

CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA – CNPQ

Projeto Individual de Pesquisa

–Renovação–

Lógica, Ontologia e Teorias Quânticas

DÉCIO KRAUSE

Departamento de Filosofia

Universidade Federal de Santa Catarina

<http://www.cfh.ufsc.br/~dkrause>

April 5, 2009

Resumo

Este Projeto dá continuidade aos meus projetos anteriores [K2003] e [K2007], aprofundando questões (como descritas abaixo) e visando novas frentes de investigação sugeridas pelos meus estudos e contatos mais recentes, bem como pela evolução dos trabalhos apresentados na literatura nos últimos três anos.

“Devemos, portanto, abandonar a idéia de que todo objeto físico é ou uma onda ou uma partícula. Nem é possível dizer, como feito algumas vezes, que partículas ‘tornam-se’ ondas no domínio quântico e, conversamente, que as ondas são ‘transformadas’ em partículas. Nem deveria ser dito que objetos quânticos têm uma natureza dual, que é simultaneamente ondular e corpuscular (algo que é logicamente absurdo, desde que os dois conceitos são mutuamente exclusivos). É, portanto, necessário reconhecer que temos aqui uma espécie diferente de entidade, uma que é especificamente quântica.” [L-L&B1990, p.69]

“[T]he status of particles in QFT is similar to smile to a face. It has an individuality once it appears, but it disappears once a face stops smiling. That is, particles are not substance, not the ontology of QFT. They are epiphenomena.” (Tian Yu Cao, em conversa particular por e-mail, 27.02.2009)

Conteúdo

0.1	Informações sobre o projeto	1
0.2	Introdução	1
0.3	Indiscernibilidade e individualidade em física quântica	4
0.4	Ontologia e física quântica	10
0.5	Mecânica quântica e sua semântica	11
0.6	Física quântica e lógica elementar	14
0.7	Entidades sem identidade	15
0.8	Descrições quânticas	17
0.9	Mecânica quântica com não-indivíduos	19
0.10	Realismo estrutural ontológico	20
0.11	Desfecho, a Conferência da American Philosophical Association, e o Prêmio Imre Lakatos	23
0.12	Resultados pretendidos	24
0.12.1	Artigos concluídos	24
0.12.2	Livros e artigos	25
0.12.3	Formação de pesquisadores	27

0.1 Informações sobre o projeto

1. Classificação CNPq

7.01.03.00-3 (Lógica)

7.01.02.00-7 (Ontologia e Metafísica)

7.01.05.00-6 (Epistemologia)

2. Palavras-chave

Não-Individualidade em física

Filosofia da Física

Epistemologia da Física

Identidade e Individualidade em Física

Objeto físico

Objetividade das Teorias Físicas

Estrutura lógica de teorias físicas

Ontologia das teorias físicas

Realismo estrutural ontológico

0.2 Introdução

A filosofia da física, em especial da física quântica, tem contado com um volume impressionante de publicações e de eventos internacionais. São variados os centros que concentram pesquisadores nessa área, notadamente na Europa e nos Estados Unidos, como as universidades de Viena, Trieste, Oxford, Cambridge, Paris, Munique, Princeton, Califórnia, etc. Para se ter uma idéia do que se faz apenas na Universidade de Oxford, pode-se consultar <http://users.ox.ac.uk/~ppox>, ou consultar a página <http://>

[//users.ox.ac.uk/~ball10402/pofp/](http://users.ox.ac.uk/~ball10402/pofp/) (Philosophy of Physics homepage). Na América Latina, há igualmente um bom número de pessoas dedicando-se ao tema, no Brasil, na Argentina e na Colômbia, por exemplo.

São variadas as questões que ocupam os filósofos que se dedicam a esta área do conhecimento, com ênfase maior nas decorrências do chamado “teorema de Bell”, no “problema da medição”, na possibilidade de haver “variáveis ocultas”, nas variadas interpretações do formalismo, etc. (exposições filosóficas do assunto podem ser vistas em [J1974], [R1989], [Be&A2004], [G2007], [M2007], [To1999]). Presentemente, as teorias quânticas de campos (QFT, para ‘quantum field theory’) constituem o *locus* de interesse de vários filósofos (como se pode inferir consultando os artigos de [C1999], [Ri,F&Saa2007], ou [A1995], [Te1995], [R1988]), não obstante as dificuldades em se estabelecer tais “teorias” como *teorias* estrito senso (não se conhecem muito bem quais seriam os princípios norteadores ou as equações de várias das “teorias” que constituem esse campo—algumas dessas “teorias” são a eletrodinâmica quântica, a cromodinâmica quântica e a teoria eletrofraca [G12000], [dC2007]). Não obstante essa dificuldade, as questões de natureza filosófica emergem, em especial as relacionadas à ontologia. Nossas investigações não são ainda ambiciosas a ponto de adentrarmos diretamente a essa área, ainda que caminhem naturalmente na direção do estudo da base lógica (ou das lógicas) subjacente a várias dessas “teorias”, explorando seus pressupostos e indagando sobre a sua correspondente descrição formal e relações com as supostas ontologias associadas a essas teorias (ver por exemplo [K&B2008]). Partimos da mecânica quântica não relativista, que alguns sustentam concentrar a totalidade das questões de natureza filosófica relacionadas à física quântica (com o que não concordamos em absoluto); por exemplo Tian Cao afirma que “a teoria quântica de campos é unicamente uma aplicação da mecânica quântica [não relativista] em geral, sem questões filosóficas intrinsecamente distintas a serem exploradas” (em [C1999, p.28]). Mas há tais

questões, como as que apontamos na seção 0.4.

No que concerne à minha atividade, pretendo neste Projeto explorar aspectos formais que subjazem a vários conceitos assumidos pelos físicos e pelos filósofos da física, muitas vezes sem a devida cautela de explorar as consequências de suas hipóteses. Alguns exemplos são os seguintes, melhor detalhados na seção 0.6). Via de regra, os filósofos assumem que (ou agem como se) a lógica subjacente às teorias quânticas fosse a lógica clássica de primeira ordem com identidade (ver [P2007], [Mu&S2008] para dois exemplos recentes). Ainda que muitos deles assumam conscientemente que uma teoria de conjuntos como Zermelo-Fraenkel, por exemplo, podem ser formalizadas como teorias de primeira ordem, as *estruturas* matemáticas que consideram são meramente estruturas *de primeira ordem*, porém não se dando conta que as definições de ordem de uma linguagem (ou de uma teoria) e ordem de uma estrutura são conceitos distintos. Isso os leva a tomar os modelos de uma teoria como se fossem modelos no sentido da usual teoria de modelos (a referência para a teoria elementar de modelos é o clássico [ChKe1990]),¹ o que de fato traz problemas; se aceitarmos a visão da chamada *abordagem semântica* às teorias científicas, segundo a qual (grosso modo) uma teoria é identificada com a classe de seus modelos (por exemplo, [vF198, p.64]), esses ‘modelos’ não podem ser estruturas de primeira ordem (no sentido de ‘ordem de uma estrutura’). Dentre os poucos filósofos da ciência que têm consciência deste fato está Patrick Suppes, mas mesmo assim ele não é aparentemente bem compreendido em geral (alguns filósofos sustentam que Suppes trabalha com modelos ‘elementares’, o que não é verdade).

Em suma, estruturas elementares (de primeira ordem) não bastam para

¹Não existe propriamente uma teoria de modelos para estruturas de ordem superior. Uma tentativa de elaboração de algo neste sentido são os trabalhos de Newton da Costa e sua *Teoria de Galois Generalizada*, que vem elaborando há algum tempo—ver por exemplo [dC&Rod2007].

que se possam caracterizar as estruturas físicas mais relevantes, em especial as relacionadas às teorias quânticas.² Uma das etapas de meu projeto é esclarecer este ponto, delimitando precisamente os conceitos de *ordem* de uma linguagem e de uma estrutura; esta parte da pesquisa conta com a colaboração do Prof. Newton da Costa; essas definições e suas implicações filosóficas serão exploradas em uma parte deste Projeto (seção 0.6).

