

A Teoria do Processo Qualitativo (TPQ) e a Análise de Explicações em Física

(The Qualitative Process Theory and the analysis of Explanation in Physics)

Arion de Castro Kurtz dos Santos e Maria Helena Gravina

FURG, Departamento de Física

Campus Carreiros: Av. Itália, Km 8, Caixa Postal 474

CEP 96201-900, Rio Grande - RS

Trabalho recebido em 5 de outubro de 1994

Resumo

Apresentamos algumas idéias sobre a Teoria do Processo Qualitativo (TPQ) de Forbus (1982), uma teoria da Inteligência Artificial, sobre Física Qualitativa. Acreditamos que tal teoria sugere um referencial útil para a análise de explicações fornecidas por estudantes.

Abstract

Some ideas about Forbus' Qualitative Process Theory (1982), a theory of Artificial Intelligence about Qualitative Physics, are presented. We believe that this theory suggests a useful framework for analyzing explanations given by students.

TPQ, Quantidades e Objetos

A Física do senso comum descreve como as pessoas pensam, intuitivamente, a respeito do mundo físico.

O pensamento sobre o mundo físico requer o raciocínio sobre os tipos de mudanças que ocorrem, e os efeitos que resultam. As descrições qualitativas são importantes porque mostram os resultados do raciocínio com informação incompleta, e essa informação geralmente permite que alguém seja capaz de propor alternativas ao invés de fornecer uma única previsão.

De Kleer e Brown (1985) colocam que a Física qualitativa deve explicar e prever o comportamento de mecanismos em termos qualitativos, tendo como objetivos:

- usar um formalismo bem mais simples que o da Física Clássica e ainda reter todos os importantes aspectos (tais como, oscilação, momentum, etc) sem invocar a matemática das quantidades com variação contínua e equações diferenciais;

- produzir descrições causais dos mecanismos de simples entendimento, como, por exemplo, um regulador de pressão ou um sistema massa-mola sem atrito;

- fornecer os fundamentos do modelo do senso co-

mun para a próxima geração de sistemas inteligentes. Embora tais sistemas sejam capazes de executar tarefas complexas, não apresentam o raciocínio do senso comum, o que poderá ser superado, em parte, pelo raciocínio qualitativo.

A representação de como as coisas evoluem é um problema central no raciocínio físico do senso comum. Em Física, a Dinâmica descreve como as forças causam mudanças em sistemas físicos. A Dinâmica consistirá na identificação dos tipos de forças que atuam entre as classes de *objetos*, e os *eventos* que resultam dessas forças.

A um *objeto* associamos parâmetros contínuos, tais como massa, temperatura e pressão. Os parâmetros são representados por quantidades, e uma quantidade consiste de duas partes, um *valor* e uma *taxa* (intuitivamente a derivada temporal), cada um dos quais sendo números. Por exemplo, a água em um tanque (*objeto*) tem como um parâmetro a altura que será definida por um *valor* (que é um nível) e, se o tanque estiver perdendo água, por uma *taxa* de saída.

Os objetos podem aparecer e desaparecer ("vir e ir"), suas propriedades podem mudar dramaticamente,

mas algumas dessas mudanças dependem dos valores das quantidades relacionadas. No exemplo anterior, quando o nível de água em um tanque torna-se zero, podemos considerar que a água (*objeto*) desapareceu ("foi embora").

Processos e os fundamentos da TPQ

A TPQ inclui em sua ontologia de modelos físicos do senso comum a noção de processo. O termo ontologia refere-se às entidades que estão disponíveis para representar esses modelos. *Fervendo, fluindo e esticando*, são processos que causam mudanças em situações físicas.

A dinâmica qualitativa é uma teoria sobre os tipos de "coisas" que podem acontecer em certa área. É possível prever como uma situação mudará e evoluirá no tempo, se utilizamos processos para descrever o que está acontecendo nessa situação.

A coleção dos processos que atuam em sistemas físicos constitui a descrição do "que está acontecendo" em qualquer situação. Um processo físico atua através do tempo e causa modificações. A consideração central da TPQ é que "somente processos influenciam diretamente quantidades, e as dependências funcionais são as causas das mudanças indiretas". Então os processos fornecem os mecanismos da mudança. Isto é introduzido como: *todas as mudanças em sistemas físicos são causadas direta ou indiretamente por processos*.

O que identifica um processo é o fato de ter influências, isto é, um conjunto de quantidades que ele afeta diretamente. Uma quantidade que está mudando é dita estar sendo influenciada direta ou indiretamente por um processo ou processos.

Se um processo P influencia alguma quantidade Q e outra quantidade R é qualitativamente proporcional à Q (representado por $R\alpha_{Q+Q}$ - significando que existe um função que determina R e é monotonicamente crescente em sua dependência com Q), então dizemos que P influencia indiretamente R .

