ao focalizar assim o sistema interpretativo, estaremos evidenciando quais os critérios que o sujeito cognoscente ele próprio se dá, para elaborar, e depois, aceitar ou rejeitar suas interpretações, e as dos outros - inclusive as dos físicos.

Dois estudos piagetianos mais recentes(**) apontam um fator, "as e-

(*) A esse respeito vale observar que, se a abordagem piagetiana tradicionalmente mencionava dois termos no problema do conhecimento, quais sejam, sujeito e objeto, Inhelder menciona em seu artigo sobre a causalidade (1980, p.30) que: "According to Piaget, the relationship between... the construction of operatory thought and the observable reality, does not constitute a dyad but a triad composed of the subject, the model he constructs and the attribution of the model to the real object". (grifo nosso).

(**) Duas referências, em particular, mencionam este fator: Piaget e Garcia (1982, p.17) interpretam as respostas infantis de conservação da substância como decorrentes, não da percepção, mas de uma exigência lógica. E Inhelder (1985, p.12) utiliza a expressão (exigência lógica), tomando-a do estudo de Piaget e Garcia (1982), para explicar que o progresso ou evolução das ciências deve-se, não a uma melhor leitura da realidade (obtida através de instrumentos de medida por exemplo), mas sim, a uma exigência lógica.

xigências lógicas", como fundamental para a formação e evolução do conhecimento. Tais exigências lógicas podem coincidir com as exigências do espírito - mencionadas, por exemplo, a propósito de causalidade física na criança (1927) - contanto que se trate de um sujeito epistêmico, destinado à construção de um conhecimento científico. Mas quais são as exigências de um indivíduo, que não se confunde plenamente com o sujeito epistêmico, quanto a uma interpretação ou modelo da realidade? Quais os critérios que presidem à construção das concepções espontâneas ou alternativas?

As pesquisas desenvolvidas no contexto de ensino e aprendizagem de física abordaram este problema e buscaram identificar as características das concepções espontâneas. A esse respeito, vários autores mencionam em particular que as respostas dos alunos parecem não possuir a coerência ou consistência interna própria das interpretações científicas(*). Note-se que não se trata de considerar as concepções espontâneas ou alternativas como inteiramente incoerentes: o aluno entende que suas explicações respondem adequada e satisfatoriamente aos problemas que se lhe apresentam, e como negar, além do mais, que o mundo cheio de atritos em que vivemos sugere, um tanto fortemente, uma interpretação não-newtoniana - o que as concepções espontâneas dos alunos não parecem possuir é a característica, tal como manifestada nos modelos científicos, de consistência interna. Pope e Gilbert (1985) sugerem quanto a eles (e a partir dos estudos do psicólogo americano G. Kelly) uma interpretação das respostas dos alunos em termos de "mini-teorias", que não se relacionam entre si mas são pontuais, iê, referidas a fenômenos específicos. Ora, os modelos da física são - e as reflexões de Halbwachs e Garcia, apresentadas em nosso capítulo IV o mostram claramente - sistemas formais, formulados em termos matemáticos, e que obedecem às regras lógico-matemáticas: neles, não se admitem contradições. Mas a superação de contradições, que está

(*) R. Driver (1984 e 1985) por exemplo, menciona, entre as várias características das interpretações de crianças e adolescentes acerca do mundo físico, o enfoque limitado ("limited focus") das respostas. Vale mencionar também que o estudo (Dibar Ure & Colinviaux, 1986) realizado com adultos em início de alfabetização revela ele também esta característica: assim a sugestão feita pelos pesquisadores aos alunos de que o problema da condensação (quando se tem um copo com água e gelo, ele fica molhado do lado de fora: de onde vem esta água?) deveria ser analisado em conjunto com o problema da evaporação (uma panela com água fervendo), pois que se tratam de transformações inversas, não foi aceito pelos alunos: cada fenômeno explica-se por si mesmo, e não é preciso relacioná-los.

na base da formação e evolução do conhecimento científico, presuppõe exatamente o critério de consistência interna. P.W. Hewson (1985) propõe a esse respeito a expressão "epistemological commitments", que define como "the standards which a person holds which he or she has to judge knowledge" (p.164) (*). Ele aponta então para a consistência interna, e a "generalizability" que são componentes imprescindíveis (mas não são os únicos) para "any person who wishes to understand a subject such as physics" (p.164).