Por outro lado, este Projeto parte de um pressuposto, que pode ser devidamente fundamentado historicamente, filosoficamente e formalmente (cf. [F&K2006]), de que há sentido em se supor que os objetos quânticos *podem ser vistos* como entidades destituídas de individualidade (os quais chamamos de *não-indivíduos*). Note-se que não estou afirmando que essas coisas *são* não-indivíduos, fato que concerne à física mostrar. Filosoficamente, é razoável seguir essa possibilidade, tendo em vista os pressupostos assumidos pelas teorias relevantes, em especial pela importância que se dá à noção de indiscernibilidade, implícita, por exemplo, na noção de superposição (*entanglement*), que Schrödinger considerou ser a própria essência da física quântica.

Assumindo esse pressuposto, aparecem várias questões que este Projeto procurará esclarecer, tais como as indicadas em cada uma das seções a seguir.

0.3 Indiscernibilidade e individualidade em física quântica

Físicos e filósofos assumem que partículas ‘idênticas’ são *indiscerníveis*. Por exemplo, bósons podem ser agregados em um mesmo estado, com isso possuindo exatamente as mesmas propriedades físicas: nessa situação são, em certo sentido, *absolutamente indiscerníveis*. Férmions, por outro lado, sem-

²Estou utilizando a denominação “teorias quânticas” ou “física quântica” para me referir indistintamente à mecânica quântica não-relativista ou a qualquer outra abordagem ao micro-mundo; assumo portanto que não há mecânica quântica *tout court*.

pre diferem em alguma coisa, já que obedecem ao chamado Princípio de Exclusão de Pauli.³ No entanto, mesmo diferindo por exemplo relativamente a um componente de spin (como os dois elétrons de um átomo de hidrogênio no estado fundamental), possuem a característica de não poderem ser identificados, um como sendo *um*, e o outro como sendo *o outro*. Em outras palavras, apesar da diferença no valor de spin (claro que o que estou dizendo está muito simplificado), não se pode saber *qual é qual*, ou seja, em uma certa acepção, objetos quânticos não comportariam nomes próprios em sentido usual (da chamada teoria da referência devida principalmente a Kripke e Barcan Marcus —para um resumo, ver [St2001]). Mais importante, e acordo com o que se aceita usualmente, isso não se deve a qualquer limitação epistemológica, mas à natureza intrínseca dessas entidades; podemos dizer que trata-se de uma questão de natureza ontológica.

Esses fatos contrastam fortemente com a noção intuitiva que temos dos objetos físicos que nos cercam, e com as entidades que são tratadas pela mecânica clássica, pela matemática usual e pela lógica clássica. Todos esses campos pressupõem que as entidades das quais falamos são *indivíduos*, coisas que podem sempre (pelo menos em princípio) ser identificadas, nomeadas, rotuladas, ou descritas por uma descrição definida, como por exemplo “o menor número primo de Mersenne com mais de 20 milhões de dígitos”, que não é conhecido presentemente, mas que pode ser identificado de modo inequívoco por tal descrição (e comportar um nome próprio, como “Pedro”).⁴

Se os objetos quânticos diferem dos usuais, que tipo de entidade são essas entidades? Em que precisamente consistem essas diferenças? Claro que essa é uma questão que compete à física responder. No entanto, ela abre uma enorme variedade de questões de natureza filosófica, com aportes na lógica,

³Todas as partículas conhecidas (ver [G12000]) enquadram-se entre os bósons ou entre os férmions.

⁴Números de Mersenne são primos da forma $2^p - 1$,

na epistemologia, na ontologia, no estudo das estruturas matemáticas básicas das teorias correspondentes, etc. Com efeito, se não podem ser individualizadas em sentido usual, como podemos nos referir a elas? Que tipo de lógica obedecem? Qual a matemática que lhes corresponde? Podem essas entidades ser valores de variáveis (no sentido quineano)? (mais sobre isso abaixo na seção 0.4).

Claro que a física não se ocupa propriamente dessas questões, que concernem à análise filosófica. A física opera com a matemática padrão, que podemos supor estar assentada em uma teoria de conjuntos como o sistema Zermelo-Fraenkel (ZF), pressupondo a lógica clássica e a sua teoria da identidade (que qualifica as entidades como indivíduos). O modo de se lidar com a indiscernibilidade é via certos ‘truques’ matemáticos, como supor condições de simetria: os dois elétrons de um átomo de hidrogênio mencionados acima são descritos por um vetor da forma $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow\rangle|\downarrow\rangle - |\downarrow\rangle|\uparrow\rangle)$ na notação usual, que expressa que ambos estão em uma superposição de estados ‘spin up’ e ‘spin down’. Como a função/vetor acima não pode ser ‘fatorada’ (decomposta em dois estados distintos, ‘spin up’ e ‘spin down’), não se pode saber qual é qual; não obstante a função troca de sinal quando de uma permutação, e o seu quadrado $||\psi\rangle|^2$, que expressa a probabilidade relevante, não muda. Mas, deixando o formalismo matemático de lado, note-se, o raciocínio é feito como se os elétrons fossem entidades usuais, indivíduos, e o formalismo matemático é consoante com essa hipótese, que foi denominada de *estratégia de Weyl* em [F&K2006].

Tenho investigado essa questão há bastante tempo, principalmente com Steven French, da Universidade de Leeds, na Inglaterra. Nosso livro [F&K2006] contém uma discussão detalhada dos pontos de vista histórico, filosófico e formal dessa questão, motivo pelo qual não entrarei em detalhes sobre isso nesta proposta. (O Professor French acaba de ser contemplado com uma bolsa de pesquisa com a qual poderá ficar dois anos sem atividades didáticas a partir

de setembro de 2009; combinamos de retomar alguns projetos conjuntos.)

Neste Projeto, vou aprofundar minha investigação procurando delinear de forma precisa a distinção entre o que se pode chamar de entidades supostas por uma teoria (seus domínios de aplicação) e o formalismo matemático usado para descrevê-las. Por exemplo, nas teorias quânticas de campos, as entidades básicas supostas são *campos*: se dissermos, como Tian Cao, que a ontologia de uma teoria consiste no elemento irreduzível último que serve de alicerce à teoria, então a ontologia das teorias de campos é uma ontologia de campos [C1999, p.10]. As partículas são “extraídas” como certos estados excitados dos campos. Como ele mesmo diz (ver a citação no início deste Projeto), “o status das partículas nas QFT é similar ao de um sorriso para uma face. Ele tem uma individualidade uma vez que surge, mas desaparece quando a face não mais sorri. Isto é, partículas não são substância, não são a ontologia das QFT. Elas são epifenômenos” (por e-mail).⁵ (não concordo com a palavra ‘individualidade’ na frase de Cao, exceto se a entendermos, como sugere Toraldo di Francia, como uma *mock individuality* (uma “individualidade fingida” [Tor1985], como no caso dos dois elétrons de um átomo de hélio discutidos acima—como discutido no capítulo 5 de [F&K2006]).

A não-individualidade mesmo dos quanta de campo (excitações dos campos) é ilustrada na figura abaixo, mas pode ser devidamente esquematizada no formalismo da mecânica quântica, o que acentua o que vimos dizendo, que tais ‘quanta’ não podem ser tratados como indivíduos na acepção usual.

Apesar da redução do discurso matemático a campos, a noção de partícula continua essencial em física. Como comenta Brigitte Falkenburg em seu livro *Particle Metaphysics*, concordando com Cao quanto à redução dos conceitos a campos, as partículas emergem como fenômenos experimentais, e não como entidades fundamentais, que são os campos; porém, salienta ela, “con-

⁵Uma exposição detalhada dos diferentes conceitos de partícula desde a física clássica até as teorias de campos pode ser vista em [Fal2007].

