

Capítulo 9

Semântica com técnicas simbólicas

Eloize Rossi Marques Seno

Valéria de Paiva

Vlândia Pinheiro

Publicado em: 26/09/2023

Métodos simbólicos em Processamento de Linguagem Natural (PLN) envolvem a utilização de regras e representações formais explícitas para processar e entender textos em linguagem natural. Esses métodos especializam-se na manipulação de símbolos e dados estruturados, como gramáticas, ontologias e bases de conhecimento. Especificamente para o entendimento de textos em linguagem natural usando técnicas simbólicas, existem analisadores semânticos (ou *parsers* semânticos) e bases de conhecimento semântico, que visam fornecer uma representação semântica dos textos. A partir desta representação, motores de inferência são capazes de realizar raciocínio para que aplicações possam, por exemplo, extrair informações, sumarizar textos, e responder perguntas com base nos textos.

A Figura 9.1 apresenta uma arquitetura tradicional para sistemas de entendimento de textos em linguagem natural (*Natural Language Understanding* – NLU). A partir do texto de entrada, uma camada de processamento sintático realiza uma série de análises no texto, tais como detecção de língua, separação de sentenças, tokenização, análise morfológica e sintática (Capítulo 4). Na fronteira entre o processamento sintático e a análise semântica, outros processamentos linguísticos são necessários, como reconhecimento de entidades nomeadas, identificação de expressões multipalavras etc. Em seguida, o texto analisado (sintaticamente) é enviado ao analisador semântico (*parser*) que gera uma representação lógica do texto. A representação lógica e a(s) base(s) de conhecimento, no que lhes concerne, são entradas para o motor de inferência. Nesse processo, termos do texto de entrada são associados aos elementos da base de conhecimento e o motor de inferência gera respostas a perguntas (*queries*) para uma aplicação final.

É pertinente fazer uma observação neste ponto para uma definição de base de conhecimento. Uma “base de conhecimento” refere-se a um repositório centralizado, processável por máquina, que contém informações, dados, regras e procedimentos que são usados para capturar, representar e armazenar conhecimento geral ou de um domínio específico. Tais bases de conhecimento são fontes de conhecimento de mundo e suportam diversas tarefas e aplicações em PLN. Uma base de conhecimento pode ser estruturada de diversas maneiras, incluindo bancos de dados relacionais, linguagem para ontologias (e.g. a OWL¹), formalismos para troca de dados entre sistemas (e.g. o formato JSON²), redes

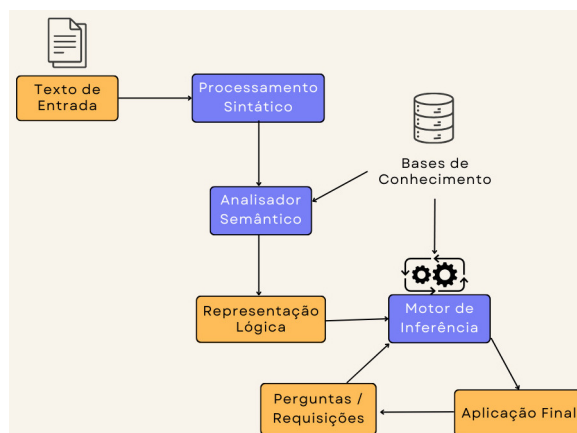
¹<https://www.w3.org/OWL/>

²<https://www.json.org/json-pt.html>



semânticas ou sistemas baseados em regras, dependendo da sua finalidade e da natureza do conhecimento armazenado.

Figura 9.1: Arquitetura de Sistemas de Entendimento de Linguagem Natural (NLU).



Fonte: Adaptada de (Ovchinnikova, 2012, p. 9)

Tradicionalmente, sistemas lógicos são usados para representação formal dos textos e seus motores de inferência servem para gerar conclusões a partir dos textos. Podemos citar os sistemas lógicos mais usados em PLN: variações de Lógica Descritiva (*Description Logic* – *DL*) (Baader et al., 2003), da Lógica de Primeira Ordem (Blackburn; Bos, 2005; Eijck; Unger, 2010), vários tipos de Programação em Lógica (PROLOG) (Dahl, 1994) e Lógicas Intensionais (Shapiro, 2000).

Uma característica importante dos sistemas lógicos usados para a semântica de linguagem natural é que eles dependem fortemente da forma lógica do texto ou argumento. No entanto, muitas conclusões e respostas fornecidas ao se ler um texto são justificadas pela contribuição semântica dos conceitos relacionados, não definida a priori, mas somente enquanto usados em um contexto particular. Por exemplo, considere a inferência que conclui que “Alguém foi assassinado” a partir da premissa que “Alguém foi executado”. A contribuição semântica do conceito “executar” (no sentido de “assassinar”) é que torna esta inferência plausível, e não a forma da sentença. Da mesma forma, a inferência “um relâmpago é visto agora” para “um trovão será ouvido em breve” é autorizada pelo conteúdo dos termos “trovão” e “relâmpago”. Para se realizar inferências desta natureza, alguns filósofos como Sellars (Sellars, 1953) e Brandom (Brandom, 2001) propõem abordagens para expressão do significado que suportam análises semânticas não somente sobre a forma das sentenças, mas são capazes de, com base no domínio dos conteúdos dos termos articulados nas sentenças e textos, descobrir como estes [os conteúdos dos termos] contribuem conjuntamente para o significado das sentenças e para realização de inferências.

Este capítulo tem como objetivo examinar, além dos *frameworks* semânticos, tais como AMR (*Abstract Meaning Representation*) (Banarescu et al., 2013) e DELPH-IN (Copestake et al., 2005), os tipos de bases de conhecimento mais utilizados em PLN. Nesta versão inicial do capítulo, são apresentadas as bases (também chamadas de recursos léxico-semânticos) WordNet de Princeton (Fellbaum, 1998b) e FrameNet (Baker; Fillmore; Lowe, 1998), e suas versões em português: OpenWordNet-PT (De Paiva; Rademaker; Melo, 2012) e FrameNet Brasil (FN-BR) (Torrent; Ellsworth, 2013); bem como bases de conhecimento voltadas ao

senso comum, tais como a ConceptNet (Speer; Chin; Havasi, 2016) e iniciativas para o português (OMCS-BR (Anacleto et al., 2006) e a InferenceNet-BR (Pinheiro et al., 2010)). Existem outros tipos de bases de conhecimento na área do PLN, tais como dicionários e ontologias diversas, por exemplo, WikiData (Vrandečić; Krötzsch, 2014), YAGO (Suchanek; Kasneci; Weikum, 2007) ou BabelNet (Navigli; Ponzetto, 2012). No entanto, nossa descrição aqui visa apenas a uma primeira exposição dos distintos paradigmas de expressão de conhecimento semântico. Tendo em vista cada base de conhecimento descrita, analisamos um exemplo de texto motivador. Por fim, apresentamos as considerações finais deste capítulo.

9.1 Bases de Conhecimento Semântico

Na área da Inteligência Artificial (IA), o interesse por bases de conhecimento computáveis ou processáveis por máquina surgiu na década de 60 com as primeiras redes semânticas e representações baseadas em *frames*, propostas por Minsky (Minsky, 1975) e Fillmore (Fillmore et al., 1976), respectivamente.

A comunidade de PLN foi rapidamente atraída por tais representações de conhecimento de mundo, pois pareciam prover a solução para problemas de semântica de linguagem natural. As mais antigas abordagens em PLN que utilizaram redes semânticas e *frames* remontam aos trabalhos de Bates et al. (1982) e Bobrow et al. (1977), conforme citado em (Ovchinnikova, 2012).

Neste capítulo, examinaremos dois tipos de bases de conhecimento: (1) recursos léxico-semânticos e (2) bases de conhecimento de senso comum.

1. Recursos Léxico-Semânticos

Um conjunto de palavras existentes em uma determinada língua é chamado de léxico da língua e cada elemento do léxico é chamado de item lexical (Capítulo 4). Estes itens, quando organizados e agrupados de forma a facilitar o uso em processos computacionais, formam uma **base de conhecimento lexical** ou um **recurso léxico-semântico**. Uma *wordnet*³ é um exemplo canônico desse tipo de base, onde a organização dos itens lexicais se dá através de relações semânticas, predominantemente, de hierarquia (hiperonímia/hiponímia), de inclusão (holonímia/meronímia), de equivalência (sinonímia) ou de oposição (antonímia). Essas bases incluem normalmente informação sobre os possíveis sentidos das palavras (por exemplo, um sentido de “manga” é a fruta tropical, mas “manga” também pode ter o sentido de parte de uma camisa), as relações entre sentidos (carro e pneu como merônimo-holônimo; quente e frio como antônimos), e definições e frases que exemplificam a sua utilização. Os recursos da família das *wordnets* são bases muito usadas em PLN e com uma história de sucesso dada a cobertura, variedade de relações e organização do conteúdo, além da facilidade de incorporação em aplicações e ferramentas que precisam entender textos em linguagem natural, através de *toolkits* como o NLTK⁴ e spaCy⁵. Dentre as *wordnets*, temos a original e a mais proeminente

³<http://globalwordnet.org/>

⁴<https://www.nltk.org/>

⁵<https://spacy.io/universe>



– a WordNet de Princeton ou PWN⁶ (Fellbaum, 1998b).