Os critérios que presidem à construção de modelos físicos de um sujeito cognoscente, um indivíduo lançado à aventura de conhecer seu mundo cotidiano, parecem diferir em vários aspectos dos critérios utilizados pelos cientistas. Configura-se assim um terceiro fator na formação do conhecimento físico.

Ao longo destas linhas finais, apontamos três variáveis que nos parecem relevantes para abordar o problema da formação do conhecimento físico, e que encontram respaldo, vale dizer, nas reflexões atuais de cientistas preocupados com o ensino e aprendizagem da física. Originadas e embasadas em uma perspectiva que parte de uma análise crítica dos estudos psicogenéticas de J. Piaget, estas variáveis revelam um sujeito cognoscente, indivíduo imerso em seu mundo cotidiano, cujo pensamento nem sempre acompanha os meandros do pensamento científico. Ao focalizar as três variáveis: os instrumentos lógicos e conceituais de que dispõe o sujeito cognoscente para ler e interpretar a realidade, e as características constitutivas, por ele definidas, de um sistema interpretativo, pretendemos trazer algumas de nossas reflexões que, vale confirmar, permanecem abertas a discussões e definem, em nosso entender, pontos de partida para pesquisas posteriores. E com essas reflexões, esperamos ter delineado as contribuições, para o problema da formação do conhecimento físico, de uma psicologia cognitiva.

(*) Uma seleção de estudos deste autor encontra-se na bibliografia, assim como o artigo de revisão, sobre o tema da mudança conceitual, de Hashweh (1986). O artigo de P.W. Hewson, que aqui mencionamos, é intitulado: "Epistemological commitments in the learning science: Examples from dynamics".

- BIBLIOGRAFIA -

OBS: Nas referências às obras escritas por J. Piaget, adotamos o seguinte procedimento: colocamos, entre parênteses e logo após seu nome, a data de publicação da primeira edição. Indicamos depois a edição utilizada para este ensaio. Ao preservar assim a ordem cronológica das publicações, poderemos situá-las em seu contexto de origem.

- ACKERMANN-VALLADÃO, E. et alii. Formation et actualisation des modèles du sujet en situation de résolution de problèmes. Archives de Psychologie, 1983, 51, 61-70.
- BOIDO, G. Concepciones prenewtonianas en el aprendizaje de la física. Paper apresentado na 4a. Reunión de Enseñanza de la Física. S.M. Tucumán, (Argentina), 1985.
- BLANCHET, A. et alii. Une hypothèse sur les connaissances utilisées en situation de résolution de problèmes. Cahiers de Psychol., 1978, 21, 11-117.
- BULLINGER, A. Naissance de la subjectivité: Piaget, Wallon et l'école soviétique. Curso ministrado na Faculdade de Psychologie et Sciences de l'Education, Université de Genève, no ano 1977-1978.
- CELLERIER, G. Piaget. Paris, PuF, 1973.
- DASEN, P.R. Cross-cultural Piagetian research: A Summary. J. of Cross-Cultural Psychol., 1972, vol.3, nº 1, 23-29.
- _____. Are cognitive processes universal? A contribution to cross-cultural Piagetian psychology. In: WARREN, N. (Ed.) Studies in cross-cultural psychology. New York, Academic Press, 1977.
- _____. Différences individuelles et différences culturelles. Bull. de Psychol., 1980, 33, 345, 675-684.
- DIBAR URE, M.C. A pesquisa sobre concepções espontâneas: Tendências e perspectivas. VII SNEF (Simpósio Nacional de Ensino de Física), São Paulo, 1987.
- DIBAR URE, M.C. & COLINVAUX, D. Razonamientos y modelos espontâneos en una experiencia grupal con adultos. Ier. Congreso Internacional sobre investigación en la didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas. Rev. Enseñanza de las Ciencias, 1985, nº extra.
- _____ & _____. Developing adult's views on the phenomenon of change of physical state in water. Working Paper, 1986.
- _____ & _____. Piaget e concepções espontâneas em física: Uma análise crítica. Working Paper, 1987.
- DRIVER, R. When is a stage not a stage? A critique of Piaget's theory of cognitive development and its application to science education. Educational Research, 1978, 21, 54-61.
- _____. Cognitive psychology and pupils' frameworks in Mechanics. The GIREP Conference on Physics Education (The many faces of teaching and learning). Utrecht, 1984.
- DRIVER, R.; GUESNE, E.; TIBERGHEN, A. Some features of children's ideas and their implications for teaching. In: DRIVER, R; GUESNE, E.; TIBERGHEN, A. Children's ideas in science. Open University Press (UK), 1985 (193-201).

