

# Revisão de Crenças em Lógicas de Descrição e em Outras Lógicas não Clássicas

Márcio Moretto Ribeiro<sup>1</sup>  
Renata Wassermann (orientadora)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Matemática e Estatística – Universidade de São Paulo (USP)

{marciomr, renata}@ime.usp.br

**Resumo.** *Revisão de crenças é a área que lida com a dinâmica das bases de conhecimento de agentes racionais. Com o advento da web-semântica tornou-se fundamental o estudo da revisão de crenças em Lógicas de Descrição. Trabalhos recentes mostraram, porém, que a maioria das Lógicas de Descrição não são compatíveis com as técnicas mais usadas de revisão de crenças (o paradigma AGM). Mostramos como adaptar o paradigma AGM para aplicá-lo a outras lógicas não clássicas que incluem diversas Lógicas de Descrição. Apresentamos construções, postulados e teoremas de representação para contração e revisão tanto em bases como em conjuntos de crenças. Além disso, mostramos como usar algoritmos conhecidos da área de depuração de ontologias na construção de determinadas operações e implementamos alguns desses algoritmos.*

## 1. Introdução

O tema central desse trabalho é revisão de crenças em lógicas não clássicas e, em particular, em Lógicas de Descrição. Considere o seguinte exemplo motivador:

Desde pequeno João acreditava que alimentos ricos em gordura como margarina e manteiga não são bons para saúde. Em uma aula de biologia ele aprendeu que existem diversos tipos de gordura. A gordura trans presente na margarina é um desses tipos de gordura e é especialmente ruim para a saúde.

Mais tarde lendo uma revista João descobre a dieta do doutor Atkins. Segundo o Doutor Atkins, tanto a margarina quanto a manteiga podem ser consumidos a vontade, pois não são nocivas a saúde.

Ao lermos o exemplo acima atribuímos crenças ao João. No primeiro momento, por exemplo, atribuímos a ele a crença de que manteiga faz mal a saúde.

A área de revisão de crenças estuda como agentes mudam suas crenças ao receberem novas informações, por exemplo, quando João conheceu a dieta do Dr. Atkins ele mudou suas crenças sobre comidas saudáveis.

Em inteligência artificial, uma *crença* é uma determinada relação entre um agente (e.g.: “João”) e uma proposição (e.g.: “alimentos ricos em gordura não são bons para saúde”). Um *agente* é qualquer entidade capaz de perceber o mundo e atuar nele [Russell and Norvig 2003]. Um *agente racional*, segundo Russel e Norvig, é aquele que a cada seqüência de percepções seleciona uma ação que acredita vir a maximizar sua medida de desempenho.

Suponha, por exemplo, que João (um agente racional) acreditava que “Brasília é a capital do Brasil”. Ao conhecer a dieta do Dr. Atkins ele pode mudar suas crenças sobre a manteiga ou a margarina, mas seria natural esperar que ele não mude sua crença sobre qual é a capital do país.

A totalidade das crenças que podem ser atribuídas a um agente em um determinado momento é chamada de *estado epistêmico* desse agente. Em revisão de crenças são definidas operações em estados epistêmicos. No exemplo acima primeiramente o estado epistêmico de João contém certas crenças sobre alimentos saudáveis. Quando João aprende sobre gordura trans atribuímos uma nova crença a ele. Ao fazermos isso aplicamos uma operação chamada *expansão* ao estado epistêmico de João. No momento seguinte, quando João conhece a dieta do Dr. Atkins, ele revisa suas crenças. A *revisão* é uma operação que acrescenta novas crenças a um estado epistêmico de forma consistente.

O estudo de revisão de crenças tem dois objetivos centrais. O primeiro é mostrar o que devemos esperar de um agente racional quando este muda suas crenças. O segundo é desenvolver agentes (sistemas) que se comportem de maneira racional ao mudar suas crenças.

Para o primeiro problema, a teoria de revisão de crenças define *critérios de racionalidade* para operações em estados epistêmicos. A minimalidade da mudança é um exemplo de critério de racionalidade: uma operação deve alterar o estado epistêmico de um agente de forma mínima.

Além da revisão e da expansão, a contração é outra operação importante em estados epistêmicos. A contração consiste na remoção de uma crença do estado epistêmico do agente.

O trabalho mais influente da área de revisão de crenças [Alchourrón et al. 1985] define um conjunto de postulados de racionalidade para cada uma das principais operações em estados epistêmicos. Esses conjunto de postulados são conhecidos como *postulados AGM* em homenagem aos autores desse trabalho.

