

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

**Fluência Verbal Semântica em Testes de Rastreo
Cognitivo em Quadros de Demência e
Comprometimento Cognitivo Leve: Análise
Estatística e Visualização por Meio de Grafos
Temporais**

Gerson Albuquerque da Silva

Monografia - MBA em Inteligência Artificial e Big Data

Gerson Albuquerque da Silva

**Fluência Verbal Semântica em Testes de Rastreio
Cognitivo em Quadros de Demência e Comprometimento
Cognitivo Leve: Análise Estatística e Visualização por
Meio de Grafos Temporais**

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências de Computação do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo - ICMC/USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Inteligência Artificial e Big Data.

Área de concentração: Inteligência Artificial

Orientadora: Prof. Dr. Ronaldo Prati

Versão original

São Carlos

2024

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Achille Bassi, ICMC/USP, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S856m	<p>Silva, Gerson Albuquerque</p> <p>Fluência Verbal Semântica em Testes de Rastreio Cognitivo em Quadros de Demência e Comprometimento Cognitivo Leve: Análise Estatística e Visualização por Meio de Grafos Temporais / Gerson Albuquerque da Silva ; orientador Ronaldo Prati. – São Carlos, 2024.</p> <p>77 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.</p> <p>Monografia (MBA em Inteligência Artificial e Big Data) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, 2024.</p> <p>1. LaTeX. 2. abnTeX. 3. Classe USPSC. 4. Editoração de texto. 5. Normalização da documentação. 6. Tese. 7. Dissertação. 8. Documentos (elaboração). 9. Documentos eletrônicos. I. Ronaldo Prati, orient. II. Título.</p>
-------	---

Gerson Albuquerque da Silva

**Semantic Verbal Fluency in Cognitive Screening Tests in
Cases of Dementia and Mild Cognitive Impairment:
Statistical Analysis and Visualization through Temporal
Graphs**

Monograph presented to the Departamento de Ciências de Computação do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo - ICMC/USP, as part of the requirements for obtaining the title of Specialist in Artificial Intelligence and Big Data.

Concentration area: Artificial Intelligence

Original version

São Carlos

2024

Folha de aprovação em conformidade
com o padrão definido
pela Unidade.

No presente modelo consta como
folhadeaprovacao.pdf

Dedico este trabalho à Ivani Albuquerque da Silva. A pessoa mais importante da minha vida

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores da Universidade de São Paulo do campus de São Carlos, ao professor Ronaldo Prati da Universidade Federal do ABC e aos professores Alan e Sheila da Universidade Federal de São Paulo e profissionais do Hospital São Paulo.

“Aus dem Mist, den du machst oder der dir passiert, lässt sich prima Kompost machen!”
(A. Schwanitz)

RESUMO

SILVA, G.A. **Fluência Verbal Semântica em Rastreo Cognitivo em Quadros de Demência e de Comprometimento Cognitivo Leve: Análise Estatística e Visualização Por meio de Grafos Temporais.** 2024. 77 p. Monografia (MBA em Inteligência Artificial e Big Data) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024.

Este estudo investigou a fluência verbal semântica em uma população de 104 sujeitos, com foco na produção de palavras ao longo do tempo. Foram gerados mapas de calor e calculadas correlações entre diversos parâmetros e os escores MoCA MIS. Foi encontrada uma correlação significativa entre o número total de palavras produzidas e aquelas evocadas na primeira metade da tarefa. Além disso, foram analisadas a formação de clusters e as trocas entre clusters (switchings), proporcionando uma compreensão mais profunda dos processos cognitivos envolvidos na recuperação lexical. Foi proposto um método previamente não explorado para visualizar as evocações por meio de grafos temporais, permitindo que mudanças de cluster e outras métricas relevantes sejam visualizadas e calculadas. Essa abordagem contribui para uma compreensão mais aprofundada do processo de recuperação e sua aplicabilidade clínica pode auxiliar na avaliação do desempenho cognitivo.