DUCRET, J-J. Jean Piaget: Savant et philosophe. Genève, Droz, 1984 (2 vols.)
(utilizou-se em particular: Première Partie - Introduction générale: Le problème de l'interaction sujet-milieu).

L'explication dans les sciences. Colloque de l'Académie Internationale de Philosophie des Sciences, avec le concours du Centre International d'Epistémologie Génétique (Genève, sept.1970). Paris, Flammarion, 1973.

FILOCRE, J. A teoria de Piaget como sistema de referência para a compreensão da "física intuitiva". Dissertação de Mestrado, IF/USP. São Paulo, 1986.

GARCIA, R. L'explication en physique. In: L'explication dans les sciences. Paris, Flammarion, 1973 (103-119).

_____. The knowledge of the physical world in Piaget's theory. Europhysics Education News, 1978, 6, 9.16.

_____. Psychogenesis and the history of science. Cahiers de la Fond. Arch. J. Piaget, 1983, nº 4, 3-24.

_____. El desarrollo del sistema cognitivo y la enseñanza de las ciencias.

GIL PEREZ, D. & CARRASCOSA ALIS, J. Science learning as a conceptual and methodological change. European Journal of Science Education, 1985, vol.7, nº 3, 231-236.

GILBERT, J.K. & SWIFT, D.J. Towards a Lakatosian analysis of the Piagetian and alternative conceptions research programs. Science Educ., 1985, 69, 5, 681-696.

GILBERT, J.K. & ZYLBERSZTAJN, A. A conceptual framework for science education: The case study of force and movement. Eur. J. Sci. Educ., 1985, vol.7, nº 2, 133-140.

HALBWACHS, F. (a) Réflexions sur la causalité physique. In: Les théories de la causalité (ouvrage collectif). Paris, PuF, 1971 (19-38). (EEG XXV).

_____. (b) Causalité linéaire et causalité circulaire. In: Les théories de la causalité (ouvrage collectif). Paris, PuF, 1971 (39-111).

_____. L'histoire de l'explication en physique. In: L'explication dans les sciences. Paris, Flammarion, 1973 (72-102).

_____. Sur l'impact potentiel de la pensée de Piaget sur l'enseignement de la physique. Europhysics Education News, 1978, 6, 17-21.

HASHWEH, M.Z. Toward an explanation of conceptual change. Eur. J. Sci. Educ., 1986, vol.8, nº 3, 229-249.

HEWSON, P.W. A conceptual change approach to learning science. Eur. J. Sci. Educ., 1981, vol.3, nº 4, 383-393.