A Física em cada área deve incluir um vocabulário de processos que ocorrem nessa área. Isto é a especificação da teoria dinâmica para a área. Uma situação é descrita por uma coleção de objetos, suas propriedades, suas relações entre os objetos e os processos que estão ocorrendo.

Raciocínio Causal na TPQ

O raciocínio causal é especialmente importante para o entendimento dos sistemas físicos. Tem sido notado que no raciocínio causal *somente certos sentidos*

do fluxo de informação correspondem intuitivamente à mudanças causais.

Forbus propõe a Hipótese do direcionamento causal: *mudanças em situações físicas, que são percebidas como causais, são devido a nossa interpretação das mesmas como sendo correspondentes à mudanças diretamente causadas por processos ou a propagação dos efeitos diretos através de dependências funcionais*.

Por exemplo, mudanças do nível de água de um tanque, causadas por um fluxo externo de água (torneira externa), afetam a pressão da água no furo de saída do tanque, o que afetará, instantaneamente, o fluxo de saída de água (veja figura 1).

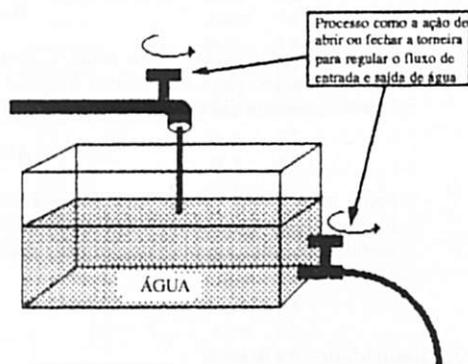


Figura 1. Tanque perdendo água com uma torneira acoplada.

Poderíamos dizer que o efeito do processo responsável pela mudança do nível da água ("colocar água", com uma torneira externa, a uma certa taxa), para um dado conjunto de condições iniciais, é transmitido através de dependências funcionais, afetando, ao final, o fluxo de saída de água.

Os processos são os mecanismos que causam mudanças diretas. *Causação requer alguma noção de mecanismo*.

A seguir proporemos um modelo semi-quantitativo para a situação da figura 1, onde serão evidenciadas as possíveis alternativas para o comportamento do nível de água do tanque. O modelo conterá uma descrição estrutural, substâncias, condições iniciais, processos e as possíveis alternativas. Para facilitar não utilizaremos a notação da Lógica proposta por Forbus.

MODELO:
Descrição estrutural

Tanque, torneira externa, torneira acoplada, líquido conectado.

Substâncias

O tanque contém como substância a água.

A torneira externa permite a passagem de água para o tanque.

Condições iniciais

Quantidade inicial de água é maior do que zero.

Nível inicial de água é maior do que zero.

Processos

A água flui através da torneira externa.

A água flui através da torneira acoplada.

Estados qualitativos possíveis

A tabela 1 mostra os cinco estados qualitativos possíveis. O símbolo > 0 significa maior do que zero. São apresentados os estados qualitativos das taxas de fluxo da torneira externa (TE) e da torneira acoplada (TA), e o correspondente comportamento do nível de água.

Taxa versus Nível					
Taxa	Nível				
	Constante	Aumenta		Diminui	
Taxa de fluxo Externa (TE)	0	>0	>0	0	>0
Taxa de fluxo Acoplada (TA)	0	0	>0	>0	>0

Tabela 1. Os cinco estados qualitativos possíveis para o exemplo da figura 1.

Note que o nível de água aumentará quando a taxa da torneira externa for maior do que zero e a da torneira acoplada for igual a zero. Também ocorrerá um aumento quando as duas taxas forem positivas, mas a taxa da torneira externa for maior que a da torneira acoplada, isto é,

Taxa de fluxo (TE) > 0

Taxa de fluxo (TA) > 0

e Taxa de fluxo (TE) $>$ Taxa de fluxo (TA).

Da mesma forma, ocorrerá uma diminuição do nível quando

Taxa de fluxo (TE) $<$ Taxa de fluxo (TA).

As outras condições podem ser, facilmente, inferidas analisando-se a tabela.

Utilização da TPQ

Entendemos que a TPQ pode fornecer um referencial teórico muito útil para a investigação do tipo de

raciocínio utilizado por um estudante ao fornecer uma *explicação* em Física.

A existência de objetos pode ser dependente dos valores de algumas quantidades. Isso sugere investigar nas explicações dos estudantes se, ao raciocinar sobre sistemas dinâmicos, eles tendem a utilizar objetos ao invés das esperadas quantidades. Uma explicação em Física, fornecida por um estudante, poderá ser rica em objetos e eventos, e não conter nenhuma das quantidades relevantes.