Keywords: Neurolinguística. Processamento de Línguas Naturais. Demência. Comprometimento Cognitivo Leve. Inteligência Artificial

ABSTRACT

SILVA, G.A. **Semantic Verbal Fluency in Cognitive Screening Tests in Cases of Dementia and Mild Cognitive Impairment: Statistical Analysis and Visualization through Temporal Graphs.** 2024. 77 p. Monograph (MBA in Artificial Intelligence and Big Data) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024.

This study investigated semantic verbal fluency in a population of 104 subjects, focusing on word production over time. Heat maps were generated, and correlations between several parameters and MoCA MIS scores were calculated. A significant correlation was found between the total number of words produced and those generated in the first half of the task. Additionally, cluster formation and switchings between clusters were analyzed, providing deeper insights into the cognitive processes involved in retrieval. A previously unexplored method was proposed to visualize evocations through temporal graphs, allowing cluster switchings and other relevant metrics to be both visualized and calculated. This approach contributes to a deeper understanding of the retrieval process, and its clinical applicability may aid in evaluating cognitive performance.

Keywords: Neurolinguistics. Natural Language Processing. Dementia. Mild Cognitive Impairment. Artificial Intelligence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Submódulos da Linguagem. Fonte: o Autor.	31
Figura 2 – Modelo de acesso ao léxico, adaptado de Levelt, Roelofs e Meyer (1999)	37
Figura 3 – Representação simplificada do CBOW e do SG .Fonte: (Mikolov <i>et al.</i> , 2013)	44
Figura 4 – O vetor em roxo é o resultado da relação entre os embeddings de 'rei - homem + mulher.Fonte: o autor	44
Figura 5 – O embedding da palavra rainha.Fonte: o autor	45
Figura 6 – Diagrama da arquitetura Transformer destacando o mecanismo de autoatenção.Adaptado de (Vaswani <i>et al.</i> , 2017)	46
Figura 7 – BERT - Masked Language Modeling. Fonte: Adaptado de Devlin <i>et al.</i> (2019).	47
Figura 8 – Grafo direcionado. <i>Fonte: o autor.</i>	48
Figura 9 – Grafo não direcionado. <i>Fonte: o autor.</i>	48
Figura 10 – Grafo ponderado. <i>Fonte: o autor.</i>	49
Figura 11 – Representando os dados da Tabela 1 por meio de redes. Fonte: o autor.	50
Figura 12 – Exemplo de Grafo Temporal. Fonte: o autor	51
Figura 13 – Transcrição manual (Boersma, 2001)	54
Figura 14 – Representação da Arquitetura do Modelo Whisper (Radford <i>et al.</i> , 2023)	54
Figura 15 – Identificação de <i>clusters</i> e <i>switchings</i>	54
Figura 16 – Pipeline: Análise de fluência verbal semântica.Fonte: o autor	55
Figura 17 – Número Total de Palavras por grupo etário.	57
Figura 18 – Pontuação MoCA X faixa etária.	58
Figura 19 – Correlação entre MoCA MIS e SNP.	58
Figura 20 – Relação entre os Quartis e o MoCA MIS.	59
Figura 21 – Relação entre MoCA MIS <i>score</i> , <i>clusters</i> e <i>switchings</i>	59
Figura 22 – Representação da Evocação Paciente 1019	62
Figura 23 – Representação da Evocação Paciente 1024	63
Figura 24 – Representação da Evocação Paciente 1025	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Instrumentos de Rastreio Cognitivo validados para a população brasileira. Fonte: (Teldeschi <i>et al.</i> , 2017)	34
Tabela 2	– Critério para <i>Clustering</i> . Fonte: (Becker, 2015)	38
Tabela 3	– Amostra representativa dos dados utilizados na análise.	53
Tabela 4	– Tabela representando as primeiras 10 linhas e as colunas 3 a 7	55