_____. Epistemological commitments in the learning of science. Eur. J. Sci. Educ., 1985, vol.7, nº 2, 163-172.

INHELDER, B. De l'approche structurale à l'approche procédurale: Introduction à l'étude des stratégies. Congrès International de Psychologie, Paris, 1976.

_____. Genetic epistemology and psychology of physical causality. Cahiers de la Fond. Arch. J. Piaget, 1980, nº 1, 27-44.

INHELDER, B. & de CAPRONA, D. Constructivisme et construction de nouveautés. Arch. de Psychol., 1985, 53, 7-17.

INHELDER, B. et alii. Des structures cognitives aux procédures de découverte. Arch. de Psychol., 1976, 171, 44, 57-72.

_____. Procédures et significations dans la résolution d'un problème concret. Bull. de Psychol., 1979, XXXIII, 345, 646-648.

KARMILOFF-SMITH, A. & INHELDER, B. If you want to get ahead, get a theory. Cognition, 1974, 3, 195-212.

KRAPAS TEIXEIRA, S. A noção de peso. Tese de Doutorado, em andamento (IF/USP).

KUHN, T.S. Les notions de causalité dans le développement de la physique. In: Les théories de la causalité (ouvrage collectif). Paris, PuF, 1971 (7-18). (EEG XXV).

LYTHOTT, J. "Aristotelian" was given as the answer, but what was the question. The GIREP Conference on Physics Education. (The many faces of teaching and learning). Utrecht, 1984 (276-284).

LUCIE, P. Física Básica (Mecânica I). Rio de Janeiro, Ed. Campus, 1979.

MARIANI, C. Dinâmica dos conceitos intuitivos nos problemas de colisões. Trabalho apresentado para discussão no Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física. Curitiba, 1986. (OBS: Este trabalho faz parte da Dissertação de Mestrado, em andamento).

MC DERMOTT, L. Critical Review of research in the domain of Mechanics. Proceedings of the International Summer Workshop: Research on Physics Education. La Londe Des Maures, 1983 (136-182).

MONNIER, C. Liste de travaux publiés de Jean Piaget sur la physique, Europsychics Educations News, 1978, 6, 5-6.

MONNIER, C. & WELLS, A. Note sur les travaux récents du Centre International d'Epistémologie Génétique: De la prise de conscience aux raisons. Cahiers de la Fond. Arch. J. Piaget, 1982, nº 2-3, 279-329.

MOREIRA XAVIER, R. Notas sobre a evolução do conceito de causa na física pós-newtoniana: Da causa eficiente à causa formal. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Notas de Física (CBPF-NF), 1986, 053.

OGBORN, J. Understanding students' understandings: An example from dynamics. Eur. J. Sci. Educ., 1985, vol.7, nº 2, 141-150.

PACCA, J.L.A. A física intuitiva e o desenvolvimento da causalidade. Trabalho apresentado para discussão no Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física, Curitiba, 1986.

PIAGET, J. (1924) Le Langage et la pensée chez l'enfant. Neuchatel & Paris, Delachaux et Niestlé, 1924.
(NB: A primeira edição desta obra tem por data, ora 1923, ora 1924.)
Ed. utilizada: A linguagem e o pensamento na criança. São Paulo, Martins Fontes, 1986.