2. Bases de Conhecimento de Senso Comum

Para a comunidade de Inteligência Artificial, a expressão “conhecimento de senso comum” se refere aos fatos e conhecimentos informais possuídos pela maioria das pessoas, frutos da experiência da vida diária e baseados na generalização de eventos ou interpretações particulares, sem comprovação formal. Consiste em conhecimentos espaciais, físicos, sociais, temporais e psicológicos (Liu; Singh, 2004). As bases de conhecimento de senso comum expressam relações semânticas entre fragmentos de textos, tais como: relações funcionais, causais, afetivas, temporais, motivacionais, estruturais etc. Por exemplo, “bicicleta” é usada para “andar mais rápido que a pé”, ou “cozinhar” é motivada por “fome”. Nessa classe, se enquadram a larga base de senso comum ConceptNet⁷ (Speer; Chin; Havasi, 2016), originalmente gerada de conteúdo coletado de forma colaborativa na internet, e suas variações e congêneres.

Antes de iniciar a descrição das bases de conhecimento, introduziremos um exemplo de texto, Exemplo 9.1⁸, em português brasileiro, para ser analisado conforme os insumos de cada base de conhecimento. Após o exemplo, indicamos algumas conclusões e respostas resultantes de inferências que pessoas, inseridas na cultura brasileira e proficientes no português, fariam ao ler o texto.

Exemplo 9.1:

Um assalto do tipo saidinha bancária, ocorrido na tarde desta terça-feira, terminou com uma mulher de 42 anos baleada pelos assaltantes. O roubo ocorreu na rua Professor Costa Mendes.

Conclusões:

- O assalto teve uso de arma de fogo.
- A vítima estava em uma agência bancária.
- A motivação do crime foi conseguir dinheiro.

Nas próximas subseções, são descritas algumas das bases de conhecimento mais representativas para o PLN – Wordnet, FrameNet e a ConceptNet, e suas bases congêneres para o português. No final de cada subseção, discorreremos sobre como essas bases contribuem para análise semântica do Exemplo 9.1. A escolha dessas três bases seguiu critérios de abrangência de suas entradas e representatividade para tarefas de PLN. A WordNet de Princeton é, consensualmente, o recurso léxico-semântico mais utilizado em PLN para dar suporte a tarefas como desambiguação de sentido de palavras, perguntas e respostas, e análise semântica. FrameNet é uma das bases mais relevantes para a tarefa de anotação de papéis semânticos (*Semantic Role Labeling* – SRL), pois atribui papéis semânticos não somente a verbos, mas também a termos das demais classes gramaticais. ConceptNet é a base de conhecimento de senso comum com mais entradas tanto para o inglês quanto para o português.

⁶<http://wordnet.princeton.edu/>

⁷<https://conceptnet.io/>

⁸Esse texto foi adaptado de notícia publicada em jornal digital, disponível em <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/seguranca/mulher-e-baleada-em-saidinha-bancaria-no-montese-1.933137?page=10>.



9.1.1 Wordnets

WordNet, desenvolvida por George A. Miller, Christiane Fellbaum e colaboradores, é considerada uma base de conhecimento léxico-semântica que organiza os itens lexicais (palavras ou expressões) em *synsets* (que vem de *synonym sets*, ou conjuntos de palavras sinônimas). A primeira *wordnet* foi desenvolvida para o inglês por George Miller, na Universidade de Princeton, um projeto que se iniciou em 1985, e é ordinariamente chamada de WordNet de Princeton (ou Princeton WordNet, na sigla PWN)⁹ e é descrita por Fellbaum (1998b).

Wordnets são redes de palavras amplamente utilizadas em PLN para dar suporte a tarefas como desambiguação de sentido de palavras, perguntas e respostas, e análise semântica em geral. A unidade básica da WordNet são os *synsets* que representam conjuntos de palavras sinônimas. Cada *synset* expressa um conceito em particular. Os *synsets* têm uma glosa, semelhante a uma definição num dicionário e podem conter ainda frases que ilustram o emprego de alguma das suas palavras. A WordNet está dividida em quatro redes semânticas, uma para cada classe aberta de palavras: substantivo, verbo, adjetivo e advérbio.

Como exemplo, a Figura 9.2 apresenta os *synsets* da palavra “murder” (verbo “assassinar”, em português) da PWN. Ao todo são três *synsets*, um na classe **Noun** (substantivo) e dois na classe **Verb** (verbo). O primeiro *synset* da palavra “murder” (na classe **Verb**) tem como tropônimos diretos os verbos “burke”, “execute” e hiperônimo direto o *synset* “kill”.

A PWN é a base léxico-semântica mais utilizada em PLN, com interfaces locais (APIs) em alguns dos maiores sistemas de programação (.NET/C#, dBase, Java, MySQL, OCaml, OSX, Perl, PHP, Prolog, Python, REST, SQL, Windows, XML)¹⁰, mais de 20 mil citações no Google Scholar e dezenas de projetos que a utilizam. Apesar de ser tão utilizada, a WordNet de Princeton parou de evoluir em 2012, por falta de recursos financeiros. A última edição oficial de PWN foi a versão 3.1, lançada em 2011. Em 2019 um consórcio de pesquisadores, incluindo Christiane Fellbaum (a coordenadora da PWN), resolveu transformar a PWN em um recurso moderno, hospedado em GitHub, de tal forma que possa ser sempre atualizado (McCrae et al., 2019), mas a maior parte das aplicações continua usando PWN 3.0 ou 3.1.

Como todas as bases com conhecimento semântico, WordNet não é um projeto acabado e tampouco completo. Algumas lacunas decorrem da divisão e independência entre as redes semânticas, o que dificulta a expressão de relações estruturais (entidade-atributo), de relações semânticas que acontecem entre classes de palavras (verbos e substantivos, por exemplo) em uma particular situação ou contexto; ou informações sintagmáticas: relações que ocorrem entre os termos de um proferimento (entre verbo e substantivo, entre substantivo e adjetivo etc.). No que se refere aos tipos de relações expressas na PWN, essa dispõe de relações causais entre *synsets*, por exemplo, “snore” **implies** “sleep”, mas não numa taxa de cobertura suficiente em relação ao conjunto dos *synsets*. Outra limitação é que recursos como a PWN são mais adequados para substantivos concretos do que para conceitos abstratos como “medo”, “felicidade” etc. Enquanto substantivos concretos como “gato”, “felino”, “mamífero”, “animal” etc. são mais facilmente organizados em taxonomias, tal processo é menos consensual quando aplicado às emoções ou a verbos. Um quarto

⁹<http://wordnet.princeton.edu/>

¹⁰<https://wordnet.princeton.edu/related-projects>



Figura 9.2: Synsets da palavra “murder” na WordNet de Princeton.

WordNet Search - 3.1
- [WordNet home page](#) - [Glossary](#) - [Help](#)

Word to search for:

Display Options:

Key: "S:" = Show Synset (semantic) relations, "W:" = Show Word (lexical) relations
Display options for sense: (gloss) "an example sentence"

Noun

- **S: (n)** [murder](#), [slaying](#), [execution](#) (unlawful premeditated killing of a human being by a human being)

Verb

- **S: (v)** [murder](#), [slay](#), [hit](#), [dispatch](#), [bump off](#), [off](#), [polish off](#), [remove](#) (kill intentionally and with premeditation) *"The mafia boss ordered his enemies murdered"*
 - [direct troponym](#) / [full troponym](#)
 - **S: (v)** [burke](#) (murder without leaving a trace on the body)
 - **S: (v)** [execute](#) (murder in a planned fashion) *"The Mafioso who collaborated with the police was executed"*
 - [direct hypernym](#) / [inherited hypernym](#) / [sister term](#)
 - **S: (v)** [kill](#) (cause to die; put to death, usually intentionally or knowingly) *"This man killed several people when he tried to rob a bank"; "The farmer killed a pig for the holidays"*
 - [derivationally related form](#)
 - [sentence frame](#)
- **S: (v)** [mangle](#), [mutilate](#), [murder](#) (alter so as to make unrecognizable) *"The tourists murdered the French language"*

criticismo diz respeito às expressões multpalavras (MWEs – Capítulo 5). Essas existem em PWN, mas não na quantidade suficiente para a modelagem adequada da língua. De acordo com Sag et al. (2002b, p. 2), o número de MWEs em PWN precisaria ser maior do que é. Um quinto criticismo diz respeito ao nível de granularidade das distinções de significado na PWN. Essas distinções são muito refinadas, o que faz com que as medidas de concordância entre anotadores sejam baixas.

A partir da WordNet de Princeton, várias *wordnets* foram propostas para diversas línguas, entre elas o português, conforme será descrito na seção a seguir.



9.1.1.1 *Wordnets* para o português

Vários recursos léxico-semânticos foram criados para o português nos últimos anos. Alguns deles são listados na página da Linguateca¹¹. O NILC¹² tem uma coleção de recursos listados no portal PortLex¹³, entre os quais se encontram, entre outros, VerbNet.Br (Scarton; Aluisio, 2012) e PropBank.Br (Duran; Aluísio, 2012).