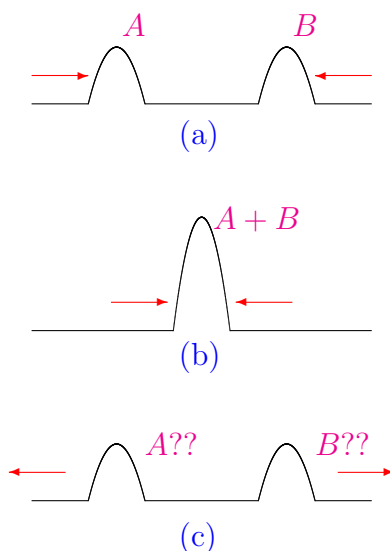


Figura 1: Em (a), duas ondas—ou excitações de campos— A e B aproximam-se uma da outra; em (b), elas se fundem em um estado descrito por $A + B$ e, em (c), separam-se novamente. Mas, nesta última situação, não se pode mais saber qual é A e qual é B . Se fossem *indivíduos*, possuiriam *genidentity*, preservariam sua identidade e poderiam ser identificadas posteriormente.

ceito de partícula não desapareceu”, e que “os físicos continuam falando em partículas” [Fal2007, p.209]. Com efeito, conhecem-se hoje um quantidade enorme de partículas, ainda que umas poucas sejam necessárias para descrever todo o nosso contorno [Gl2000, p.198]. Creio que devemos traçar uma distinção entre as entidades básicas da matéria elas mesmas e a sua descrição matemática: os físicos operam (matematicamente) com campos, que são funções a variáveis complexas em espaços de dimensão infinita, mas pensam e operam com partículas (por exemplo nos grandes aceleradores) como se elas fossem *objetos* de algum tipo, e não meramente formas matemáticas. Para empregar mais uma vez as palavras de Cao, os físicos buscam os sorrisos nas faces—as formas matemáticas mencionadas, e não trabalham com

‘partículas’ em qualquer sentido usual (como na física clássica)—com *individuos*. Não creio que a ciência presente conceba uma realidade de formas puras, em sentido platônico. No entanto, na minha concepção, a *forma* é o que importa, e não a particular porção da matéria utilizada para se erigir uma porção da realidade, ainda que eu não renegue a existência dessa realidade: uma molécula de água é (para simplificar) composta de dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, e não importam os “particulares” átomos envolvidos, face a sua indiscernibilidade, ainda que eles ‘existam’ em alguma acepção. Mas *há* matéria, matéria com forma, com estrutura, ainda que ambas possam sofrer um processo de transformação. Este ponto é delineado com mais detalhes na seção 0.10, e será explorada no contexto deste Projeto, e de ceeto modo creio que se aproxima bastante da idéia de *realidade velada* de Bernard d’Espagnat [d’Esp1983, d’Esp1995], mas este é um ponto para ser ainda desenvolvido. Dentre outras coisas, pretendo aprofundar um ponto de vista que pode ser interessante: ainda que a ontologia das teorias de campos seja composta de campos, a *referência* última é para com ‘partículas’, para os sorrisos nas faces. Assim, me parece que a concepção de Cao mencionada acima sobre o que consiste a ontologia de uma teoria deve ser melhor investigada. Vou desenvolver este ponto em minhas atividades reacionadas a este projeto, procurando um critério distinto para o que seja a ontologia associada a uma teoria (isso ainda está muito vago), e tentar desvendar uma lógica para esses ‘sorrisos’ que, se podem ser considerados nas teorias, devem obedecer alguma matemática, e suspeito que não possa ser a clássica (ainda que isso seja o que usualmente se conclama).

A indiscernibilidade e a não-individualidade desses epifenômenos—as partículas—entram neste estudo de forma essencial, e delinear este conceito de forma adequada se faz necessário, inclusive explorando em que medida ele pode ser dispensado nas teorias quânticas vigentes (se é que se pode dispensar esse conceito, o que conjecturamos não ser possível). Em [D,H&K2008]

e [D,H,K&Kn2008], iniciamos a ‘construção’ de uma ‘mecânica quântica’ envolvendo esse conceito como primitivo, como apontado abaixo (seção 0.9), que terá continuidade no decorrer deste estudo.

0.4 Ontologia e física quântica

Em que medida a ontologia é determinada (ou dependente) da lógica? Iniciaremos nossas investigações nesse sentido adotando a tese positiva, qual seja, de que a ontologia é sempre relativizada a uma determinada lógica (como defendido em [dC2002]). Após explorar detalhes desta questão (uma boa discussão está em [Ch2001/2005]), abordaremos o caso particular das teorias quânticas. Nossa tese (ou hipótese se trabalho) é a de que se o conceito de indiscernibilidade é (como mencionado na seção 0.3) essencial em física quântica, de que modo que podemos seguir o dito de Heinz Post (cf. [F&K2006, p.245]) de que a indiscernibilidade deve ser atribuída às entidades quânticas “desde o início” (*right at the start*), e não “feita a posteriori” mediante a introdução de condições de simetria? Nesse caso, é razoável supor que a lógica subjacente possa ser distinta da clássica.

Levando essa questão a fundo, podemos assumir, como Quine, que “ser é ser o valor de uma variável”, ou seja, que aquilo com que uma teoria se compromete ontologicamente é determinado pelo que pode ser valor das variáveis ligadas das sentenças da linguagem (devidamente “regimentada”) da teoria. Porém, se a noção de indiscernibilidade é essencial, e se devemos considerá-la ‘right at the start’, como podem entidades destituídas de individualidade (no sentido usual) serem valores de variáveis?⁶ Quine, como se sabe, pre-

⁶No capítulo 1 de [F&K2006] é feita a distinção entre individualidade e distinguibilidade; como lá se argumenta, o que faz uma coisa ser *distinta* de outra não coincide necessariamente com o que pode lhe conferir *individualidade*. No entanto, para o contexto desta exposição, essa distinção não se faz necessária.

feriu mudar o conceito de objeto físico a mudar a lógica quando tratou de questões acerca desses objetos. Sua ontologia, em resumo, se resume inicialmente a regiões no espaço tempo e depois a conjuntos [Q1976] (ver [F1998]), mas conjuntos, para ele, que é afeito à matemática tradicional, continuam sendo “coleções de objetos distintos de nossa intuição ou pensamento”, como dizia Cantor (cf. [F&K2006, pp.258ss]), ou seja, vale tanto para os conjuntos quanto para seus elementos (mesmo se houver *Urelemente*), a teoria clássica da identidade: trata-se de uma ontologia de indivíduos.

Como se vê, há várias questões inter-relacionadas que necessitam esclarecimento. Podemos usar o critério quiniano para delinear o que seria a ontologia de uma teoria quântica que pressupõe não-individualidade? De que lógica estamos falando? Ou seja, que lógica (e que matemática) estamos adotando para falar dos objetos quânticos? Se usamos o aparato ‘clássico’, que implicações isso tem? E se supusermos que podemos (ou talvez davamos) usar uma lógica (e uma conseqüente matemática) não-clássica? Isso é pertinente? Neste caso, qual seriam as conseqüências? Que vantagens traria? Haveria alguma melhora do ponto de vista físico ou isso teria meramente um ‘efeito cosmético’? (mesmo se houver ganho conceitual, por exemplo de melhor entendimento de conceitos-chave, já reputamos a empreitada como justificada). Todas essas questões serão analisadas no contexto deste Projeto, as quais se estendem nos tópicos mencionados nas seções seguintes.

0.5 Mecânica quântica e sua semântica

O grande físico matemático Yuri Manin disse que “a mecânica quântica não possui sua linguagem própria (...) [mas] usa um certo fragmento da linguagem da análise funcional [clássica], ‘orientada’ para descrever S .” (Aqui, S denota um sistema físico). Certamente, ele se refere àquela parte da análise funcional com a qual expressamos tópicos como a teoria dos espaços de Hil-

bert.