- PIAGET, J. (1926). La représentation du monde chez l'enfant. Paris, Alcan, 1926.
Ed. utilizada: A representação do mundo na criança. São Paulo, Record, s.d.
- ____ (1927). La causalité physique chez l'enfant. Paris, Alcan, 1927.
Ed. utilizada: La causalidad física en el niño. Madrid, Espasa-Calpe, 1937.
- ____ (1936). La naissance de l'intelligence chez l'enfant. Neuchatel, Delachaux et Niestlé, 1936.
Ed. utilizada: Neuchatel, Delachaux et Niestlé, 1977 (9ème éd.)
- ____ (1937). La construction du réel chez l'enfant. Neuchatel, Delachaux et Niestlé, 1937.
Ed. utilizada: Neuchatel, Delachaux et Niestlé, 1977 (6ème éd.).
- ____ (1947). La psychologie de l'intelligence. Paris, A. Colin, 1967.
Ed. utilizada: Paris, A. Colin, 1967.
- ____ (1950). Introduction à l'épistémologie génétique. Paris, PuF, 1950. (3 vols.).
(utilizou-se, em particular, no vol.I: Introduction - Objet et méthodes de l'épistémologie génétique).
NB: O vol.II é dedicado ao pensamento físico.
- ____ (1952). Autobiographie. In: MURCHISON, C. & BOUNG, E.G. A history of psychology in autobiography. Worcester, Clark Univ. Press, 1952.
Ed. utilizada: Autobiografia. Anuario de Psicologia, 1971, nº 4, 28-59.
- ____ (1963). L'explication en psychologie et le parallélisme psychophysique. In: FRAISSE, P. & PIAGET, J. Traité de psychologie expérimentale. (Vol.I - Histoire et méthodes). Paris, PuF, 1967 (2ème éd.) (123-162).
- ____ (1964). Six études de psychologie. Paris, Denoel Gouthier, 1964.
- ____ (1967). Les relations entre le sujet et l'objet dans la connaissance physique. In: PIAGET, J. (Ed.) Logique et connaissance scientifique. Paris, Gallimard, 1967 (754-778).
- ____ (1968). Le structuralisme. Paris, PuF, 1968.
Ed. utilizada: Paris, PuF, 1979 (7ème éd.).
- ____ (1970). L'épistémologie génétique. Paris, PuF, 1970.
Ed. utilizada: Paris, PuF, 1979 (5ème éd.).
- ____ (1973). Le problème de l'explication. In: L'explication dans les sciences (ouvrage collectif). Paris, Flammarion, 1973 (7-18).
- ____ (1975). L'équilibration des structures cognitives. Paris, PuF, 1975. (EEG XXXIII).
- ____ (1977). Essai sur la nécessité. Arch. de Psychol., 1977, 45, 235-251.

PIAGET, J. & GARCIA, R. (1971). Les explications causales Paris, PuF, 1971. (EEG XXVI).

_____ & _____. (1982). Psicogênese e história de la ciencia. Mexico, Siglo Veintiuno Eds., 1982.

PIAGET, J. & INHELDER, B. (1941). Le développement des quantités physiques chez l'enfant (Conservation et atomisme). Neuchatel & Paris, Delachaux et Niestlé, 1941.
Ed. utilizada: Neuchatel, Delachaux et Niestlé, 1962 (2ème éd.).

_____ & _____. (1947). La représentation de l'espace chez l'enfant. Paris, PuF, 1947.
(OBS: a primeira edição desta obra é datada, ora de 1947, ora de 1948).
Ed. utilizada: Paris, PuF, 1977 (3ème éd.).

_____ & _____. (1951). La genèse de l'idée de hasard chez l'enfant. Paris, PuF, 1951.

_____ & _____. (1955). De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent. Paris, PuF, 1955.

_____ & _____. (1959). La genèse des structures logiques élémentaires chez l'enfant (Classifications et sériations). Neuchatel, Delachaux et Niestlé, 1959.

_____ & _____. (1966). La psychologie de l'enfant. Paris, PuF, 1966 (1ère. éd.).
Ed. utilizada: Paris, PuF, 1978 (8ème éd.).

PIAGET, J.; INHELDER, B.; SZEMINSKA, A. (1948). La géométrie spontanée de l'enfant. Paris, PuF, 1948.
Ed. utilizada: Paris. PuF, 1973.

PIAGET, J. & SZEMINSKA, A. (1941). La genèse du nombre chez l'enfant. Neuchatel & Paris, Delachaux et Niestlé, 1941.

PIAGET, J. & coll. (1946). Le développement de la notion de temps chez l'enfant. Paris, PuF, 1946.