Há várias versões de *wordnets* para o português, como Wordnet.BR (Dias-da-Silva, 2005), Onto.PT (Gonçalo Oliveira, 2014), PULO (Simões; Guinovart, 2014) e OpenWordNet-PT¹⁴ (De Paiva; Rademaker; Melo, 2012). Essas *wordnets* são discutidas detalhadamente em (De Paiva et al., 2016; Gonçalo Oliveira, 2014), portanto, aqui simplesmente reiteramos a mensagem principal dessas comparações.

Apesar de existirem várias alternativas de *wordnets* para o português, todas são menores e menos desenvolvidas do que a PWN. PWN é um recurso relativamente grande com 16MB, incluindo 155.327 palavras organizadas em 175.979 *synsets* num total de 207.016 pares de palavra-significado. A OpenWordNet-PT (OWN-PT) (De Paiva; Rademaker; Melo, 2012), alinhada à PWN, conta com 47.702 *synsets* (somente 27% da PWN), dos quais 32.855 correspondem a substantivos, 5.060 a verbos, 8.753 a adjetivos e 1.034 a advérbios. O número de projetos usando OWN-PT é muito limitado, possivelmente porque, construída de forma semi-automática, usando aprendizado de máquina no conjunto de wikipédias multilínguas (Melo; Weikum, 2009) e manualmente melhorando os dados obtidos.

Como exemplo, a Figura 9.3 apresenta os *synsets* da palavra “assassinar” na OWN-PT. Ao todo são quatro *synsets*, um na classe *Noun* (substantivo) e três na classe Verbo. O terceiro *synset* (02482425-v) refere-se a “matar intencionalmente e com premeditação” (glosa) e possui como hiperônimo direto o *synset* “matar” (01323958-v).

Figura 9.3: *Synsets* da palavra “assassinar” na OpenWordNet-PT (OWN-PT).

1. [02483000-v](#) assassinate | **assassinar**
◦ (murder; especially of socially prominent persons; "Anwar Sadat was assassinated because many people did not like I
2. [01325128-v](#) dispatch | **assassinar**
◦ (kill without delay; "the traitor was dispatched by the conspirators")
3. [02482425-v](#) bump_off, slay, remove, off, polish_off, murder, hit, dispatch | **assassinar, matar, despachar**
◦ (kill intentionally and with premeditation; "The mafia boss ordered his enemies murdered")
4. [00768701-n](#) felony | **crime**
◦ (a serious crime (such as murder or arson))

1

Outras *wordnets* são ainda menores (PULO (Simões; Guinovart, 2014)), ou menos acuradas, pois, construídas numa abordagem mais dinâmica (ONTO.PT (Gonçalo Oliveira, 2014)), podem mudar completamente de uma versão para a seguinte.

Algumas decisões de projeto de uma *wordnet*, assim como de outras bases de conhecimento, parecem claras e já são consenso na comunidade do PLN. *Wordnets* devem ser recursos abertos, grátis e fáceis de utilizar. Devem ter versões adequadas a usuários humanos e a agentes computacionais, isto é, devem ter interfaces de busca para usuários e interfaces ou

¹¹<https://www.linguateca.pt/>

¹²<https://sites.google.com/view/nilc-usp/>

¹³<http://143.107.183.175:21380/portlex/index.php/en/>

¹⁴<https://www.openwordnet-pt.org/>



bibliotecas para usos computacionais. Tais recursos linguísticos precisam ser mantidos e melhorados, pois nenhum é perfeito e as linguagens naturais são sistemas vivos, dinâmicos e em constante e contínua evolução.

Porém, outras decisões permanecem em aberto: uma alternativa só para o português brasileiro e outra para o português de Portugal? Ou uma alternativa para ambas variantes do português? Alternativas multilinguais tais como Open Multilingual WordNet (OMW)¹⁵ (Bond; Foster, 2013) ou somente em português? Somente alternativas alinhadas a PWN ou o alinhamento¹⁶ não é necessário? Somente as relações semânticas de PWN ou outras também? As entidades nomeadas devem ser incluídas no recurso ou não? Qual deve ser o registro do recurso? Deve incluir gírias e palavras de baixo-calão ou não?

9.1.1.2 Análise do Exemplo Motivador usando a WordNet

Usaremos a OWN-PT para analisar o exemplo motivador Exemplo 9.1 apresentado no início da Seção 9.1. No Exemplo 9.2, foram sublinhadas algumas palavras que foram associadas a *synsets* na OWN-PT. Para realizar esta associação, é necessário definir o sentido ou significado da palavra usada no texto. Esta tarefa em PLN denominamos de Desambiguação do Sentido de Palavras (*Word Sense Disambiguation* – WSD). Após o exemplo, são listadas algumas afirmações (especificamente de **hiperonímia**) entre o *synset* da palavra usada no texto e outro *synset*.

Exemplo 9.2:

Um assalto do tipo saidinha bancária, ocorrido na tarde desta terça-feira, terminou com uma mulher de 42 anos baleada pelos assaltantes. O roubo ocorreu na rua Professor Costa Mendes.

Usando a OWN-PT, definimos os seguintes *synsets* para as palavras sublinhadas em Exemplo 9.2: “assalto” (00783063-n), “terminar” (02610845-v). Não foi encontrado nenhum *synset* para o termo “balear”. A seguir, algumas afirmações de hiperonímia entre esses *synsets* e outros:

- “roubo” (00781685-n) é hiperônimo de “assalto”;
- “cessar” (02609764-v) é hiperônimo de “terminar”;

Algumas dificuldades com a análise do exemplo, à luz da OWN-PT, foram:

- A desambiguação não é simples nem para um ser humano proficiente na linguagem natural (no caso, o português) e experiente com anotação de sentidos em *wordnets*. A diversidade e granularidade de *synsets* encontrados para uma palavra dificulta a definição do significado. Por exemplo, para a palavra “assalto” tem-se 07 (sete) *synsets* e todos parecem adequados para definir o sentido da palavra no Exemplo 9.2;
- Para algumas palavras, não foram encontrados *synsets* na OWN-PT (e.g. “baleada”).

¹⁵<https://omwn.org/>

¹⁶O alinhamento entre *wordnets* refere-se ao processo de mapeamento ou ligação de *synsets* entre diferentes *wordnets* de línguas distintas. Por exemplo, o alinhamento entre PWN e OWN-PT seria o processo de identificar que o *synset* em inglês para “car” é equivalente ao *synset* em português para “carro”.



A partir da associação de uma palavra a um *synset*, um *parser* semântico pode, por exemplo, expandir o texto com tais informações semânticas, servindo como entrada para sistemas de entendimento de linguagem natural.

Como dito anteriormente, as bases não são sempre corretas e, definitivamente, não são completas. A língua muda, evolue o tempo todo e os significados das palavras seguem essa evolução. Nesse sentido, outros recursos léxico-semânticos são propostos e visam preencher lacunas na semântica das linguagens naturais. Na próxima subseção, detalharemos o recurso léxico-semântico FrameNet. Essa base se tornou relevante para a tarefa de Anotação de Papéis Semânticos (*Semantic Role Labeling* – SRL) pela abrangência e por incluir os papéis semânticos associados a substantivos e adjetivos.

9.1.2 FrameNet

FrameNet (Baker; Fillmore; Lowe, 1998), da Universidade de Berkeley¹⁷, é um recurso com conhecimento léxico e semântico baseado na semântica de *frames* (Fillmore et al., 1976) e na teoria de *frames* de (Minsky, 1975). Um *frame* é uma estrutura hierárquica conceitual que define uma situação, objeto ou evento por meio de seus participantes e relacionamentos. FrameNet faz parte da classe de recursos léxico-semânticos que suportam a tarefa de Anotação de Papéis Semânticos (*Semantic Role Labeling* - SRL), pois provê uma base de relações semânticas entre predicados e argumentos. Por exemplo, no evento de cometimento de crime, definido pelo *frame* **Committing_crime**, são definidas as seguintes relações entre os verbos “cometer” ou “perpetrar” e os argumentos “criminoso”, “crime”, “explicação”, “frequência”, “instrumento”, “maneira”, dentre outros. Essas relações são denominadas de papéis semânticos, pois expressam funções que os diferentes constituintes de uma sentença desempenham em relação ao verbo ou predicado da sentença. FrameNet difere-se de outros recursos para SRL, como PropBank (Palmer; Gildea; Kingsbury, 2005) e VerbNet (Kipper; Dang; Palmer, 2000), na medida em que associa papéis semânticos não somente a verbos, mas também a substantivos, a adjetivos, a advérbios, e até a proposições.

A Figura 9.4 apresenta um recorte da definição e componentes do *frame* **Committing_crime**¹⁸.

Como se pode observar na Figura 9.4, o *frame* é formado por vários componentes, descritos a seguir:

- **Elementos de frames (Frame Elements – FE)**, que definem os papéis semânticos envolvidos no *frame*. A sentença “*He committed the murder coldly and deliberately*” (em português, “Ele cometeu o assassinato fria e deliberadamente”) evoca o *frame* **Committing_crime** através do verbo “*commit*”, cujos argumentos “*He*”, “*the murder*” e “*coldly and deliberately*” expressam os seguintes papéis semânticos: “*perpetrator*”, “*crime*” e “*manner*”, conforme abaixo:
 - [*PERPETRATOR He*] committed [*CRIME the murder*] [*MANNER coldly and deliberately.*], onde:
 - * *PERPETRATOR* – o indivíduo que cometeu um crime;
 - * *CRIME* – um ato, geralmente intencional, que é formalmente proibido pela lei;

¹⁷<https://framenet.icsi.berkeley.edu/>

¹⁸A descrição completa do *frame* está disponível em <https://framenet.icsi.berkeley.edu/frameIndex>.