LISTA DE QUADROS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCL	Comprometimento Cognitivo Leve
DA	Doença de Alzheimer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LaTeX	Lamport TeX
USP	Universidade de São Paulo
USPSC	Campus USP de São Carlos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	Contextualização Histórica	26
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1	Demência, Comprometimento Cognitivo Leve e Doença de Alzheimer	29
2.1.1	Demência	29
2.1.2	Comprometimento Cognitivo Leve	29
2.1.3	Doença de Alzheimer	30
2.2	Alterações de linguagem no envelhecimento típico e em quadros de Doença de Alzheimer	30
2.2.1	Mudanças na linguagem durante o processo de envelhecimento típico	30
2.2.2	Processos Neurolinguísticos subjacentes	32
2.2.3	O Teste de Avaliação Cognitiva de Montreal (MoCA) e o MoCA MIS	33
2.2.4	Fluência Verbal, Estruturas Neurais e Processos Cognitivos Subjacentes	35
2.2.5	FVS e FVF no envelhecimento típico em CCL e em DA	35
2.2.6	<i>Clustering</i> e <i>switching</i>	36
2.3	Métricas	37
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E LITERATURA RELACIONADA	39
3.1	Métodos Manuais de Avaliação	39
3.1.1	Método Automático de Análise	40
3.2	Word2Vec e BERT - Modelos de Representação de Palavras e Contexto no Processamento de Linguagem Natural	42
3.2.1	Word2Vec	42
3.2.1.1	Definições, Modelos e Arquiteturas	42
3.2.1.2	Modelos Word2Vec	43
3.2.2	BERT - Representações Bidirecionais e Modelagem de Contexto	44
3.2.2.1	A Arquitetura dos <i>Transformers</i>	45
3.2.2.2	O BERT e a bidirecionalidade	45
3.2.3	Teoria dos Grafos e Grafos Temporais	47
3.2.3.1	Definições e Propriedades	47
3.2.3.2	Grafos Temporais	51
4	DESENVOLVIMENTO	53
4.1	Dados , Diagrama e Métricas de Avaliação	53
4.2	Metodologia	55

5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	57
5.1	Contagem de Palavras	57
5.1.1	Velocidade do Processamento Cognitivo	59
5.2	Análise de <i>clusters</i> e <i>switchings</i>	59
6	VISUALIZAÇÃO DE GRAFOS TEMPORAIS	61
6.1	Descrição da Abordagem	61
6.1.1	Estrutura do Gráfico Temporal	61
6.1.2	Categorização e Codificação de Cores	61
6.2	Cálculo de Métricas	61
6.3	Comparação entre Sujeitos	62
7	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	65
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

O Brasil vem experimentando um fenômeno de envelhecimento populacional sem precedentes. A análise demográfica revela um incremento significativo na população idosa¹. Levantamentos relativamente recentes realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística apontam para um crescimento vertiginoso de quase 40% nos últimos dez anos, aumentando de 22,3 para 31,2 milhões de pessoas (Instituto Brasileiro de Geografia, 2023). Projeções apontam que esse contingente populacional poderá atingir cerca de 58 milhões de pessoas por volta de 2060 representando cerca de 25,5% da população brasileira (Simões, 2016). Esse aumento da população idosa é um fenômeno mundial. Segundo estudos da Divisão de População do Departamento de Assuntos Sociais e Econômicos da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2050, a população idosa² representará 16% da população mundial. Projeções da ONU apontam para uma população idosa que pode chegar aos 2 bilhões em 2050. Sinalizando um fato inédito na história da humanidade, as pessoas com 60 anos ou mais superarão as crianças menores de 14 anos, correspondendo, respectivamente, a 22,1% e 19,6% da população mundial (Rigoni; Silveira, 2018). A mais dramática consequência desse aumento da longevidade é a elevação da incidência de indivíduos que podem apresentar quadros de declínio cognitivo e, em especial, a doença de Alzheimer (DA), que é o tipo de demência mais prevalente entre os idosos no mundo (Teixeira *et al.*, 2015). Sabe-se que a progressão da doença se acentua de forma exponencial com o avanço da idade, dobrando a cada incremento de 6,3 anos após os 65 anos de idade (Kratz, 2021). A alta incidência de demência já é considerada “uma epidemia mundial em rápida expansão”. Hoje, mais de 47 milhões de pessoas apresentam quadros de demência. Esse número tende a duplicar a cada 20 anos, de tal forma que se prevê que, por volta de 2050, haverá cerca de 131 milhões portando algum tipo de demência (Kratz, 2021). Nos países de alta renda, onde são responsáveis por porcentagens significativas de causa mortis (Kratz, 2021), o impacto dos quadros de demência na economia já são visíveis. Os gastos anuais com seguros de saúde superam a cifra de milhões de euros (Kratz, 2021). Nos Estados Unidos, um estudo feito em 2007 já havia concluído que as despesas com pessoas que apresentavam quadros de demência grave eram superiores a outras condições clínicas (incluindo câncer, diabetes, doenças cardíacas e acidente vascular cerebral), com despesas anuais que à época já