_____ & _____. (1946). Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant. Paris, PuF, 1946.

_____ & _____. (1972). La transmission des mouvements. Paris, PuF, 1972. (EEG XXVII).

_____ & _____. (1972). La direction des mobiles lors de chocs et de poussées. Paris. PuF, 1972. (EEG XXVIII).

_____ & _____. (1973). La formation de la notion de force. Paris, PuF, 1973. (EEG XXIX).

_____ & _____. (1973). La composition des forces et le problème des vecteurs. Paris, PuF, 1973. (EEG XXX).

_____ & _____. (1974). Recherches de la contradiction. Paris, PuF, 1974. (2 vols.). (EEG XXXI e XXXII).

_____ & _____. (1974). La prise de conscience. Paris. PuF, 1974.

POPE, M. & GILBERT, J. Constructive science education. In: EPTING, F. & LANDFIELD, A.W. (Eds.) Anticipating personal construct psychology. Nebraska, Univ. of Nebraska, 1985 (111-145).

RAMOZZI-CHIAROTTINO, Z. Causalidade e operações em Piaget, Rev. Ciências e Filosofia, 1979, 1, 1, 73-85.

Les théories de la causalité (ouvrage collectif). Paris, PuF, 1971.

VIENNOT, L. Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. Paris, Hermann, 1979.

_____. Natural tendencies in analysing students' reasoning - Two instances in Mechanics. The GIREP Conference on Physics Education (The many faces of teaching and learning). Utrecht, 1984 (258-163).

_____. Analysing students' reasoning in science: A pragmatic view of theoretical problems. Eur. J. Sci. Educ., 1985, vol.7, n° 2, 151-162.

VIENNOT, L. & SALTIEL, E. What do we learn from similarities between historical ideas and the spontaneous reasoning of students? The GIREP Conference on Physics Education (the many faces of teaching and learning). Utrecht, 1966.

VIHN-BANG. La méthode clinique et la recherche en psychologie de l'enfant. In: Psychologie et épistémologie génétiques (ouvrage collectif). Paris, Dunod, 1966.

ZYLBERSTAJN, A. Concepções espontâneas em física: Exemplos em dinâmica e implicações para o ensino. Rev. Ens. Fís., 1983, 5, n° 2, 3-16.

ANEXO : Lista das experiências realizadas para o estudo "Les explications causales" (1971).

1. Le mouvement transitif, avec M. BOVET.
2. La transmission médiate du mouvement, avec A. SZEMINSKA et E. FERREIRO.
3. Contrôles de la stabilité des stades de la transmission médiate du mouvement, avec E. FERREIRO
4. La double transmission de mouvement, avec A. SZEMINSKA.
5. La décomposition des directions, avec E. FERREIRO.
6. Transmission ou inertie dans la chute des boules tombant d'une cornière, avec A. MOSIMANN.
7. Les engrenages, par P. GRÉCO.
8. La transmission par courroies, avec O. de MARCELLUS et N. BURDET.
9. Une forme élémentaire de transmission du mouvement, avec M. LABARTHE.
10. La transmission des vibrations entre deux diapasons, avec Th. VERGOPOULO.
11. Attraction des aimants, avec M. CHOLLET.
12. La transmission médiate du mouvement dans l'eau, avec S. UZAN.
13. Blocages et déblocages, avec F. VERGNAUD.
14. Transitivité logique et transmission médiate de matière, avec J. BLISS.
15. Equilibre d'un solide soutenu par d'autres (la règle et le plateau de table), avec P. PETROGALLI.
16. Le centre de gravité, avec R. MAIER.
17. La composition vectorielle des forces sur un plateau circulaire, avec M. CHOLLET.
18. Suspensions et contrepoids (panier à salade), avec J. BLISS.
19. Les forces nécessaires pour faire monter un wagon ou le retenir sur une pente, avec A. PAPERT.
20. L'équilibre indifférent, avec O. MOSIMANN.
21. Solubilité, miscibilité et flottaison, avec J.F. CHATILLON.
22. La diffusion d'un solide dans un liquide, avec E. FERREIRO.
23. Les états de la matière, avec J. BLISS.
24. Les changements d'états liquide et solide, avec P. MOUNOUD et A. CATTIN.
25. Les changements d'états de la paraffine d'une bougie, avec J. BLISS.