Manin pode ter razão, ainda que eu não conheça qualquer análise mais detalhada de sua afirmativa. Porém, há inúmeras formulações axiomáticas da mecânica quântica (e aqui estamos nos referindo à mecânica quântica ortodoxa, não relativista), como as apresentadas em [J1974], [Sk1994], [A1995], as quais, devidamente formalizadas, podem constituir uma linguagem \mathcal{L}_{QM} para iniciarmos nosso ponto aqui. Esta será nossa *linguagem-objeto*. O que pretendemos investigar são algumas questões semânticas relacionadas a \mathcal{L}_{QM} , entendendo-se ‘semântica’ no sentido exposto em [Chu1956, §09]. Ou seja, discutir “aquelas coisas que são inteligíveis meramente através de um entendimento de que as fórmulas bem formadas têm significado em um sentido próprio, e.g., que certas delas expressam proposições ou que denotam ou que em certos modos tenham valores [de verdade].” (op.cit., p.64).

Ora, sabemos desde Tarski e Carnap que há um sentido em que a semântica (nessa acepção) pode ser reduzida à sintaxe, ou seja, às considerações meramente sintáticas pelas quais certas expressões—sequências finitas de símbolos da linguagem objeto—são aceitas como bem formadas, etc. (ibid., loc.cit.). Tal ‘linguagem sintática’, para empregar as palavras de Church, deve ser “capaz de expressar tais equivalentes sintáticos dos conceitos semânticos [que supomos quando definimos uma interpretação para a linguagem objeto] (...) [e] deve ser mais forte que a linguagem objeto.” (ibid., p.66). Sabe-se ainda que esta ‘linguagem sintática’ (novamente parodiando Church) pode ser formalizada, como mostrou Tarski.

Vamos agora ao nosso problema e hipótese de trabalho. Suponha que em \mathcal{L}_{QM} expressamos o fato corriqueiro em física quântica que certos bósons são *absolutamente indiscerníveis*, ou seja, que nada pode discerní-los. (Uma tal situação pode ser a de um condensado de Bose-Einstein.) Claro que isso pode ser visto como uma interpretação possível da \mathcal{L}_{QM} . Podemos ainda supor que a linguagem sintática na qual os conceitos semânticos serão expressos é a

linguagem de ZF, no mesmo sentido em que o formalismo da análise funcional usual é inteiramente expresso em ZF. A questão então é: podemos encontrar um ‘equivalente sintático’ para uma tal afirmação, que expresse na linguagem sintática (em ZF) o que se pretende com tal interpretação?

A hipótese é que não, e isso se deveria à incapacidade de ZF expressar a indiscernibilidade absoluta já mencionada antes. Uma solução possível, a ser devidamente investigada aqui, é usar a linguagem da teoria de quase-conjuntos [F&K2006, cap.9] para formular tanto a \mathcal{L}_{QM} (como em [D,H&K2008] —ver a seção 0.9) quanto servir de linguagem sintática para tais questões semânticas. Obviamente, não se incorre aqui em problemas como o de se expressar a semântica de uma linguagem ‘nela mesma’, o que poderia ser impedido pelos teoremas de incompletude; a situação é exatamente a mesma que ocorre na matemática (e na física usual). Recentemente (Abril de 2009), tenho trocado e-mails com Steven French e Otávio Bueno (e com o Prof. Newton da Costa) e tem aparecido, no escopo dessa discussão, um grande número de questões, como sobre o significado de se atribuir ‘propriedades’ às entidades quânticas, necessário para que se possa falar em ‘indistinguidibilidade absoluta’. O Prof. Newton Costa tem colocado várias questões a este respeito, que devem ser investigadas, e que podem ser assim colocadas (em resumo): geralmente se usa propriedades de localização espaço-temporal para a discernibilidade dessas entidades. Mas, qual o sentido de ‘espaço’ e de ‘tempo’ usados aqui? A mecânica quântica não relativista usa os conceitos de espaço e tempo no sentido tradicional, como conceitos *absolutos*, em sentido newtoniano. Mas a relatividade restrita já os usa de forma diferente, o que terá certamente consequências para a QFT. Tudo isso deve ser analisado.

Certamente, os resultados obtidos com tais análises poderão depois ser considerados no contexto filosófico das teorias de campos.

0.6 Física quântica e lógica elementar

A hipótese de trabalho da qual partiremos é que a lógica elementar não é suficientemente adequada para fundamentar as estruturas quânticas mais relevantes. Iniciaremos investigando esta hipótese no contexto da mecânica quântica não-relativista, adotando uma de suas possíveis formulações que adota o formalismo clássico via espaços de Hilbert ([Sk1994], [R1989]). No entanto, no decorrer deste Projeto, tentaremos adentrar ao domínio das teorias quânticas de campos, que têm recebido destacada atenção dos filósofos (ver os vários artigos em [C1999], ou [A1995]). É reconhecido que as teorias quânticas de campos constituem ainda um campo de trabalho que carece de uma fundamentação matemática adequada, mas isso não tem impedido a discussão filosófica de temas variados associados a essas teorias.

Tendo em vista que toda a matemática envolvida no desenvolvimento dessas teorias físicas pode ser erigida em uma teoria de conjuntos como o sistema Zermelo-Fraenkel (ZF) de primeira ordem, é cabível que a hipótese acima possa ser refutada. No entanto, sabidamente as estruturas quânticas (vistas como estruturas conjuntistas) não podem ser estruturas como as trabalhadas na usual teoria elementar de modelos, e o mesmo pode ser dito dos *modelos* das teorias científicas mais relevantes, o que mostra que esta questão tem aportes mais gerais na chamada “abordagem semântica” às teorias científicas, segundo a qual, segundo alguns de seus defensores (ver [Su2002]), uma teoria pode ser identificada com a classe de seus modelos. Esses ‘modelos’, no entanto, são supostos (pela maioria dos filósofos) serem estruturas conjuntistas como os das teorias elementares da matemática, e isso é discutível. Em dois trabalhos, apontei para essas questões; um com Otávio Bueno [K&B2008] e em uma pré-publicação [K 2008], mas o tema necessita aprofundamento, o que será realizado neste estudo.

Inicialmente, a investigação procurará caracterizar precisamente o que se

entende por *ordem de uma estrutura*. O ponto de partida é [dC&Rod2007]. Conto com a colaboração e interesse dos Profs. Newton da Costa e Otávio Bueno (da Universidade de Miami) nesta etapa, e estamos iniciando um trabalho conjunto sobre o tema, com a participação de alguns de meus alunos de pós-graduação.

Meu (nosso) objetivo é iniciar considerando certo tipo de estrutura conjuntista que foi colocada como descrevendo a contraparte matemática da mecânica quântica não relativista, como a apresentada por Dalla Chiara & Toraldo di Francia [DC&TdF1981] (ou por outros autores; ainda veremos isso). A partir daí, outras estruturas serão consideradas, como algumas relacionadas a teorias de campos (na medida em que isso for possível), a começar pela teoria dos espaços de Fock (já iniciada em [F&K2006, cap.9]). O mais importante nesta fase é delinear precisamente a matemática necessária (teoria de conjuntos) para se ‘fazer’ física, que alguns conjecturam não precisar ir além da hierarquia de Borel [Je2003, Cap.11]. Em especial, responder às questões: (1) podemos nos restringir à lógica elementar? (2) em caso afirmativo, em que as estruturas físicas diferem das estruturas elementares? (2) em caso negativo, como manter a idéia básica da abordagem semântica, em particular no contexto da física quântica? (3) há sentido em se falar de ‘semântica’ para as ‘linguagens quânticas’? (4) que linguagens seriam essas?

Essas, dentre outras, são questões que nos ocuparão no decorrer deste Projeto.

0.7 Entidades sem identidade

W. V. Quine, como é bem sabido, celebrizou o dito de que “não há entidades sem identidade” (ver por exemplo [Q1948]). Se fizermos o exercício de representar ‘ x uma entidade’ por $E(x)$ e ‘ x possui identidade’ por $I(x)$, a frase acima pode ser escrita como $\forall x(E(x) \rightarrow I(x))$ —claro que isso precisaria qua-

lificação, uma vez que os conceitos não foram precisados, mas isso é apenas uma força de expressão e pode ser entendida de forma intuitiva. Assim, o que estamos apregoando é justamente o oposto disso, já que a negação da sentença acima é precisamente $\exists x(E(x) \wedge \neg I(x))$, ou seja, “há entidades sem identidade”.