Para o segundo problema, a teoria de revisão de crenças mostra como computar as operações de revisão e contração na base de conhecimento do agente.

A literatura de revisão de crenças é repleta de construções para essas operações. No próprio artigo do trio AGM são apresentadas formas de construir revisão e contração. Os principais resultados de [Alchourrón et al. 1985] (*teoremas de representação*) prova que ambas construções são totalmente caracterizadas pelos postulados AGM.

Um dos trabalhos mais influentes na área de representação de conhecimento é o de Brachman e Levesque [Levesque and Brachman 1987]. Nesse trabalho os autores argumentam por meio de exemplos concretos que existe um balanço entre a expressividade e a complexidade computacional de um formalismo. Portanto, para cada problema devemos tentar usar o formalismo mais adequado.

Nebel em sua tese [Nebel 1990] afirma que existem pelo menos dois importantes critérios de adequação que um formalismo deve satisfazer. O primeiro é a *adequação epistêmica*: um formalismo deve ser capaz de expressar tudo aquilo que for necessário para resolver o problema que se propõe. O segundo é a *adequação heurística*: o formalismo deve ser apropriado para ser usado internamente pelo sistema. Um exemplo

importante desse segundo tipo de adequação é o tempo levado pelo agente para fazer inferências. Um agente que utiliza um formalismo muito expressivo pode levar muito tempo para fazer uma inferência crucial e, portanto, não ser adequado.

*Lógicas de Descrição* (LDs) são uma família de formalismos usados para representar conhecimento conceitual. A grande vantagem das LDs com relação a seus antecessores (sistemas de frames e redes semânticas) é possuírem semântica bem definida. Diversas LDs com diferentes expressividades e complexidades foram estudadas na literatura e um dos principais desafios da área foi o de encontrar os formalismos mais expressivos em cada classe de complexidade.

Para os propósitos da tese, uma lógica é simplesmente um par  $\langle \mathcal{L}, Cn \rangle$  em que  $\mathcal{L}$  é a linguagem da lógica e  $Cn$  é seu operador de consequência. Ou seja,  $\mathcal{L}$  é o conjunto de todas as sentenças admitidas na lógica e  $Cn$  é uma função que leva um conjunto de sentenças  $B \in 2^{\mathcal{L}}$  ao conjunto de suas consequências  $Cn(B)$ . Muitos outros aspectos de uma lógica são relevantes, mas de maneira abstrata assumimos apenas que uma lógica seja um par  $\langle \mathcal{L}, Cn \rangle$ .

A teoria AGM não se aplica a qualquer lógica. Grande parte da literatura da área de revisão de crenças assume que a lógica usada satisfaz certas suposições que chamamos de *suposições AGM*. Essas suposições se aplicam à lógica clássica, mas não se aplicam por exemplo a diversas LDs.

Trabalhos recentes [Flouris 2006, Flouris et al. 2005] mostraram as dificuldades de se aplicar a teoria AGM a LDs. Esses trabalhos mostram que a contração AGM não é nem mesmo definível em determinadas lógicas. A maior parte das LDs são exemplos de lógicas em que a contração AGM não é definível.

O objetivo central da tese é aplicar os resultados da teoria de revisão de crenças às lógicas que não satisfazem as suposições AGM. Nossa abordagem consistiu em estudar propriedades lógicas que garantem determinados resultados de revisão de crenças.

Na seção seguinte apresentamos uma aplicação importante do estudo de revisão de crenças em LDs: a web-semântica. Na última seção enumeraremos as conclusões da tese.

### 1.1. Ontologias e Web-semântica

Abordamos a aplicação da teoria da revisão de crenças em lógicas não clássicas. Em particular estamos interessados nas LDs. O interesse principal nas LDs está na sua capacidade de representar ontologias.

Uma definição bastante aceita de ontologia é a de Gruber [Gruber 1993]:

“uma ontologia é uma especificação formal e distribuída de uma conceitualização de um domínio”

Ou seja, uma ontologia explicita conceitos e relações abstratas por meio de uma linguagem formal.

Em computação, o estudo de ontologias ganhou destaque com o desenvolvimento da *web-semântica*. A web-semântica é descrita como uma possível evolução da web em que as informações disponíveis seriam compreensíveis tanto por seres humanos (como a web de hoje) quanto por máquinas.