26. Le bouilleur de Franklin, avec S. UZAN.
27. L'odeur et la vapeur, avec A. PAPERT.
28. Effets de poussée ou de traction exercées sur des tiges, avec P. MOUNOUD.
29. Poussée d'une pointe contre une plaquette, avec I. FLUCKIGER-GENEUX.
30. La traction et l'équilibre des plaquettes, avec I. FLUCKIGER-GENEUX.
31. Relations entre directions du lancement et de la poussée avec objets collectifs, avec C. DAMI.
32. La poussée de tiges articulées, avec C. ROSSEL et Ch. OTHENIN-GIRARD.
33. Le choc des boules, avec R. MAIER.
34. Le choc d'une bille contre les côtés d'une boîte circulaire, avec J. BLISS.
35. Choc des boules et manipulations libres, avec M. ROBERT.
36. Les changements de direction d'une boule heurtant une paroi, avec J. BLISS.
37. L'incidence et la réflexion des images en miroir, avec B. INHELDER.
38. La verticalité d'une tige, avec A. PAPERT.
39. L'horizontalité de l'eau, avec A. PAPERT.
40. La chute de l'eau s'échappant d'un tube en translation, avec Ch. OTHENIN-GIRAUD.
41. La poussée spatio-temporelle et la force, avec A. SZEMINSKA.
42. Le travail, avec R. MAIER.
43. Hauteur et longueur dans la descente d'une bille sur un plan incliné, avec A. SZEMINSKA.
44. La composition des forces en horizontale, avec P. MOUNOUD.
45. La composition des forces en verticale, avec J. BLISS.
46. L'additivité des forces sur un ressort, avec C. DAMI.
47. L'additivité des forces en directions opposées, avec M. ROBERT.
48. La composition des poids, avec C. ROSSEL.
49. Un problème de composition des forces, avec M. ROBERT.
50. L'effet de vérifications variées du sujet sur le développement des compositions de forces, avec M. CHOLLET.
- 51-52. La composition des forces avec des élastiques (fronde, etc.), par V. BANG.
53. Composition linéaire élémentaire en un système de deux forces, avec R. MAIER.

54. La distributivité dans le cas de l'extension des élastiques, avec G. CELLERIER et D. MAURICE-NAVILLE.
55. La distributivité dans le transvasement des liquides, avec M. ROBERT.
56. Retour sur elle-même d'une balle de ping-pong, avec A. PAPERT.
57. Un mécanisme de rotation et d'enroulement, avec P. MOUNOUD.
58. La coordination de deux mouvements distincts, avec P. MOUNOUD.
59. Le mouvement ondulatoire, avec R. MAIER.
60. Les ondes et les vagues, avec M. LABARTHE.
61. Montée de l'eau dans un tube hélicoidal, avec C. FOT.
62. Action et réaction entre deux poussées de sens opposés, avec G. VOYAT.
63. Propulsion d'un ballon, avec O. MOSIMANN.
64. Le rebondissement, avec P. MOUNOUD.
65. La descente d'un solide dans un liquide, avec E. SCHMID.
66. Exemple de causalité circulaire (feedback), avec J. BLISS.
67. Deux actions de directions en apparence contraires (fumée), avec C. FOT.
68. Les billes dans un verre de montre, avec C. FOT.
69. Une bonne forme circulaire (savon), avec A. PAPERT.
70. Les réactions à l'inertie, avec I. FLUCKIGER-GENEUX.
71. La force centrifuge, avec A. MUNARI.
72. L'écoulement de l'eau, avec E. SCHMID.
73. Situations d'équilibres (le bouchon, etc.), avec R. MAIER.
74. La traction sur un plan incliné, avec O. MOSIMANN.
75. Les effets du poids et du volume d'un caillou dans l'eau, avec A. PAPERT.
76. La flottaison d'un système de deux corps de densités différentes, avec Ch. GILLIERON.
77. Actions du poids et position des objets, avec A. PAPERT.
78. Le développement de la notion de pression, avec D. MAURICE-NAVILLE.
79. La chute de l'eau en fonction de la pression, avec D. MAURICE-NAVILLE.
80. L'équilibre des vases communicants, avec Ch. GILLIERON.
81. Brouettes et leviers, avec P. MOUNOUD.
82. La démultiplication en fonction de la grandeur des poulies (principe du treuil), avec Th. VERGOPOULO.
83. La démultiplication en fonction du nombre des poulies ou des fils, avec Th. VERGOPOULO.