Figura 9.4: Descrição do *frame* `Committing_crime` na FrameNet de Berkeley.

FrameNet Data	
Committing_crime	
Definition:	
A Perpetrator (generally intentionally) commits a Crime , i.e. does something not permitted by the laws of society. They PERPETRATED a felony by substituting a lie for negotiations. The suspect had allegedly COMMITTED the crime to gain the attention of a female celebrity.	
FEs:	
Core:	
Perpetrator [Perp] Semantic Type: Sient	The individual that commits a Crime . How can he COMMIT treason against the King of England in a foreign country , if he is not English? He PERPETRATED a crime against mother nature.
Core Unexpressed:	
Crime [Cr]	An act, generally intentional, that has been formally forbidden by law. How can he COMMIT treason against the King of England in a foreign country , if he is not English? He PERPETRATED a crime against mother nature.

* *MANNER* – uma descrição da forma e dos efeitos secundários do crime, assim como descrições gerais comparando eventos, podendo também indicar características salientes do criminoso que afetam a ação (presunçosamente, friamente, deliberadamente, ansiosamente, cuidadosamente).

- **Unidades Lexicais (*Lexical Unit* – LU)**, que são as palavras relacionadas no *frame*. Cada palavra polissêmica¹⁹ com significados distintos pertence a um *frame* diferente. Por exemplo, a palavra “commit” possui quatro entradas (sentidos) no léxico, conforme os quatro *frames* dos quais participa: *Imposing_Obligation*, *Institutionalization*, *Commitment*, *Committing_crime*. O léxico da FrameNet contém, para cada unidade léxica, além do termo e de uma definição em linguagem natural, as realizações sintáticas possíveis dos elementos de *frames* relacionados à unidade léxica. Por exemplo, na sentença “He committed the murder coldly and deliberately” (em português, “Ele cometeu o assassinato fria e deliberadamente”), o elemento de *frame* ou papel semântico “crime” (*the murder*) possui a realização sintática de sintagma nominal (NP – *Noun Phrase*);
- **Entradas Lexicais (*Lexical Entry* – LE)**, que são unidades lexicais evocadoras de *frame*, ou seja, que chamam ou ativam *frames*. No *frame* `Committing_crime`,

¹⁹Uma palavra polissêmica é uma palavra que possui vários significados ou sentidos relacionados entre si, dependendo do contexto em que é usada. Por exemplo, a palavra “banco” pode se referir a uma instituição financeira, um local para sentar, ou a uma elevação de areia no mar.



as entradas lexicais são os verbos `commit.v` e `perpetrate.v` e os substantivos `commission.n` e `crime.n`. As entradas lexicais mais comuns são verbos, porém alguns *frames* são ativados por substantivos e adjetivos. Por exemplo, a sentença “... the reduction of debt levels to \$665 million from \$2.6 billion.” (em português, “... a redução dos níveis de dívida para 665 milhões de dólares, de 2,6 mil milhões de dólares.”) tem-se um exemplo de uso do *frame* `Cause_change_of_scalar_position`, evocado pelo substantivo “reduction”;

- **Corpus da FrameNet**, um conjunto de sentenças anotadas que exemplificam os componentes da FrameNet. O *corpus* da FrameNet é uma parte crucial, pois representa um recurso valioso para o desenvolvimento e teste de sistemas de PLN que requerem uma compreensão da semântica dos textos, especialmente, dos papéis envolvidos no evento. O conjunto total dos textos anotados contém, atualmente, 202.978 textos, divididos em:
 - Conjunto de Anotações Completas (*Full Text Annotation Sets*), que contém 28.446 anotações semânticas detalhadas para textos inteiros, e não apenas para frases isoladas. Essas anotações incluem informações sobre os elementos do *frame* (papéis semânticos da FrameNet), as unidades e entradas lexicais (léxico da FrameNet), e suas realizações sintáticas;
 - Conjunto de Anotações Lexicográficas (*Lexicographic Annotation Sets*), que contém 174.532 anotações para as palavras em uma língua, incluindo informações sobre os sentidos das palavras, os *frames* que esses sentidos evocam e os papéis semânticos (elementos de *frame*) associados a cada sentido. Em (Ruppenhofer et al., 2006, pp. 67-88), tem-se o detalhamento das camadas de anotação do *corpus* da FrameNet;
- **Tipos semânticos**, que são associados às unidades lexicais, aos elementos do *frame* ou ao *frame* como um todo. Em (Ruppenhofer et al., 2006, pp. 111-120), tem-se a definição destes marcadores semânticos. Por exemplo, o elemento de *frame* `Perpetrator` do *frame* `Committing_Crime` é marcado como sendo do tipo `sentient` (que percebe pelos sentidos, que recebe impressões).

Além da definição individual de cada *frame*, a FrameNet possui relações semânticas entre *frames*, denominadas relações *frame-to-frame*. Alguns exemplos são: `Inherits_from` (herda de), `Is_Inherited_by` (é herdado por), `Is_Used_by` (é usado por). Em (Ruppenhofer et al., 2006, pp. 104-111), tem-se a descrição das relações *frame-to-frame** suportadas pela FrameNet.

Atualmente, a FrameNet contém 1224 *frames*, 10.478 elementos de *frames* (papéis semânticos), e 13.687 unidades lexicais²⁰.

FrameNet fornece uma nova perspectiva para um recurso léxico-semântico. O significado de palavras ou unidades lexicais é dado no contexto das situações em que podem participar (*frames*), por meio dos papéis que podem assumir. FrameNet não poderia substituir completamente a WordNet porque falta à primeira muitas das relações semânticas úteis como meronímia e hiperonímia. Embora haja uma interseção entre essas bases, elas se distinguem em boa parte. Enquanto a WordNet foca em relações entre *synsets* organizando

²⁰Mais detalhes sobre os números atuais da FrameNet podem ser acessados em https://framenet.icsi.berkeley.edu/current_status.



uma hierarquia e taxonomia do mundo, a FrameNet foca nas relações que ocorrem em eventos.

Alguns projetos visam relacionar as entradas lexicais dessas duas bases. É o caso do projeto SemLink²¹, cujo objetivo é vincular diferentes recursos léxico-semânticos por meio de um conjunto de mapeamentos. Estes mapeamentos permitirão combinar as diferentes informações fornecidas por esses diferentes recursos lexicais para tarefas como inferência em linguagem natural (*Natural Language Inference* – NLI). Os recursos mapeados pelo SemLink são WordNet, FrameNet, VerbNet e PropBank.

9.1.2.1 Framenets para o português

FrameNet Brasil (FN-Br)²² (Salomão, 2009), iniciativa de pesquisa lexicográfica, em desenvolvimento na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) desde 2008, tem o objetivo de construir e evoluir, para o português, a contraparte linguística da rede semântica original FrameNet. Atualmente, a base da FN-Br é a base mais robusta e representativa do paradigma da Semântica de *Frames* para o português. Foi construída através da tradução automática dos *frames* existentes na FrameNet original, e posterior adaptação para o português brasileiro. Este processo de adaptação envolveu traduzir e ajustar a descrição e os elementos dos *frames* para garantir que eles sejam relevantes e aplicáveis ao contexto brasileiro. Além da adaptação dos *frames* originais da FrameNet, no âmbito de alguns projetos, como o COPA 2014 (Torrent et al., 2014) e FLAME²³, relativos aos domínios de esporte e turismo, respectivamente, foram criados novos *frames* para representar conceitos e situações específicos da cultura e do português brasileiro. O *corpus* FN-Br é constituído pela combinação de mais de 16 *corpora*, todos caracterizados por permitir acesso público e que representam usos do português europeu e do português brasileiro. Em 2009, de acordo com (Salomão, 2009), os *corpora* totalizavam pouco mais de 280 milhões de palavras.

A Figura 9.5 apresenta um recorte da definição e componentes do *frame* `Cometer_crime` da FN-Br²⁴, adaptado do *frame* `Committing_crime` da FrameNet de Berkeley (vide Figura 9.4).

Outras iniciativas culminaram na geração de bases de *frames* em português, todas de menor tamanho que a FN-Br e para domínios ainda mais específicos.

A base FrameFOR (Barreira; Pinheiro; Furtado, 2017) é uma base com 113 *frames* em português brasileiro, adaptados da FrameNet original, contendo os papéis semânticos, unidades e entradas lexicais relacionados aos tipos de crimes mais investigados na Perícia Forense do Estado do Ceará, no Brasil (PEFOCE) – formação de quadrilha, tráfico de drogas, sequestro, corrupção, receptação, contrabando, pedofilia, estupro, agressão, tortura, falsificação, ameaça, porte ilegal de arma, estelionato, e extorsão.

O estudo de (Bertoldi, 2011) analisou os limites da criação automática de léxicos computacionais segundo o paradigma FrameNet, comparando as unidades lexicais evocadoras, os papéis semânticos e a estrutura do *frame* `Criminal_process`, em inglês e português. Esse estudo contrastivo mostrou que os *frames* do domínio jurídico são

²¹<https://verbs.colorado.edu/semlink/>. A versão atual do SemLink é a versão 2.0 e pode ser acessada pelo GitHub <https://github.com/cu-clear/semlink>.