O que seriam essas ‘entidades sem identidade’? Deixaremos esta discussão sem detalhes aqui, mas adiantamos que tem a ver com certas concepções possíveis dos objetos quânticos, como extensamente discutido em [F&K2006]. Uma das coisas que ainda necessita-se fazer é fundamentar uma metafísica de tais entidades, o que procurarei fazer neste Projeto. De início, o que faremos será tentar dar sentido preciso (ao estilo Quine) a esse dito, mostrando de que forma pode uma teoria comprometer-se com tais entidades, ou seja, de que forma entidades sem identidade podem ser valores de variáveis ligadas em fórmulas da linguagem da referida teoria. Alguma coisa nesse sentido já foi por mim adiantada em [K2007], mas a fundamentação filosófica dessa análise ainda precisa ser aprofundada, o que se pretende fazer no decurso deste Projeto.

Os textos mais relevantes filosoficamente são os conhecidos de [Q1948, Q1969, Q1969a, Q1976], dentre outros, bem como [Ch2003], [F1998], [Ma1993]. As referências básicas em física quântica são apontadas em [F&K2006], mas há vários textos recentes que discutem ontologia em física, ou que podem importar para esse assunto, dos quais vimos nos aproximando paulatinamente, como [S2006], [Sm2008], [Di&V2008], [Mu&S2008], dentre outros. Em especial, Saunders defende a idéia (incorporada em seu trabalho com Muller) de que fermions seriam entidades *fracamente discerníveis*, no sentido de obedecerem uma relação simétrica e irreflexiva, como “ter o mesmo spin que” – pensando-se nos dois elétrons de um átomo de hidrogênio em seu estado fundamental. Em [K 2008], mostrei que mesmo assim essas entidades seriam *indivíduos* devido ao comprometimento da teoria com a lógica clássica. No

entanto, usando a teoria de quase-conjuntos, creio poder incorporar a idéia desse autor sem a indesejável consequência. Meu artigo acima expõe as idéias básicas, que pretendo desenvolver mais detalhadamente (o assunto foi apresentado em um seminário no grupo de filosofia da física na Universidade de Oxford em Outubro de 2008, com Saunders presente).

0.8 Descrições quânticas

Bertrand Russell expôs sua teoria das descrições em várias publicações, a mais conhecida sendo possivelmente seu artigo “On denoting” [Ru1905]. Tal teoria foi considerada por ele mesmo como a sua maior contribuição à lógica, como é bem sabido. Descrições são sentenças contendo expressões como “o(a) tal e tal” ou “um(a) tal e tal”. As primeiras são denominadas de *descrições definidas*, e as segundas de *descrições indefinidas* (ver [Ru1971, cap.16]). Fixemo-nos nas descrições definidas.

Uma sentença como “A atual rainha da Inglaterra é casada” pode ser escrita, de acordo com a teoria de Russell, como

$$\exists x(R(x) \wedge \forall y(R(y) \rightarrow y = x) \wedge C(x)), \quad (1)$$

os predicados tendo significados óbvios. Abreviadamente, “A atual rainha da Inglaterra” (uma descrição definida) pode ser escrita $\iota xR(x)$, que indica haver uma só pessoa possuindo as qualidades indicadas (se não há nenhuma, ou se há mais de uma, de acordo com a teoria de Russell, a sentença é falsa). Assim, a expressão (1) pode ser resumida em $C(\iota xR(x))$ simplesmente.

O que importa aqui é que a teoria faz uso essencial do conceito de identidade. Suponha agora que haja sentido (como as demais partes deste Projeto apontam) para se supor que os objetos quânticos *possam ser* considerados como entidades destituídas de critérios de identidade (seriam *não-indivíduos*, no sentido apontado em [F&K2006]). Mesmo assim, os físicos fazem uso de

expressões como “o tal e tal” (descrições definidas). Tomemos um exemplo; suponha que temos um átomo de sódio (Na), que tem número atômico 11, e cuja distribuição eletrônica é $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$. Este átomo (em estado neutro) tem um elétron na última camada eletrônica. Suponha agora que realizemos um processo químico de ionização visando obter um ion positivo; para isso, dito de modo simplificado, o elétron da camada mais externa é “eliminado”, resultando um ion Na^+ . Podemos reverter o processo, reincorporando um elétron ao ion negativo, obtendo novamente um átomo neutro. Perguntas:

1. O primeiro átomo neutro é *idêntico* ao segundo? (sabe-se que para todos os efeitos físicos, os dois átomos—se há de fato *dois* deles—são indiscerníveis).
2. O elétron emitido no processo é *o mesmo* que o absorvido depois?
3. Adotando a tese acima da não-individualidade das entidades quânticas, a resposta deve ser colocada entre parênteses em ambos os casos, já que não haveria sentido preciso afirmar que os átomos e os elétrons são *iguais* ou *diferentes*.

Na discussão dos tópicos acima, por exemplo sobre como tornar preciso o que isso significa de um ponto de vista formal, o discurso refere-se a um específico átomo de sódio, e a um específico elétron em cada caso. Ou seja, na metalinguagem (se formos supor que haja uma “linguagem quântica” envolvendo não-indivíduos), faz-se uso de descrições definidas. Como incorporar esse discurso na linguagem objeto? Este é o objetivo desta parte do Projeto, ou seja, desenvolver uma *teoria das descrições quânticas*, como a estou chamando, visando acomodar o discurso do físico quando ele se refere, por exemplo, *àquele* elétron da camada mais externa (um único, e supostamente bem definido objeto).

Estou delineando a teoria em um artigo [K2009], ainda em fase de conclusão, o que pretendo fazer no decorrer deste Projeto.

0.9 Mecânica quântica com não-indivíduos

Desde minha estada em Buenos Aires, em abril de 2007, mantenho contato com a professora Graciela Domenech, do Instituto de Astronomia e Física do Espaço da Universidade de Buenos Aires (IAFE-UBA), e com um de seus alunos de doutorado, Federico Holik. Eles dois trabalharam na teoria de quase-conjuntos, argumentando que certas coleções (quase-conjuntos) não deveriam ter um cardinal associado se fossem para refletir de alguma forma coleções de objetos quânticos, tendo em vista que em mecânica quântica relativista (MQR), seria isso que acontece. Exceto pelo que foi dito no capítulo 9 de meu livro com S. French [F&K2006], e pelo que publicamos em [F&K1999], eu não havia trabalhado com a MQR. Os dois argentinos propuseram um modo de definir cardinais para quase-conjuntos finitos [D&H2007], e meu aluno de mestrado (hoje de doutorado) Jonas Becker propôs uma outra definição mais geral e que incorpora a deles como um caso particular [B2008]. A partir desses trabalhos, propus uma alteração na teoria de quase-conjuntos que não postula a existência de cardinais para *todos* as coleções, aproveitando para incorporar outras modificações, algumas sugeridas por Becker. Essas modificações constarão da exposição que farei no meu livro mencionado abaixo (seção 0.12.2), e são tratadas em um artigo que estou escrevendo com S. French, do qual já temos uma primeira versão.

O importante é que o trabalho com os dois argentinos continua, agora com a adesão de Laura Kniznik, também do IAFE-UBA. Com os dois primeiros, publiquei um artigo em que realizamos a primeira incursão séria na obtenção de uma teoria física, que estamos denominando de “Mecânica Quântica de Partículas Indiscerníveis”, no qual exploramos a indiscernibilidade “right at the start” (cf. seção 0.4) [D,H,K&Kn2008]. (Este trabalho foi apresentado por Federico em um encontro realizado em Outubro de 2008 em Utrecht, na Holanda). Um outro trabalho, agora contanto com Laura, foi submetido

para publicação [D,H,K&Kn2008]. Estamos trabalhando no tema, e tencionamos incorporar nos nossos desenvolvimentos parte da mecânica quântica relativista no próximo trabalho.