O principal aspecto da TPQ parece ser o conceito de processo, como ação causal. Isso sugere como um procedimento de análise a redução do conteúdo de uma explicação a seu *núcleo causal*. Para isto, deve-se construir um diagrama que mostre o que é relevante, na explicação, do ponto de vista dos processos envolvidos. Por exemplo, suponhamos que, para a situação da figura 1, um aluno fornecesse a seguinte explicação:

se eu abrir a torneira externa farei com que a quantidade de água do tanque aumente com o passar do tempo, pois a torneira coloca água no tanque. Quanto maior for a quantidade de água no tanque, maior será a velocidade com que a água sairá da torneira acoplada ao tanque. Por outro lado, se eu abrir mais a torneira acoplada ao tanque, maior, também, será a velocidade com que a água sairá dessa torneira".

A redução dessa explicação ao núcleo causal levaria ao seguinte diagrama, apresentado na figura 2, onde os processos são representados por elipses e as quantidades por retângulos.

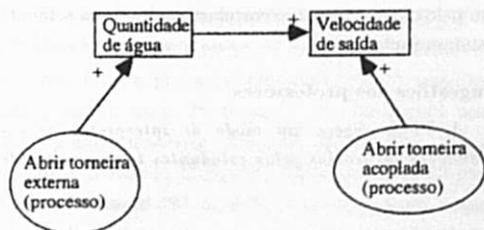


Figura 2. Redução ao núcleo causal de uma explicação para a situação da figura 1.

Nesse diagrama, que representa a explicação acima, observamos que os processos de abrir as torneiras vinculadas ao tanque, levam a um aumento na velocidade de saída da água do tanque. No diagrama há a representação explícita de processos afetando quantidades.

Poderíamos comparar a *estrutura causal* das explicações de diferentes estudantes, onde diagramas

mais elaborados poderão evidenciar um melhor entendimento do assunto.

Para o exemplo da figura 2, o elo entre 'Abrir torneira acoplada' e 'Velocidade de saída' sugere que, para um dado conjunto de condições iniciais, o tamanho do furo (que é regulado pela abertura ou fechamento da torneira acoplada ao tanque) também é responsável pelo valor do fluxo de saída de água. Para um tanque rígido, não faz sentido supor que o fluxo de água seria responsável por mudanças no tamanho do furo. O fluxo de água é função do tamanho do furo, e não o contrário. Um aumento no tamanho do furo (pela abertura da torneira acoplada) leva a um aumento na velocidade de escoamento da água.

Contudo, o elo (veja figura 3) representa uma *associação*, e poderá ser lido em ambas as direções. Faz sentido dizer que a altura da água poderá ser calculada a partir do volume da água e vice-versa.

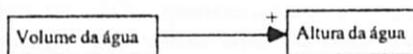


Figura 3 - Elo representando uma associação. Não há relação de causa e efeito.

Os exemplos acima evidenciam que "somente certos sentidos do fluxo de informação correspondem intuitivamente à mudanças causais". Há uma conexão causal entre as alterações no tamanho do furo (pela abertura da torneira acoplada) e o fluxo de água. Mudanças no tamanho do furo, que poderiam envolver uma ação de algum tipo, *produzirão* mudanças no fluxo de água. Contudo, volume e altura da água não são produzidos um pelo outro, eles estão correlacionados - eles somente "andam juntos".

Sugestões aos professores

A TPQ, sugere um modo de interpretar as explicações fornecidas pelos estudantes tanto oralmente

quanto em questões dissertativas de Física.

- Ao corrigir uma resposta dissertativa procure verificar a concepção de variável que o estudante está apresentando e os processos que afetam essas variáveis. Nem todos os estudantes estão prontos para "enxergar o mundo em termos de variáveis". Assim, as explicações ao invés de conter variáveis quantitativas bem como processos relevantes, poderão ser ricas em objetos (tais como, tanque e carro) e eventos (tais como, "a água está saindo do tanque", ou "o carro começa a se mover").
- Se for o caso, procure elaborar um material instrucional que leve em consideração o fato do aluno não estar pronto para pensar em termos de variáveis.
- Procure, se possível, reduzir a explicação a seu núcleo causal, para facilitar a análise e a comparação das respostas dadas pelos estudantes. Identifique os processos e quantidades existentes e, explicitie, na forma de diagrama, as interações propostas pelos estudantes.

Bibliografia

- Antaki, C. (ed). (1990) *Analysing Everyday Explanation*. Sage, London.
- Bunge, M. (1963) *Causality and Modern Science*. Dover Publications, New York.
- De Kleer, J. & Brown, J. (1985) A Qualitative Physics Based on Confluences. In *Formal Theories of the Commonsense World*, (eds. J. R. Hobbs & R. C. Moore). Ablex, New Jersey.
- Forbus, K. D. (1982) *Qualitative Process Theory*. Artificial Intelligence Laboratory, AI Memo 664 MIT: Cambridge Mass.
- Forbus, K. D. (1985) The Role of Qualitative Dynamics in Naive Physics. In *Formal Theories of the Commonsense World*, (eds. J. R. Hobbs & R. C. More). Ablex Publishing Corporation, New Jersey.