²²<https://www2.ufjf.br/framenetbr/>

²³<https://www2.ufjf.br/framenetbr/projetos/>

²⁴Ver descrição completa em <https://webtool.framenetbr.ufjf.br/index.php/webtool/report/frame/main>



Figura 9.5: Descrição do *frame* `Cometer_crime` na FrameNet Brasil (FN-Br).

Cometer_crime	
Definição	
Um Criminoso (geralmente intencionalmente) comete um Crime , ou seja, faz algo que não é permitido pelas leis da sociedade.	
Elementos de Frame Nucleares	
FE Core:	
Criminoso semantic_type: @sentient	O indivíduo que comete o Crime .
FE Core-Unexpressed:	
Crime	Um ato cometido, geralmente intencional, que é formalmente proibido por lei.
Elementos de Frame Não-Nucleares	
Explicação semantic_type: @state_of_affairs	Um estado de coisas ao qual o Criminoso está respondendo em seu Crime .
Finalidade semantic_type: @state_of_affairs	A ação que o Criminoso estava tentando realizar no Crime .
Frequência	A frequência com a qual um Crime é cometido.

socialmente orientados e que a criação automática de léxicos em áreas cultural e socialmente orientadas tende a apresentar divergências. Em (Bick, 2009) tem-se a proposta de PFN-PT, um sistema para a anotação semântica automática do português, consistindo numa nova framenet contendo cerca de 13.000 padrões sintáticos, cobrindo 7.300 lemas verbais com 10.700 sentidos.

Todos estes projetos, ainda que de menor porte, possuem relatos de sucesso em aplicações de PLN como extração de informação, anotação de papéis semânticos, reconhecimento de entidades nomeadas, evidenciando a importância de abordar as peculiaridades linguísticas com perspectivas contextualizadas e culturalmente relevantes.

9.1.2.2 Análise do Exemplo Motivador usando a FrameNet

Nesta seção, usaremos a FrameNet de Berkeley para analisar o exemplo motivador definido no início da Seção 9.1. No Exemplo 9.3 são destacados o *frame* associado, as unidades lexicais (elemento evocador) que evocaram o *frame* e os papéis semânticos identificados no texto.

Exemplo 9.3:

Um assalto do tipo saidinha bancária, ocorrido na tarde desta terça-feira, terminou com uma mulher de 42 anos baleada pelos assaltantes. O roubo ocorreu na rua Professor Costa Mendes.

- *FRAME: Robbery* (definição do *frame*: situação em que um perpetrador prejudica uma vítima tirando algo (bens) dela ... O assalto pode ser feito de uma maneira específica (por exemplo, à força) e através de um meio específico (por exemplo, ameaçando a vítima).)
- UNIDADE LÉXICA: *robbery* (“assalto” e “roubo”, em português)
- PAPEL SEMÂNTICO *place*: “rua Professor Costa Mendes”
- PAPEL SEMÂNTICO *time*: “na tarde desta terça-feira”
- PAPEL SEMÂNTICO *perpetrator*: “pelos assaltantes”

Uma dificuldade com a análise desse exemplo, à luz da FrameNet, foi na identificação do papel semântico “vítima” (“uma mulher de 42 anos”), pois o complemento da sentença que a contém “...com uma mulher de 42 anos baleada ...” possui a estrutura sintática Prep.Det.N (preposição + determinante + substantivo) e não é compatível com nenhuma realização sintática do elemento de *frame victim*.

9.1.3 ConceptNet

ConceptNet²⁵ (Speer; Chin; Havasi, 2016) é uma base de conhecimento de senso comum que expressa relações rotuladas e ponderadas entre palavras ou fragmentos de textos em linguagem natural, através de um Grafo de Conhecimento (*Knowledge Graph*) contendo *edges* ou afirmações. Alguns exemplos de afirmações expressas na ConceptNet são:

- Uma rede é usada para pescar peixe (*A net is used for catching fish.*);
- “Folhas” é uma forma da palavra “folha” (*“Leaves” is a form of the word “leaf”*);
- A palavra “cold” em inglês é “*studeny*” em tcheco (*The word “cold” in English is “studeny” in Czech*);
- O alimento é usado para comer (*Food is used for eating*);
- Bicicleta é usada para chegar a algum lugar rápido (*Bicycle is used for getting somewhere fast*);
- Cozinhar é motivada por você está com fome (*Cook is motivated by being hungry*).

Sua versão original (Havasi; Speer; Alonso, 2007; Liu; Singh, 2004) foi criada pela equipe do MediaLab do *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* em 1999, a partir de conhecimentos extraídos do projeto de construção coletiva (*crowdsourcing*) Open Mind Common Sense (OMCS) (Singh et al., 2002). O OMCS surgiu com o objetivo de coletar, pela Internet e de colaboradores voluntários, sentenças que expressavam fatos da vida comum. Por exemplo, a sentença “*The Effect of [falling off a bike] is [you get hurt]*” foi coletada de voluntários, quando solicitados a preencher os espaços do *template* “*The Effect of [.....] is [.....]*”. A alternativa adotada pela equipe da ConceptNet foi construir a rede semântica (nós conceituais interligados pelas relações semânticas), a partir de um processo automático sobre o *corpus* OMCS, o qual extraiu as relações semânticas e seus argumentos.

A motivação do projeto que mantém a ConceptNet é expressar os fatos que as pessoas sabem comumente sobre o mundo conhecimento de senso comum através de afirmações que relacionam conceitos. Este tipo de conhecimento é importante porque, quando as pessoas se comunicam, seus proferimentos acontecem sobre suposições implícitas e básicas,

²⁵<https://conceptnet.io/>



as quais suportam e explicam boa parte dos raciocínios necessários para um bom nível de entendimento e, conseqüentemente, uma boa comunicação. Por exemplo, quando alguém fala “Eu comprei doces”, está implícito que usou dinheiro, ou quando fala “Fui a um casamento”, provavelmente tinha uma noiva, um noivo, uma festa com bolo e champagne, e o interlocutor está autorizado a perguntar “A noiva estava bonita?” etc.

Atualmente, a ConceptNet²⁶ evoluiu como um projeto colaborativo com diversas fontes:

- *Open Mind Common Sense* (OMCS) (Singh et al., 2002) e projetos irmãos em outras línguas (Anacleto et al., 2006);
- Informações extraídas da análise do Wikcionário²⁷, em vários idiomas, com um analisador personalizado (“Wikiparsec”);
- “*Games with a Purpose*”, que são jogos projetados para coletar conhecimento comum (Ahn; Kedia; Blum, 2006; Kuo et al., 2009);
- *Open Multilingual WordNet* (Bond; Foster, 2013), uma representação de dados vinculados a WordNet de Princeton e seus projetos paralelos em vários idiomas;
- JMDict (Breen, 2004), um dicionário japonês multilíngue;
- OpenCyc, uma hierarquia de hiperônimos fornecida pelo Cyc (Lenat; Guha, 1989), um sistema que representa o conhecimento do senso comum na lógica de predicados;
- Um subconjunto de DBpedia (Auer et al., 2007), uma rede de fatos extraídos de *infoboxes* da Wikipédia.

A unidade de conhecimento da ConceptNet é uma afirmação ou *edge*²⁸ que é uma relação particular entre termos ou frases em uma linguagem natural, de uma fonte específica. Sucintamente, cada *edge* é uma tripla com um primeiro argumento (nó inicial), um rótulo da relação e um segundo argumento (nó final). Por exemplo, a afirmação “*Bicycle is used to get somewhere fast*” pode ser expressa como (*Bicycle, is used to, get somewhere fast*). Cada *edge* é representada em uma estrutura de dados com os seguintes atributos:

- *URI* – identificador único para a afirmação que está sendo expressa;
- *REL* – o URI da relação expressa no *edge*. Atualmente, existem 34 relações em *edges* da ConceptNet 5 - *RelatedTo, IsA, is Used For, Motivated by, Desires* etc.²⁹;
- *START* – o URI do primeiro argumento da afirmação;
- *END* – o URI do segundo argumento da afirmação;
- *WEIGHT* – a força da afirmação. Um peso típico é 1, mas pode ser maior a depender do número de vezes que a afirmação foi recuperada ou generalizada a partir das fontes;
- *SOURCES* – as fontes que, quando combinadas, dizem que esta afirmação deveria ser verdadeira;
- *LICENSE* – o URI *Creative Commons* para a licença que rege esses dados;
- *DATASET* – o URI que representa o conjunto de dados de uma fonte específica que criou a afirmação;

²⁶Sua última versão é a ConceptNet 5.8 e a documentação completa está disponível em <https://github.com/commonsense/conceptnet5/wiki>

²⁷Disponível em https://pt.wiktionary.org/wiki/Wikcion%C3%A1rio:P%C3%A1gina_principal

²⁸<https://github.com/commonsense/conceptnet5/wiki/Edges>

²⁹A lista completa das relações expressas na ConceptNet está disponível em <https://github.com/commonsense/conceptnet5/wiki/Relations>



- *SURFACE TEXT*³⁰ – o texto original em linguagem natural que expressou esta afirmação. Os conceitos do início e fim serão marcadas entre colchetes duplos. Um exemplo é “[*Bicycle*] is used for [*get somewhere fast*]”.