Saliente-se que houve tentativas anteriores de se erigir parte da física quântica em base lógica distinta da clássica, por exemplo por Hans Reichenbach, Paulette Fèvrier e outros (o livro de Max Jammer [J1974] faz um apinhado até aquela data, e desde então o assunto tem permanecido no limbo), mas todos esses aportes carecem da profundidade lógica adequada, pois lidam unicamente com sistemas proposicionais (o mesmo pode ser dito do trabalho pioneiro de Birkhoff & von Neumann –veja [J1974]). Em nossa abordagem, pelo contrário, contamos com uma *grande lógica* (envolvendo quantificação e uma teoria de conjuntos, na verdade, de “quase-conjuntos”), a qual poderá eventualmente ser vista como uma matemática alternativa para se fundar uma física quântica que incorpore desde o início a noção de indiscernibilidade, o que nas abordagens usuais é feita somente via a introdução (algo que *by hand*) de condições de simetria, como vimos acima.

Ainda é cedo para saber em que isso dará. Já antevendo que será difícil ultrapassar a reconhecida barreira da aceitação de bases lógicas distintas da usual, principalmente em um campo como a física, no qual a lógica subjacente às teorias é pouco explorada, mesmo assim questões filosóficas podem aparecer de modo relevante. Veremos.

0.10 Realismo estrutural ontológico

Em 2005, publiquei um artigo no qual propus uma forma de se caracterizar o que seriam estruturas matemáticas contendo relações (em particular, funções e operações) que não levassem em conta a identidade dos objetos relacionados [K2005]. O objetivo foi o de avançar na busca de “relações sem os relata”, que alguns filósofos apregoam ser de fundamental importância para o cha-

mado *realismo estrutural ontológico* (REO)—[L1998]; no meu artigo acima há outras referências.

Grosso modo, o REO afirma que tudo o que há são estruturas, e difere do realismo estrutural epistemológico (REE) que afirma que tudo o que podemos conhecer são estruturas. Os defensores dessa vertente de realismo, no entanto, pretendem fazer uso, dentre outras coisas, do conceito de verdade parcial, ou quase-verdade [dC&F2003], e para tanto essas “estruturas” devem ser estruturas conjuntistas (erigidas em uma teoria de conjuntos). O problema é que nas teorias usuais de conjuntos (incorporando o axioma da fundação) qualquer estrutura é construída a partir de conjuntos (ou *Urelemente*, se houver algum) obtidos em “etapas anteriores”, e em particular não há (pelo menos nas teorias extensionais de conjuntos) relação sem que se possam explicitar os elementos relacionados (uma relação binária entre dois conjuntos A e B é um subconjunto de $A \times B$, e não se pode ‘descartar’ esses conjuntos—e seus elementos). Está aí, portanto, uma questão delicada para os defensores do REO, que não obstante tem uma filosofia muito bonita e interessante (que é assunto de tese de doutoramento de meu aluno William José Steinle, cf. 0.12.3).

Porém, dentro da linha de filosofia analítica com a qual estou habituado, sinto falta de uma noção matematicamente adequada de estrutura que possa satisfazer as necessidades do REO na forma proposta. Daí minha tentativa de usar a teoria de quase-conjuntos para dar conta de parte do problema; usando essa teoria, consegui mostrar que se pode definir ‘relações’ (no sentido da teoria, denominadas de *quase-relações*) que são satisfeitas por certos objetos e por todos os que lhes sejam indiscerníveis. É certo que continuamos tendo os relata, mas eles não são mais indivíduos, como na matemática usual. Minha solução capta bem a idéia de que em um composto químico (o exemplo é tomado de meu artigo) como C_2H_6O , para todos os efeitos, não importam os particulares átomos de oxigênio, carbono e hidrogênio envolvi-

dos; essas entidades, para todos os efeitos químicos, não são indivíduos, para os quais qualquer permuta com *outro* conduz a situações diferentes (em um conjunto, a troca de um elemento por outro—distinto—conduz a um outro conjunto). No caso de compostos desse tipo, qualquer permuta de um átomo de hidrogênio por outro (suponha que isso é possível) conduz a exatamente a mesma situação física), e o mesmo acontece—com maior razão ainda, ao que tudo indica—ao nível das entidades elementares como elétrons, prótons e etc. Na minha abordagem, essa situação, descrita facilmente pela química, mas de difícil aporte formal, é alcançada com relativa facilidade.

Mas isso não é tudo. Em um composto como o acima, dependendo da forma estrutural de seus elementos, originam-se compostos químicos bem distintos, conforme ilustram as figuras 1 e 2. Essa situação reflete de forma razoável o que foi dito acima sobre a minha postura filosófica realista; é certo (pelo menos para mim) que há os elementos químicos dos quais a teoria fala e que entram na composição dos compostos descritos, mas para todos os efeitos o que mais importa é a forma estrutural que adquirem, e não a sua natureza *como indivíduos*, porém a sua natureza como entidades de um certo tipo. Forma, porém com conteúdo, que possa ser suscetível de permuta por indiscerníveis.

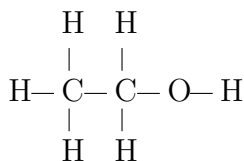
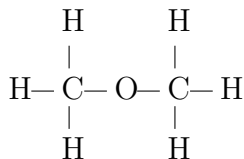


Figura 2: Álcool etílico, C₂H₆O

Conjecturo (ou tenho a esperança de) que, devido ao uso da teoria de quase-conjuntos, este meu resultado não foi compreendido pelos filósofos, mas em minha estada na Universidade de Oxford (durante um Estágio Sênior no

Figura 3: Éter metílico, $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$

Exterior, que cumpri de Setembro a Dezembro de 2008), pude conversar sobre este assunto com algumas pessoas, em particular com Steven French. Como ele recebeu uma bolsa de pesquisa para um período de dois anos (durante o qual não precisará lecionar), combinamos continuar nossas atividades de parceria, em especial aprofundando a questão acima e buscando alternativas para a noção de estrutura que se molde ao REO. Uma conjectura é a de se utilizar a teoria das relações de Tarski [T&G1987], e isso será visto no decorrer do Projeto, inclusive com uma já prometida visita de French ao Brasil.

(No momento—e isso é por enquanto pura especulação—estou pensando que as idéias acima podem se estender aos objetos macroscópicos que nos cercam, e a nós mesmos; trata-se de um modo diferente de abordar a antiga questão da identidade trans-temporal e da identidade de objetos em geral. Quando amadurecer um pouco mais a idéia, escreverei a respeito).

0.11 Desfecho, a Conferência da American Philosophical Association, e o Prêmio Imre Lakatos

Como se pode ver, todos os tópicos relacionados acima acham-se imbrincados, tendo como pano de fundo exatamente as questões do título deste Projeto.

Ademais, percebe-se que foram todas já tocadas em algum ponto, mas cada uma ainda necessita adequado burilamento e detalhamento filosófico. Como a atividade de pesquisa em filosofia não é algo que se possa encerrar de forma abrupta, a continuidade da atividade de pesquisador é essencial para que todo o esforço anterior não seja perdido, principalmente porque meu trabalho tem sido reconhecido internacionalmente, seja pela referência em vários livros e artigos, mas principalmente pelos fatos seguintes:

1. A American Philosophical Association destinou uma sessão no encontro de Vancouver (abril de 2009) para a discussão de meu livro com French [F&K2006], tendo como debatedores Bas van Fraassen, Don Howard e Otávio Bueno, uma honraria que não sei se foi alcançada por algum filósofo brasileiro (sobre essa conferência, ver em <http://apa-pacific.org/current/group-program.php>, GVIII-H. Society for Realist/Antirealist Discussion, Session 2).
2. Este mesmo livro foi indicado para concorrer ao Prêmio Imre Lakatos de Filosofia da Ciência, o mais prestigioso prêmio da área no Reino Unido, e um dos maiores do mundo. Somente a indicação já pode ser vista como algo bom (ver em <http://www.lse.ac.uk/collections/philosophyLogicAndScientificMethod/lakatos/Default.htm>). (PS de 14 de Fevereiro de 2009: o livro não ganhou o prêmio, que foi destinado a um outro de um pesquisador da Universidade do Arizona).