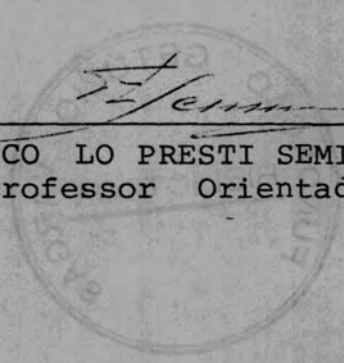
84. Conservation du moment cinétique sur un carrousel, avec M. FLUCKIGER.
85. La transmission de l'énergie entre deux pendules reliés, avec J. de LANNOY.
86. Les échanges de chaleur entre l'eau et des boules de métal, avec A. PAPERT.
87. La conductibilité de la chaleur, avec A. PAPERT.
88. Quantification et transmission de la chaleur (axiome de Clausius), avec O. de MARCELLUS.
89. La vision et la lumière, avec A. PAPERT.
90. Les couleurs, avec A. MUNARI.
91. La projection de la lumière et de la chaleur, avec J. de LANNOY.
92. De l'objet auditif à la vibration sonore, avec M. LABARTHE.
93. La loi de Pythagore, avec M. LABARTHE.
94. Seringue et pression de l'air, avec H. PERDIKIDI.
95. Le manomètre, avec M. ROBERT.
96. La pression exercée sur et par l'air (ludion), avec M. DEPOTEX.
97. Rôle de l'air dans l'écoulement de l'eau d'une boîte de conserve, avec M. DEPOTEX.
98. Mouvement ascendant dû à la chaleur (papier), avec M. ROBERT.
99. L'air chaud sur une spirale de papier, avec M. ROBERT.
100. Action de l'air sur une hélice et problème de la conservation des poids, avec J. VONECHE.

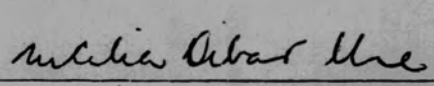
A Dissertação "A FORMAÇÃO DO CONHECIMENTO FÍSICO - UM
ESTUDO DA CAUSALIDADE EM J. PIAGET"

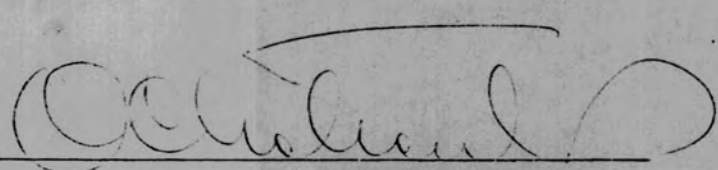
foi considerada

aprovada.

Rio de Janeiro, 25 de maio de 1987


FRANCO LO PRESTI SEMINÉRIO
Professor Orientador


MARIA CELIA DIBAR URE
Membro da Banca Examinadora


OSWALDO CHATEAUBRIAND FILHO
Membro da Banca Examinadora