A ConceptNet contém mais de 21 milhões de *edges* e quase 10 milhões de nós com palavras ou fragmentos de textos. A base cobre em torno de 78 linguagens naturais³¹ com pelo menos 10.000 entradas no vocabulário. As 10 (dez) principais linguagens são: inglês, francês, italiano, alemão, espanhol, russo, português, japonês, holandês e chinês. A base de afirmações na linguagem inglesa possui um vocabulário com 1,8 milhão de nós, e no português contém um vocabulário com 473 mil nós.

O *framework* computacional da ConceptNet contém uma hierarquia de URIs que identificam os principais componentes dessa base de conhecimento: afirmações (ou *edges*), termos (palavras ou frases em uma linguagem particular), relações (por exemplo, *IsA*), *datasets*, fontes de dados. Também possui uma API REST³² pela qual você pode obter os componentes no formato JSON. Cada *edge*, termo, relação, *dataset* e fonte da ConceptNet possui uma URI que os identificam e sua definição completa em JSON pode ser acessada via API. A Figura 9.6 apresenta um recorte da definição do termo “*murder*”, contendo a lista de *edges* a partir desse termo.

Figura 9.6: Descrição do termo “murder” na ConceptNet 5.8.



Ao acessar, via API, a definição deste termo, tem-se acesso à sua definição em JSON, conforme ilustrado na Figura 9.7, com a URI deste conceito (`"/c/en/murder"`) e a lista de *edges*.

ConceptNet se tornou um *hub* de conteúdo semântico, pois provê *link* para outras bases de dados, com um *toolkit* e uma API que suportam inferências práticas de senso comum

³⁰Pode ser nulo porque nem todas as afirmações foram derivadas de entrada em linguagem natural

³¹As bases de afirmações do ConceptNet para todas as linguagens naturais suportadas pode ser consultada em <https://github.com/commonsense/conceptnet5/wiki/Languages>

³² Acessível em api.conceptnet.io. A documentação completa da API da Conceptnet pode ser acessada em <https://github.com/commonsense/conceptnet5/wiki/API>

Figura 9.7: Definição em JSON do termo “murder” na ConceptNet 5.8.

```

"@id": "/c/en/murder",
"edges": [
  {
    "@id": "/a[/r/IsA/,/c/en/murder/,/c/en/crime/]",
    "@type": "Edge",
    "dataset": "/d/conceptnet/4/en",
    "end": {
      "@id": "/c/en/crime",
      "@type": "Node",
      "label": "a crime",
      "language": "en",
      "term": "/c/en/crime"
    },
    "license": "cc:by/4.0",
    "rel": {
      "@id": "/r/IsA",
      "@type": "Relation",
      "label": "IsA"
    },
    "sources": [
      {
        "@id":
"/and[/s/activity/omcs/omcs1_possibly_free_text/,/s/contributor/omcs/highplacespam1/]",
        "@type": "Source",
        "activity": "/s/activity/omcs/omcs1_possibly_free_text",
        "contributor": "/s/contributor/omcs/highplacespam1"
      },
      ...
    ],
    "start": {
      "@id": "/c/en/murder",
      "@type": "Node",
      "label": "a murder",
      "language": "en",
      "term": "/c/en/murder"
    },
    "surfaceText": "[[a murder]] is [[a crime]]",
    "weight": 8.0
  },
],

```

sobre textos, tais como descoberta de contexto (que habilita a extração da vizinhança contextual de um conceito, e.g., “tirar a roupa”, “ir dormir”, e “deitar-se” são vizinhos do conceito “ir para a cama”), cadeia de inferências (que habilita encontrar caminhos na rede semântica a partir de um conceito, e.g., “comprar comida” - “ter comida” - “comer comida” - “sentir-se cheio” - “sentir-se com sono”) e analogia conceitual (que envolve encontrar conceitos que são estruturalmente similares, e.g., “funeral” e “casamento”, “sofá” e “cama”). Todos esses exemplos foram extraídos de (Ovchinnikova, 2012).

9.1.3.1 Bases de conhecimento de senso comum para o português

Como visto, a Conceptnet 5.8 possui uma cobertura de 473 mil termos ou frases no português, representando assim a mais extensa base de conhecimento de senso comum para essa língua.

O projeto *Open Mind Common Sense – Brasil* (OMCS-Br) foi um projeto do Laboratório de Interação Avançada (LIA) da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, em colaboração com o MediaLab do MIT, para a coleta de conhecimento de senso comum em



português (Anacleto et al., 2006). Este projeto em 2010 contava com 160.000 afirmações de senso comum de seus colaboradores. O projeto foi descontinuado, mas diversas aplicações e estudos foram desenvolvidos a partir desta base. Dentre eles, podemos citar, uma ferramenta que utiliza a base de conhecimento de senso comum para auxiliar a interação humana (de alunos e professores) com ferramentas educacionais (Anacleto et al., 2007).

A base InferenceNet-BR (Pinheiro et al., 2010) adapta a ConceptNet (Liu; Singh, 2004) adicionando uma camada que define o papel da afirmação em uma inferência – se como premissa (ou pré-condição) ou como conclusão (ou pós-condição). Além da tradução dos termos e suas afirmações (relações com outros conceitos), o projeto da InferenceNet-BR evoluiu a base com novo conhecimento semântico específico para o domínio de segurança pública em português.

A InferenceNet-BR compõe-se de duas bases de conhecimento:

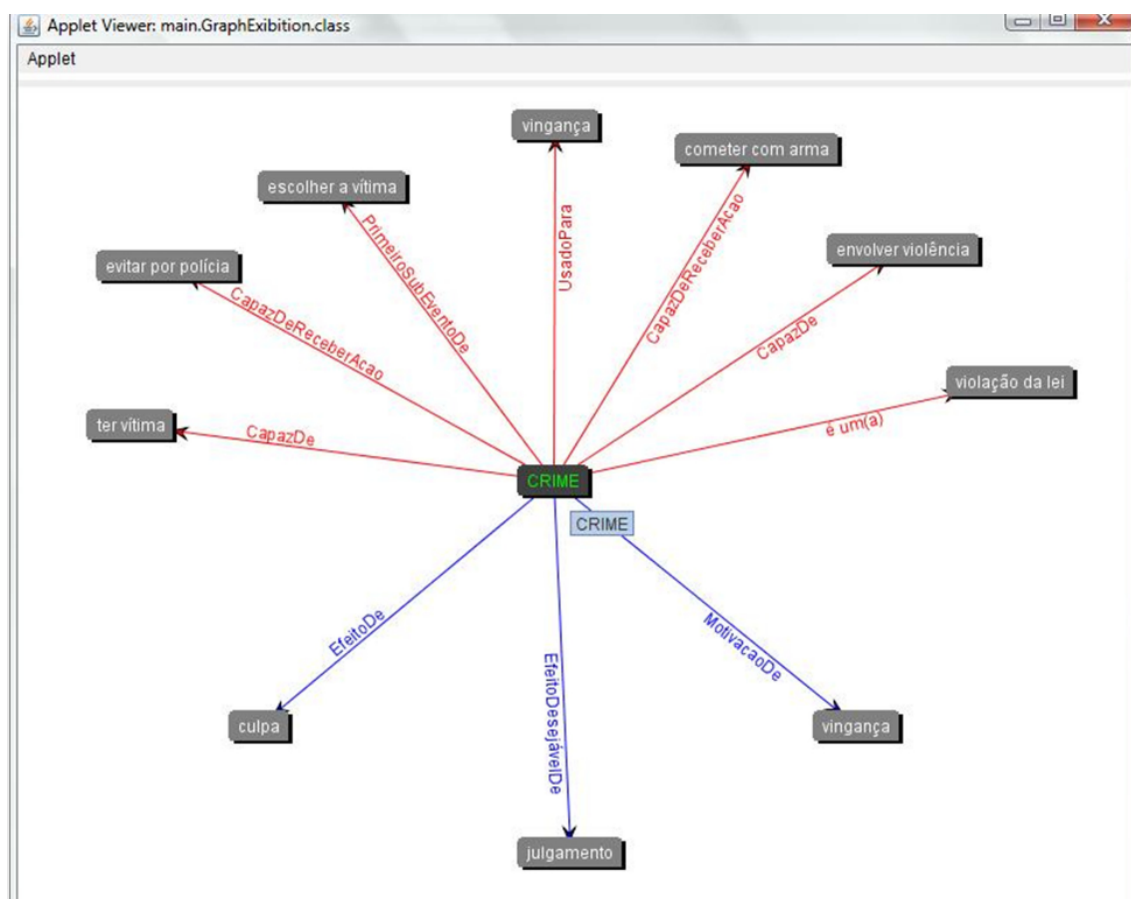
1. **Base Conceitual** – essa base contém o conjunto de termos (palavras ou frases em linguagem natural) relacionados em uma rede semântica, representada por meio de quádruplas (ARG1, REL, ARG2, PESO, TIPO_INF) que definem as afirmações ou *edges*, onde:
 - ARG1 – identificador do termo inicial da relação;
 - ARG2 – identificador do termo final da relação;
 - REL – identificador da relação semântica de um total de 17 relações, por exemplo, “CapazDe”; “PartDe”; “ÉUm”; “EfeitoDe” etc.;
 - PESO – força da afirmação. Um peso típico é 1, mas pode ser maior a depender do número de vezes que a afirmação foi recuperada ou generalizada a partir das fontes (Conceptnet original e *corpus* de textos de domínio);
 - TIPO_INF – tipo da relação inferencial - premissa (pré-condição - PRE) ou conclusão (pós-condição - POS).
2. **Base de Sentenças-Padrão** - essa base contém a estrutura sintática das sentenças-padrão e suas relações com termos da Base Conceitual. Seja a sentença-padrão $sp_1 = X$ “ser_assassinado_por” Y . Temos que X está relacionado com o termo “vítima” e Y está relacionado com o termo “criminoso”, através da relação “ÉUm”, e com o tipo inferencial **pós-condição**. Ou seja, na sentença “Maria foi assassinada por seu amante” podemos concluir que Maria é a vítima e seu amante é o criminoso. A rede semântica dessa base de sentenças-padrão é representada, portanto, por meio de quádruplas (SP, REL, ARG, PESO, TIPO_INF) que definem as afirmações ou *edges*, onde:
 - SP – identificador da sentença-padrão geralmente da forma “(X, sintagma verbal, Y)”;
 - ARG – identificador do termo final da relação;
 - REL – identificador da relação semântica de um total de 17 relações, por exemplo, “CapazDe”; “PartDe”; “ÉUm”; “EfeitoDe” etc.;
 - PESO – força da afirmação. Um peso típico é 1, mas pode ser maior a depender do número de vezes que a afirmação foi recuperada ou generalizada a partir das fontes (Conceptnet original e *corpus* de textos de domínio);
 - TIPO_INF – tipo da relação inferencial - premissa (pré-condição - PRE) ou conclusão (pós-condição - POS).