0.12 Resultados pretendidos

0.12.1 Artigos concluídos

No período correspondente a esta etapa do Projeto, espero publicar os seguintes artigos, já concluídos:

- (1) ‘The metaphysics of non-individuality’, a aparecer em um livro que estou editando juntamente com Antonio Augusto Videira, a sair pela coleção *Boston Studies in the Philosophy of Science*.
- (2) ‘Logical aspects of quantum (non-)individuality’.
- (3) ‘No Labeling Quantum Mechanics of Indiscernible Particles’, com G. Domenech, F. Holik e L. Kniznik.
- (4) ‘A filosofia da quase-verdade’, a aparecer em um livro em homenagem ao Prof. Newton da Costa.
- (5) ‘Is Priscilla, the trapped positron, an individual? Quantum physics, the use of names, and individuation ’, já aceito pela revista espanhola *Arbor*.
- (6) ‘Ontological Issues in Quantum Theory’, com Otávio Bueno, a aparecer em *Manuscrito*.
- (7) ‘Algebraic aspects of quantum indiscernibility’, com Hércules de Araujo Feitosa, a aparecer nos Anais do Congresso Brasileiro de Lógica, realizado em Parati em 2007.

0.12.2 Livros e artigos

Estou escrevendo um livro baseado em notas de um curso ministrado na Universidade de Buenos Aires em 2007. A falta de tempo impediu que eu o concluísse, mas isso teve suas vantagens. O livro tem o título provisório de *A Metafísica da Não-Individualidade: Ensaio sobre a Indiscernibilidade dos Quanta*, e trata de explorar a possibilidade de se assumir que os objetos básicos podem ser apenas numericamente discerníveis. A teoria matemática que sustenta esta posição chama-se de *teoria de quase-conjuntos*, que foi mencionada acima. Face aos trabalhos com a equipe de Graciela Domenech (cf.

seção 0.9), novos desenvolvimentos foram alcançados, que serão (pelo menos em parte) incorporados ao texto. Tenciono terminá-lo durante a vigência deste Projeto, e já há o interesse da College Publications para editá-lo em português.

Um outro livro no qual estou trabalhando estende um escrito para o curso de filosofia à distância da UFSC juntamente com Celso R. Braidia, e se chamará *Tópicos em Ontologia Analítica*. Não há previsão para seu término, já que vem sendo escrito aos poucos, mas o trabalho encontra-se adiantado.

Além desse livros, tenciono terminar os seguintes artigos, já parcialmente delineados:

- (1) ‘Paraconsistent quasi-set theory’, com Otávio Bueno.
- (2) ‘Remarks on the theory of quasi-sets’, com Steven French.
- (3) ‘Physics and inconsistency’, com Newton C. A. da Costa, para sair em um livro editado por P. Vickers e O. Bueno, *Inconsistencies in Science*.
- (4) ‘Quantum descriptions’.
- (5) ‘Questões a uma Teoria de Quase-Objetos’.

Estou editando um volume especial da revista *Manuscrito* (Campinas), juntamente com Otávio Bueno, dedicada à filosofia da física, contado com a colaboração de alguns dos melhores especialistas da Europa, Estados Unidos e América Latina. Estou também editando um volume especial da revista *Principia* (Florianópolis), dedicado aos 80 anos do Prof. Newton da Costa, que contará com a participação de mais de 20 colaboradores nacionais e internacionais.

Pretendo realizar um evento congregando os pesquisadores do Grupo de Pesquisa CNPq *Lógica e Fundamentos da Ciência*, do qual sou líder, em 2010.

0.12.3 Formação de pesquisadores

O curso de doutoramento em filosofia da UFSC, ao qual estou vinculado, é recente, e formou apenas um aluno. Porém, minhas atividades relacionadas a esta pesquisa, em suas diversas etapas, formou os seguintes mestres pela UFSC:

1. Gilson Maicá de Oliveira. Racionalidade, Paraconsistência e Quase-Verdade. 2008. Dissertação (Mestrado em Filosofia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Orientador: Décio Krause.
2. Jonas Rafael Becker Arenhart. Tópicos em Teoria de Quase-Conjuntos e Filosofia da Mecânica Quântica. 2008. Dissertação (Mestrado em Filosofia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Décio Krause.
3. Jaison Schinaider. Lógica Paraclássica e Verdade Empírica. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Filosofia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Décio Krause.
4. Adriano Luiz de Souza Lima. Quase-Verdade, Probabilidade Pragmática e Indução. 2006. Dissertação (Mestrado em Filosofia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Décio Krause.
5. William José Steinle. Aspectos do Realismo Estrutural. 2006. Dissertação (Mestrado em Filosofia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Décio Krause.
6. Geraldo Gelowate. Observações sobre matemática e comprometimento

ontológico. 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado em Filosofia) - Universidade Federal de Santa Catarina, . Orientador: Décio Krause.

Presentemente, oriento os seguintes alunos:

Dissertações de mestrado

(i) Caroline Elisa Murr. Tópicos em Teoria da Quase-Verdade. Início: 2007, Dissertação (Mestrado em Filosofia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. (Orientador).

(ii) Flavio de Carvalho Meurer. Física Quântica e Ontologia. Início: 2006. Dissertação (Mestrado em Filosofia) - Universidade Federal de Santa Catarina. (Orientador).

Teses de doutorado

(i) Jonas Rafael Becker Arenhart. Tópicos em Filosofia da Física Quântica (provisório). Início: 2008. Tese (Doutorado em Filosofia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. (Orientador).

(ii) William José Steinle. Realismo Estrutural Ontológico (preliminar). Início: 2006. Tese (Doutorado em Filosofia) - Universidade Federal de Santa Catarina. (Orientador).

Iniciação científica

(i) Juliana dos Santos. Filosofia da Ciência. Início: 2008. Iniciação científica (Graduando em Licenciatura em Filosofia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. (Orientador).

(ii) Gabriel de Oliveira Pereira. Filosofia da Lógica. Início: 2008. Iniciação científica (Graduando em Licenciatura em Filosofia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. (Orientador).

No entanto, como se pode constatar pelo exposto acima, tem havido formação de pesquisadores em outros locais, como em Buenos Aires (sob a orientação de Graciela Domenech, caso especial de Federico Holik e Laura Kniznik) e em Leeds (sob a orientação de Steven French). Esses contatos são de fundamental importância para a continuidade das atividades, e pretendemos realizar um encontro em 2010, possivelmente em Buenos Aires, para discutir os temas envolvidos com nossas pesquisas conjuntas.

Bibliografia

- [A1995] Auyang, S. [1995], *How if Quantum Field Theory Possible?*, Oxford: Oxford Un. Press.
- [Ma1993] Barcan Marcus, R. [2003], *Modalities*, Oxford: Oxford Un. Press.
- [Be&A2004] Bell, J. S. & Aspect, Al. [2004], *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics: Collected Papers on Quantum Philosophy*, Cambridge: Cambridge University Press, 2 edition.
- [B2008] Becker Arenhart, J. [2008], *Tópicos em Teoria de Quase-Conjuntos e Filosofia da Mecânica Quântica*, Dissertação (Mestrado em Filosofia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.
- [C1999] Cao, T. Y. (ed.) [1999], *Conceptual Foundations of Quantum Field Theory*, Cambridge: Cambridge Un. Press.
- [Ch2003] Chateaubriand, O. [2003], “Quine on ontology”, *Principia* 7 (12), Florianopolis, June/December 2003, pp. 4174.
- [Ch2001/2005] Chateaubriand, O. [2001/2005], *Logical Forms*, Campinas: Coleção CLE, Partes 1 (2001) e 2 (2005).