O papel das ontologias na web-semântica seria o de fornecer um vocabulário comum entre agentes na web. Ontologias seriam responsáveis por declarar os termos usados por cada agente e explicitar como esses termos se relacionam semanticamente. Desta forma, seria possível uma comunicação mais rica entre agentes na web.

Lógicas de Descrição são uma família de formalismos (lógicas) usados para representar conhecimento conceitual (ontologias). O estudo das LDs foi marcado pela busca de um balanço satisfatório entre expressividade e complexidade computacional. Além disso, o fato de possuírem semântica bem definida tornou-as candidatas ideais para representar ontologias na web. A linguagem padrão para representar ontologias na web (OWL) tem como base determinadas LDs.

## 2. Conclusões da Tese

Diversos autores apontam para a importância do estudo da dinâmica das ontologias [Stojanovic 2004, Flouris 2006]. Como a teoria da revisão de crenças há tempos tem estudado a dinâmica das bases de conhecimento, aplicá-la às lógicas usadas para representar ontologias (Lógicas de Descrição) parece uma ideia promissora. Apesar das dificuldades apontadas por Flouris em [Flouris 2006], mostramos que é possível aplicar a teoria de revisão de crenças às LDs. Para tanto precisamos adaptar os postulados e as construções para revisão de crenças. Essa generalização pode ser útil inclusive para aplicar a revisão de crenças em outras lógicas como a lógica de Horn e a lógica intuicionista.

No caso da contração AGM investigamos o que ocorre ao trocarmos o postulado da recuperação pela relevância [Ribeiro and Wassermann 2006, Ribeiro and Wassermann 2009a, Ribeiro et al. 2009]. O principal resultado obtido foi mostrar que esse novo conjunto de postulados é compatível com uma classe maior de lógicas, a saber toda lógica compacta e tarskiana. Em particular esse resultado se aplica a todas as LDs estudadas. Além disso, mostramos que esse conjunto de postulados é mais adequado para caracterizar a contração partial meet.

Ainda nesse tópico, mostramos que em lógicas chamadas de booleanas a relevância e a recuperação são equivalentes, mas para tantas outras isso não vale. Nessa segunda classe de lógicas a relevância e a recuperação são postulados distintos. Portanto, nesses casos o conceito de minimalidade é completamente distinto do conceito de recuperabilidade. Esse resultado é uma releitura de um trabalho importante de Hansson [Hansson 1991].

O problema central em aplicar a revisão de crenças às lógicas não-clássicas está na negação. Diversas lógicas, LDs em particular, não são fechadas por negação. A falta de negação nos impede de usarmos a chamada identidade de Levi que é a base da construção para revisão mais conhecida na área.

Para resolver esse problema, definimos uma construção que não utiliza a identidade de Levi e não depende da negação. Essa construção satisfaz os postulados AGM para revisão. Apresentamos, além disso, um conjunto de postulados que caracteriza essa construção em uma gama ainda mais ampla de lógicas (qualquer lógica distributiva e compacta). Publicamos esse teorema de representação em [Ribeiro and Wassermann 2009a] e publicamos exemplos de LDs que não são fechadas por negação, mas que são distributivas e compactas em [Ribeiro and Wassermann 2010].

Em relação as LDs, aprendemos que elas possuem características bastante peculiares. Muitas delas não são fechadas por negação, não são compatíveis com os postulados AGM e não são distributivas.

Toda a teoria AGM assume que os estados epistêmicos são representados por conjuntos logicamente fechados. A teoria das bases de crenças não faz essa suposição. Estudamos revisão em bases de crenças [Ribeiro and Wassermann 2007, Ribeiro and Wassermann 2009b] em lógicas não clássicas. Definimos seis tipos de revisão junto do conjunto de postulados que as caracterizam. Nenhuma dessas construções depende da definição da negação e pode ser aplicadas a qualquer lógica tarskiana e compacta.

Mostramos que algoritmos usados na área de depuração de ontologias podem ser usados para as construções em bases de crenças. Assim, por um lado temos algoritmos para as operações em bases de crenças. Por outro, a teoria de revisão em bases de crenças pode ser usada como base teórica para estudar esses algoritmos. Além disso, implementamos essas operações como um plug-in para o Protégé<sup>1</sup>. Apresentamos essa implementação em [Ribeiro and Wassermann 2008c]. Esse trabalho tem sido continuado com participação de outros alunos.