A Figura 9.8 ilustra uma parte da rede de relacionamento inferencial da palavra “crime” na base InferenceNet-BR, com as seguintes relações:

- (capazDe, “crime”, “ter vítima”, “Pre”);
- (capazDeReceberAcao, “crime”, “evitar por polícia”, “Pre”);
- (primeiroSubEventoDe, “crime”, “escolher a vítima”, “Pre”);
- (usadoPara, “crime”, “vingança”, “Pre”);
- (capazDeReceberAcao, “crime”, “cometer com arma”, “Pre”);
- (capazDe, “crime”, “envolver violência”, “Pre”);
- (éUm, “crime”, “violação da lei”, “Pre”);
- (motivacaoDe, “crime”, “vingança”, “Pre”);
- (efeitoDe, “crime”, “culpa”, “Pos”);
- (efeitoDesejavelDe, “crime”, “julgamento”, “Pos”).

Figura 9.8: Rede de relações inferenciais do termo “crime” (pré-condições (PRE) são as arestas na cor vermelha, e pós-condições (POS) são as arestas na cor azul).



9.1.3.2 Análise do Exemplo Motivador usando a ConceptNet

Nesta seção, usaremos a base da ConceptNet para o português e para o inglês para analisar o Exemplo 9.1. No Exemplo 9.4 são destacadas algumas afirmações de senso comum associadas aos termos mencionados no texto (termos sublinhados).

Exemplo 9.4:

Um assalto do tipo saidinha bancária, ocorrido na tarde desta terça-feira, terminou com uma mulher de 42 anos baleada pelos assaltantes. O roubo ocorreu na rua Professor Costa Mendes.

Afirmações (*edges*) do termo *assalto*:

- “terror” está localizada em “assalto” (da base para o português);
- “pessoas com medo” está localizada “assalto” (da base para o português);
- “*heist*” is a type of “*robbery*” (roubo é um tipo de assalto);
- “*revolver*” is a thing used for “*robbery*” (revólver é uma coisa usada para assaltar)

Afirmações (*edges*) do termo *baleiar* (“*shoot*”, em inglês):

- “fight the enemy” is subevent of “shoot” (lutar contra o inimigo é subevento de baleiar);
- “a gun” is a thing used for “shoot” (uma arma é uma coisa usada para baleiar);
- “shoot” is a way of “kill” (baleiar é uma forma de matar);
- “shoot” is a type of “sprout” (é um tipo de broto, como broto de feijão)

Algumas dificuldades com a análise do exemplo, à luz da ConceptNet, foram:

- A desambiguação do sentido da palavra “baleiar” no exemplo Exemplo 9.4 não é trivial. Na base da ConceptNet não há separação das redes semânticas por classe gramatical e de palavras polissêmicas. Por exemplo, as afirmações de “baleiar” no sentido de atirar e em outros sentidos estão associadas a um mesmo termo, assim como afirmações de “shoot” como verbo e como substantivo;
- As afirmações em português são incipientes na base da ConceptNet, pelo menos para os termos analisados nesse exemplo.

9.2 Considerações Finais

Ao longo deste capítulo exploramos três bases de conhecimento comuns na área de PLN: WordNet, FrameNet e ConceptNet. WordNet, com sua rica estrutura hierárquica, destaca-se por mapear relações semânticas entre conjuntos de sinônimos (*synsets*), fornecendo uma compreensão sobre sinônimos, antônimos, hiperônimos e muito mais. Esse recurso se tornou uma das ferramentas mais utilizadas em aplicações de PLN, desde a análise de sentimentos até a desambiguação de sentidos.

FrameNet, por sua vez, adota uma abordagem baseada em *frames* para capturar significados em dados contextos ou situações, fazendo a ponte entre elementos lexicais e seus respectivos papéis semânticos. Através dessa base, podemos entender mais profundamente



como as palavras interagem dentro de estruturas semânticas e pragmáticas mais amplas. Esta abordagem, focada nos papéis semânticos, permite uma análise mais rica do texto, tornando-a particularmente útil para tarefas de anotação de papéis semânticos e análise de discurso. Em contrapartida, ela não possui um critério claro de completamento, ou seja, não sabemos quando vamos ter (ou se já temos) todos os *frames* necessários.

Por fim, a base ConceptNet destaca-se pelo seu caráter colaborativo e multidimensional. Integra conhecimentos de senso comum e conhecimento léxico-semântico de várias fontes e idiomas, oferecendo uma visão ampla das relações entre conceitos e contextos. Seu formato de rede semântica ajuda a capturar a complexidade e interconexão do conhecimento humano de uma maneira holística. ConceptNet tem sido usada em aplicações de extração de informação e reconhecimento de implicação textual. Em contrapartida, problemas de consistência da base parecem importantes. E tal como no caso de FrameNet, não temos um critério explícito de quando teremos uma cobertura suficiente.

Em resumo, cada uma destas bases de conhecimento representa um recurso para o PLN com perspectivas únicas, mas qual delas se aplica melhor e em quais casos? Recursos léxicos-semânticos parecem não serem suficientes para expressar conhecimento de mundo. De outro lado, bases de conhecimento de senso comum são mais flexíveis e expressivas, porém menos formais. Acreditamos que uma abordagem híbrida, em que tais bases de conhecimento sejam usadas de forma combinada, é mais promissora para o PLN. Nas próximas versões deste capítulo introduziremos os *parsers* semânticos que, em conjunto com as bases de conhecimento, constituem poderoso *framework* para sistemas de entendimento de linguagem natural.

Referências

- AHN, L. VON; KEDIA, M.; BLUM, M. **Verbosity: A Game for Collecting Common-Sense Facts**. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. **Anais...** CHI '06. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/1124772.1124784>>
- ANACLETO, J. et al. **Can Common Sense uncover cultural differences in computer applications?** (M. Bramer, Ed.) Artificial Intelligence in Theory and Practice. **Anais...** Boston, MA: Springer US, 2006.
- ANACLETO, J. C. et al. **A Common Sense-Based On-Line Assistant for Training Employees**. (C. Baranauskas et al., Eds.) Human-Computer Interaction – INTERACT 2007. **Anais...** Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- AUER, S. et al. **DBpedia: A Nucleus for a Web of Open Data**. (K. Aberer et al., Eds.) The Semantic Web. **Anais...** Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- BAADER, F. et al. **The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications**. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 2003.
- BAKER, C. F.; FILLMORE, C. J.; LOWE, J. B. **The Berkeley FrameNet Project**. 36th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and 17th International Conference on Computational Linguistics, Volume 1. **Anais...** Montreal, Quebec, Canada: Association for Computational Linguistics, ago. 1998. Disponível em: <<https://aclanthology.org/P98-1013>>
- BANARESCU, L. et al. **Abstract Meaning Representation for Sembanking**.