- [ChKe1990] Chang, C. C. and Keisler, H. J. [1990], *Model Theory*, 3rd. ed., Amsterdam: North-Holland (Studies in Logic and the Foundations of Mathematics, v.73).
- [Chu1956] Church, A. [1956], *Introduction to Mathematical Logic*, Princeton: Princeton Un. Press, Vol. 1.
- [dC2002] da Costa, N. C. A. [2002], “Logic and ontology”, *Principia* 6 (2), 279-298
- [dC2007] da Costa, N. C. A. [2007], “Some aspects of quantum physics”, *Principia* 11 (1), 77-95.
- [dC&F2003] da Costa, N. C. A. & French, S. [2003], *Science and Partial Truth: A Unitary Approach to Models and Scientific Reasoning*, Oxford: Oxford Un. Press.
- [dC&Rod2007] da Costa, N. C. A. and Rodrigues, A. M. N. [2007], ‘Definability and invariance’, *Studia Logica* 86, 1-30.
- [DC&TdF1981] Dalla Chiara, M. L. & Toraldo di Francia, G. [1981], *Le Teorie Fisiche: Un’Analise Formale*, Torino: Boringhieri.
- [d’Esp1983] d’Espagnat, B. [1983], *In Search of Reality*, New York: Springer-Verlag.
- [d’Esp1995] d’Espagnat, B. [1995], *Uma Incerta Realidade*, Lisboa: Instituto Piaget.
- [Di&V2008] Dieks, D. & Versteegh, M. A. M. [2008], “Identical particles and weak discernibility”, *Foundations of Physics* 38 (10), 923-934.
- [D&H2007] Domenech, G. & Holik, F. [2007], “A Discussion on Particle Number and Quantum Indistinguishability”, *Foundations of Physics* 37 (6), 855-878.

- [D,H&K2008] Domenech, G., Holik, F. & Krause, D. [2008a], “Q-spaces and the foundations of quantum mechanics”, *Foundations of Physics* 38 (11), 969-994.
- [D,H,K&Kn2008] Domenech, G., Holik, F., Kniznik, L. & Krause, D. [2008a], “No Labeling Quantum Mechanics of Indiscernible Particles”, pré-publicação, disponível em <http://www.cfh.ufsc.br/~dkrause/Artigos/2008/QuantStruc.pdf>.
- [Fal2007] Falkenburg, B. [2007], *Particle Metaphysics: A Critical Account of Subatomic Reality*, Springer.
- [F1998] French, S. [1998], “On the Withering Away of Physical Objects”, in E. Castellani (ed.), *Interpreting Bodies: Classical and Quantum Objects in Modern Physics*, Princeton: Princeton University Press, 93-113.
- [F&K1999] French, S. & Krause, D. [1999], “The logic of quanta”, in [C1999, pp. 324-342].
- [F&K2006] French, S. & Krause, D. [2006], *Identity in Physics: A Historical, Philosophical, and Formal Analysis*, Oxford: Oxford University Press.
- [G2007] Ghirardi, [2007], *Sneaking a Look at God’s Cards: Unraveling the Mysteries of Quantum Mechanics*, Princeton: Princeton University Press; Revised edition.
- [Gl2000] Glashow, S. L. [2000], *El Encanto de la Física*, Barcelona: Tusquets (Metatemas, 37).
- [J1974] Jammer, M. [1974], *The Philosophy of Quantum Mechanics: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*, New York: Wiley-Interscience.

- [Je2003] Jech, T. [2003], *Set Theory: The Third Millennium Edition*, Springer.
- [K2003] Krause, D. [2003], *Identidade e Individualidade em Física: Aspectos Lógicos e Ontológicos da Física Quântica*, <http://www.cfh.ufsc.br/~dkrause/pg/cnpq/ProjetoCNPq-2003.2007.pdf>
- [K2005] Krause, D. [2005], “Structures and structural realism”, *Logic Journal of IGPL* 13 (1), 113-126
- [K2007] Krause, D. [2007], *A Filosofia da Não-Individualidade: Aspectos Lógicos e Ontológicos da Física Quântica*, <http://www.cfh.ufsc.br/~dkrause/pg/cnpq/ProjetoCNPq-2007.2010.pdf>
- [K2007] Krause, D.[2007a], “Entities, but not identity”, em <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00003283/01/Entities.pdf>
- [K 2008] Krause, D. [2008], “Logical aspects of quantum (non-)individuality”, em <http://arxiv.org/abs/0812.1404>
- [K&B2008] Krause, D. & Bueno, O. [2008], “Scientific theories, models, and the semantic approach”, *Principia* 11 (2), 2007, 187-201.
- [K2009] Krause, D. [2009], “Quantum descriptions”, em preparo.
- [L1998] Ladyman, J. [1998], “What is Structural Realism?”, *Studies in History and Philosophy of Science* 29, 409-424.
- [L-L&B1990] Lévy-Leblond, J. -M. & Balibar, F. [1990], *Quantics: Rudiments of Quantum Physics*, Amsterdam, North-Holland/Elsevier.
- [M2007] Maudlin, T. [2007], *The Metaphysics Within Physics*, Oxford: Oxford Un. Press.

- [Mu&S2008] Muller, F. A. & Saunders, S. [2008], “Discerning fermions”, *British J. Phil. Sci.* 59, 499-548.
- [P2007] Pooley, O. [2007], “Points, particles, and structural realism”, in [Ri,F&Saa2007], pp. 83-120
- [Q1948] Quine, W. V. [1948], “On what there is”, *The Review of Metaphysics* 2, 2138.
- [Q1969] Quine, W. V. [1969], “Ontological relativity”, *The Journal of Philosophy* 65: 185-212. Reprinted in *Ontological Relativity and Other Essays*, pp. 2668.
- [Q1969a] Quine, W. V. [1969a], *Ontological Relativity and Other Essays*, New York: Columbia University Press.
- [Q1976] Quine, W. V. [1976], “Whither physical objects?”, *Boston Studies in the Philosophy of Science* 39, Dordrecht: Reidel, 497504.
- [R1988] Redhead, M. [1988], “A philosopher looks at quantum field theory”, in Brown, H. & Harre, R. (eds.) [1988], *Philosophical Foundations of Quantum Field Theory*, Oxford: Clarendon Press, 1-24.
- [R1989] Redhead, M. [1989], *Incompleteness, Nonlocality, and Realism: A Prolegomenon to the Philosophy of Quantum Mechanics*, Oxford: Oxford Un. Press.
- [Ri,F&Saa2007] Rickles, D., French, S. & Saatsi, J. T. [2007], *The Structural Foundations of Quantum Gravity*, Oxford: Oxford Un. Press.
- [Ru1905] Russell, B. [1905], “On denoting”, *Mind* 14, 479-493.
- [Ru1971] Russell, B. [1971], *Introduction to Mathematical Philosophy*, New York: Touchstone.

- [Sk1994] Sakurai, J. J. [1994], *Modern Quantum Mechanics – Revised Edition*, Addison Wesley.
- [S2006] Saunders, S. [2006], “Are quantum particles objects?”, *Analysis* 66, 52-63.
- [Sm2008] Smith, N. J. J. [2008], “Why sense cannot be made of vague identity”, *Noûs* 42, 1-16.
- [Su2002] Suppes, P. [2002], *Representation and Invariance of Scientific Structures*, Stanford: CSLI, Stanford University.
- [St2001] Stroll, A. [2001], *Twentieth-Century Analytic Philosophy*, New York: Columbia Un. Press.
- [T&G1987] Tarski, A. & Givant, S. [1987], *A Formalization of Set Theory Without Variables*, Providence: American Mathematica Society (Colloquium Publications, 41).
- [Te1995] Teller, P. [1995], *An Interpretive Introduction to Quantum Field Theory*, Princeton: Princeton Un. Press.
- [Tor1985] Toraldo di Francia, G. [1985], “Connotation and denotation in microphysics”, in P. Mittelsteadt and E. W. Stachow (eds.), *Recent Developments in Quantum Logics*, Mannheim: Bibliografisches Institut, pp.203-14.
- [To1999] Torretti, R. [1999], *The Philosophy of Physics*, Cambridge: Cambridge Un. Press.
- [vF198] van Fraassen, B. [1980], *Scientific Image*, Oxford: Oxford Un. Press.