Outros três trabalhos foram frutos dessa tese. O primeiro foi um trabalho desenvolvido coletivamente em que implementamos um plug-in para o Protégé que dada uma ontologia retorna a LD mais adequada para representá-la [Kepler et al. 2006]. No segundo, comparamos duas construções usadas na contração em bases de crenças: kernel e partial meet<sup>2</sup> [Ribeiro and Wassermann 2008a]. No último, mostramos que ao relaxar o postulado da inclusão na contração em bases de crenças obtemos diferentes graus de recuperação que podem ser úteis para tratarmos, por exemplo, de exceções [Ribeiro and Wassermann 2008b].

## Referências

- Alchourrón, C., Gärdenfors, P., and Makinson, D. (1985). On the logic of theory change. *Journal of Symbolic Logic*, 50(2):510–530.
- Flouris, G. (2006). *On Belief Change and Ontology Evolution*. PhD thesis, University of Crete.
- Flouris, G., Plexousakis, D., and Antoniou, G. (2005). On applying the AGM theory to DLs and OWL. In Yolanda Gil, E. M., Benjamins, V. R., and Musen, M. A., editors, *Proceedings of the 4th International Semantic Web Conference (ISWC 2005)*, pages 216–231, Galway, Ireland. Springer.
- Gruber, T. R. (1993). Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. In Guarino, N. and Poli, R., editors, *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*, Deventer, Netherlands. Kluwer Academic Publishers.
- Hansson, S. O. (1991). Belief contraction without recovery. *Studia Logica*, 50(2):251–260.

<sup>1</sup><http://protege.stanford.edu/>

<sup>2</sup>Uma comparação mais rigorosa está sendo feita por alunos do grupo.

- Kepler, F., Paz-Trillo, C., Riani, J., Ribeiro, M. M., Valdivia-Delgado, K., de Barros, L. N., and Wassermann, R. (2006). Classifying ontologies. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Ontologies and their Applications (WONTO 2006)*, Ribeirão Preto, SP, Brasil.
- Levesque, H. J. and Brachman, R. J. (1987). Expressiveness and tractability in knowledge representation and reasoning. *Computational Intelligence*, 3:78–93.
- Nebel, B. (1990). *Reasoning and revision in hybrid representation systems*. Springer-Verlag New York, Inc., New York, NY, USA.
- Ribeiro, M. M. and Wassermann, R. (2006). First steps towards revising ontologies. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Ontologies and their Applications (WONTO 2006)*, Ribeirão Preto, SP, Brasil.
- Ribeiro, M. M. and Wassermann, R. (2007). Base revision in description logics - preliminary results. In *Proceedings of the International Workshop on Ontology Dynamics (IWOD 2007)*, Innsbruck, Austria.
- Ribeiro, M. M. and Wassermann, R. (2008a). Degrees of recovery and inclusion in belief base dynamics. In Pagnucco, M. and Thielscher, M., editors, *Proceedings of the 12th International Workshop on Non-Monotonic Reasoning (NMR 2008)*, Sidney, Australia.
- Ribeiro, M. M. and Wassermann, R. (2008b). On the relation between remainder sets and kernels. In *XV Encontro Brasileiro de Lógica (EBL08)*, Paraty, RJ, Brasil. Resumo expandido.
- Ribeiro, M. M. and Wassermann, R. (2008c). The ontology reviser plug-in for protégé. In *Proceedings of the 3rd Workshop on Ontologies and their Applications (WONTO 2008)*, Salvador, BA, Brazil.
- Ribeiro, M. M. and Wassermann, R. (2009a). AGM revision in description logics. In *Proceedings of the 1st Workshop on Automated Reasoning about Context and Ontology Evolution (ARCOE 2009)*, Pasadena, California, USA.
- Ribeiro, M. M. and Wassermann, R. (2009b). Base revision for ontology debugging. *Journal of Logic and Computation*, 19:721–743. Special Issue: Recent Advances in Ontology Dynamics.
- Ribeiro, M. M. and Wassermann, R. (2010). More about agm revision in description logics. In *Proceedings of the 2nd Workshop Automated Reasoning about Context and Ontology Evolution (ARCOE 10)*, Lisboa, Portugal.
- Ribeiro, M. M., Wassermann, R., Antoniou, G., Flouris, G., and Pan, J. (2009). Contraction on the semantic web: On the role of relevance and recovery. In *Proceedings of the International Workshop on Ontology Dynamics (IWOD 2009)*, Washington DC, USA.
- Russell, S. and Norvig, P. (2003). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2 edition.
- Stojanovic, L. (2004). *Methods and Tools for Ontology Evolution*. PhD thesis, University of Karlsruhe, Germany.