- Proceedings of the 7th Linguistic Annotation Workshop and Interoperability with Discourse. **Anais...**Sofia, Bulgaria: Association for Computational Linguistics, 2013. Disponível em: <<http://aclweb.org/anthology/W13-2322>>
- BARREIRA, R.; PINHEIRO, V.; FURTADO, V. **FrameFOR – Uma Base de Conhecimento de Frames Semânticos para Perícias de Informática (FrameFOR - a Knowledge Base of Semantic Frames for Digital Forensics)**[In Portuguese]. Proceedings of the 11th Brazilian Symposium in Information and Human Language Technology. **Anais...**Uberlândia, Brazil: Sociedade Brasileira de Computação, out. 2017. Disponível em: <<https://aclanthology.org/W17-6620>>
- BATES, M. et al. Research in Knowledge Representation for Natural Language Understanding: Bolt, Beranek, and Newman. **SIGART Bull.**, n. 79, p. 30–31, jan. 1982.
- BERTOLDI, A. **Os Limites da Criação Automática de Léxicos Computacionais Baseados em Frames: Um Estudo Contrastivo do Frame Criminal_process (The Limits of the Automatic Creation of Frame-based Computational Lexicons: a Contrastive Study of the Criminal_process Frame)** [in Portuguese]. Proceedings of the 8th Brazilian Symposium in Information and Human Language Technology. **Anais...**2011. Disponível em: <<https://aclanthology.org/W11-4510>>
- BICK, E. S. PFN-PT: A Framenet Annotator for Portuguese: Anotação semântica automática: um novo Framenet para o português. **Domínios de Linguagem**, v. 16(4)7, p. 1401–1435, 2009.
- BLACKBURN, P.; BOS, J. **Representation and Inference for Natural Language: A First Course in Computational Semantics**. [s.l.] Center for the Study of Language; Information, 2005.
- BOBROW, D. G. et al. GUS, a frame-driven dialog system. **Artificial Intelligence**, v. 8, n. 2, p. 155–173, 1977.
- BOND, F.; FOSTER, R. **Linking and extending an open multilingual wordnet**. Proceedings of the 51st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). **Anais...**Sofia, Bulgaria: Association for Computational Linguistics, ago. 2013. Disponível em: <<https://aclanthology.org/P13-1133>>
- BRANDON, R. B. **Articulating Reasons: An Introduction to Inferentialism**. Cambridge, Massachusetts, EUA: Harvard University Press, 2001.
- BREEN, J. **JMdict: a Japanese-Multilingual Dictionary**. Proceedings of the Workshop on Multilingual Linguistic Resources. **Anais...**Geneva, Switzerland: COLING, 2004. Disponível em: <<https://aclanthology.org/W04-2209>>
- COPESTAKE, A. et al. Minimal recursion semantics: An introduction. **Research on language and computation**, v. 3, p. 281–332, 2005.
- DAHL, V. Natural language processing and logic programming. **Journal of Logic Programming**, v. 19-20, n. 1, p. 681–714, 1994.
- DE PAIVA, V. et al. **An overview of Portuguese wordnets**. Proceedings of the 8th Global WordNet Conference (GWC). **Anais...**2016.
- DE PAIVA, V.; RADEMAKER, A.; MELO, G. DE. **OpenWordNet-PT: An Open Brazilian Wordnet for Reasoning**. Proceedings of COLING 2012: Demonstration Papers. **Anais...**2012.
- DIAS-DA-SILVA, B. C. **Wordnet.Br: An Exercise of Human Language Technology Research**. Proceedings of the Third International WordNet Conference. **Anais...**2005. Disponível em: <<http://semanticweb.kaist.ac.kr/conference/gwc/pdf2006/6.pdf>>



- DURAN, M. S.; ALUÍSIO, S. M. **Propbank-Br: a Brazilian Treebank Annotated with Semantic Role Labels**. Proceedings of the 8th International Conference on Language Resources and Evaluation - LREC. **Anais...**2012.
- EIJCK, J. VAN; UNGER, C. **Computational Semantics with Functional Programming**. [s.l.] Cambridge University Press, 2010.
- FELLBAUM, C. (EDITOR). **WordNet: An electronic lexical database**. [s.l.] The MIT press, 1998.
- FILLMORE, C. J. et al. **Frame semantics and the nature of language**. Annals of the New York Academy of Sciences: Conference on the origin and development of language and speech. **Anais...**New York, 1976.
- GONÇALO OLIVEIRA, H. **Beyond the automatic construction of a lexical ontology for Portuguese: resources developed in the scope of Onto.PT**. Proceedings of Workshop on Tools and Resources for Automatically Processing Portuguese and Spanish. **Anais...** TorPorEsp.São Carlos, SP, Brasil: BDBComp, 2014. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/torporesp/2014/004.pdf>>
- HAVASI, C.; SPEER, R.; ALONSO, J. **ConceptNet 3: a Flexible, Multilingual Semantic Network for Common Sense Knowledge**. Recent Advances in Natural Language Processing. **Anais...**Borovets, Bulgaria: To appear, 2007.
- KIPPER, K.; DANG, H. T.; PALMER, M. **Class-Based Construction of a Verb Lexicon**. Proceedings of the Seventeenth National Conference on Artificial Intelligence and Twelfth Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence. **Anais...**AAAI Press, 2000.
- KUO, Y. et al. **Community-Based Game Design: Experiments on Social Games for Commonsense Data Collection**. Proceedings of the ACM SIGKDD Workshop on Human Computation. **Anais...** HCOMP '09.New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/1600150.1600154>>
- LENAT, D. B.; GUHA, R. V. **Building large knowledge-based systems: representation and inference in the Cyc project**. [s.l.] Addison-Wesley, 1989.
- LIU, H.; SINGH, P. **Commonsense Reasoning in and Over Natural Language**. (M. Gh. Negoita, R. J. Howlett, L. C. Jain, Eds.)Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems. **Anais...**Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- MCCRAE, J. P. et al. **English WordNet 2019 – An Open-Source WordNet for English**. Proceedings of the 10th Global Wordnet Conference. **Anais...**Wroclaw, Poland: Global Wordnet Association, jul. 2019. Disponível em: <<https://aclanthology.org/2019.gwc-1.31>>
- MELO, G. DE; WEIKUM, G. **Towards a universal wordnet by learning from combined evidence**. Proceedings of the 18th ACM conference on Information and knowledge management. **Anais...**2009.
- MINSKY, M. A framework for representing knowledge. **The psychology of computer vision**, 1975.
- NAVIGLI, R.; PONZETTO, S. P. BabelNet: The automatic construction, evaluation and application of a wide-coverage multilingual semantic network. **Artificial intelligence**, v. 193, p. 217–250, 2012.
- OVCHINNIKOVA, E. **Integration of World Knowledge for Natural Language Understanding**. [s.l.] Atlantis Press, 2012.
- PALMER, M.; GILDEA, D.; KINGSBURY, P. **The Proposition Bank: An Annotated**



- Corpus of Semantic Roles.** Computational Linguistics, 31: 1. **Anais...**The MIT Press/Journals, 2005.
- PINHEIRO, V. et al. **InferenceNet.Br: Expression of Inferentialist Semantic Content of the Portuguese Language.** (T. A. S. Pardo et al., Eds.)Computational Processing of the Portuguese Language. **Anais...**Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- RUPPENHOFER, J. et al. **FrameNet II: Extended theory and practice.** [s.l.: s.n.].
- SAG, I. A. et al. **Multiword Expressions: A Pain in the Neck for NLP.** Conference on Intelligent Text Processing and Computational Linguistics. **Anais...**2002. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:1826481>>
- SALOMÃO, M. M. M. FrameNet Brasil: A work in progress. **Calidoscópico**, v. 7, p. 171–182, 2009.
- SCARTON, C. E.; ALUISIO, S. M. **Towards a cross-linguistic VerbNet-style lexicon for Brazilian portuguese.** Workshop on Creating Cross-language Resources for Disconnected Languages and Styles - CREDISLAS. **Anais...**ELRA, 2012.
- SELLARS, W. Inference and Meaning. **Mind**, v. 62, n. 247, p. 313–338, 1953.
- SHAPIRO, S. C. SNePS: A Logic for Natural Language Understanding and Commonsense Reasoning. Em: **Natural Language Processing and Knowledge Representation: Language for Knowledge and Knowledge for Language.** Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2000. p. 175–195.
- SIMÕES, A.; GUINOVART, X. G. **Bootstrapping a Portuguese WordNet from Galician, Spanish and English Wordnets.** IberSPEECH Conference. **Anais...**2014. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:10377782>>
- SINGH, P. et al. **Open Mind Common Sense: Knowledge Acquisition from the General Public.** (R. Meersman, Z. Tari, Eds.)On the Move to Meaningful Internet Systems 2002: CoopIS, DOA, and ODBASE. **Anais...**Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002.
- SPEER, R.; CHIN, J.; HAVASI, C. ConceptNet 5.5: An Open Multilingual Graph of General Knowledge. **CoRR**, v. abs/1612.03975, 2016.
- SUCHANEK, F. M.; KASNECI, G.; WEIKUM, G. **Yago: a core of semantic knowledge.** Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web. **Anais...**2007.
- TORRENT, T. T. et al. **Copa 2014 FrameNet Brasil: a frame-based trilingual electronic dictionary for the Football World Cup.** Proceedings of COLING 2014, the 25th International Conference on Computational Linguistics: System Demonstrations. **Anais...**Dublin, Ireland: Dublin City University; Association for Computational Linguistics, ago. 2014. Disponível em: <<https://aclanthology.org/C14-2003>>
- TORRENT, T. T.; ELLSWORTH, M. Behind the Labels: Criteria for Defining Analytical Categories in FrameNet Brasil. **Veredas-Revista de Estudos Linguísticos**, v. 17, n. 1, p. 44–66, 2013.
- VRANDEČIĆ, D.; KRÖTZSCH, M. Wikidata: a free collaborative knowledgebase. **Communications of the ACM**, v. 57, n. 10, p. 78–85, 2014.