¹ A Organização Mundial de Saúde define idosos pessoas com 60 anos ou mais em países em desenvolvimento e pessoas com idade superior a 65 anos em países desenvolvidos. Já no artigo 1º do Estatuto do Idoso - Lei 10.741/2003 - idoso é definido como o indivíduo com 60 anos ou mais.

² Segundo a Organização Mundial de Saúde, chamamos de "sociedade em envelhecimento", a sociedade em que mais de 7% da população tem 65 anos ou mais. Quando essa porcentagem for maior do que 14%, temos uma sociedade idosa. Já quando essa porcentagem for maior do que 21% - como o é no Japão, por exemplo - temos uma sociedade super idosa.

beiravam a 200 bilhões de dólares (Inouye, 2008). Em contrapartida, mesmo nesses países, a assistência médica é ainda inadequada. Apenas 40-50% dos casos em países ricos são devidamente diagnosticados. Já nos países de baixa renda, onde as transições demográficas e epidemiológicas não têm sido acompanhadas por mudanças adequadas na prestação de serviços de saúde, a situação é ainda mais preocupante, com apenas cerca de 10% dos casos de demência sendo diagnosticados. Esses países concentram 60% dos indivíduos que apresentam quadros da demência. (Kratz, 2021). No Brasil, a DA tem sido, há bastante tempo, uma preocupação significativa em termos de saúde coletiva, especialmente devido ao disparo das taxas de mortalidade e à crescente prevalência da doença em nível nacional nos últimos anos (Murray *et al.*, 2020). No entanto, não há dados oficiais confiáveis, a respeito do número real de brasileiros que apresentam quadros de Alzheimer, pois parte da população idosa se recusa a se submeter a tratamentos. Além disso, muitos pacientes, por exemplo, acabam sendo internados em decorrência de patologias decorrentes da DA. Disso resulta que o diagnóstico inicial não fica cadastrado como DA, o que limita a divulgação de seus impactos na saúde pública (Pessôa; Araújo, 2022). Nesse trabalho falaremos sobre como a Inteligência Artificial pode ser empregada em tarefas de fluência verbal para avaliação de declínio cognitivo em pacientes de Alzheimer. Antes de abordarmos as tarefas de fluência verbal, faremos uma contextualização histórica. Nessa contextualização, discutiremos o artigo de Alzheimer no qual se esclarece quais as alterações, incluindo as da linguagem, apresentam indivíduos com quadro de Alzheimer.

1.1 Contextualização Histórica

Etimologicamente, o termo "demência" deriva da palavra latina *dementia*, que, por seu turno, é composta por *de* = diminuição e *mens* = mente, e pode ser traduzido como "mente diminuída" (Grond, 2005). O termo carrega em si, portanto, a ideia de perda cognitiva³. Os problemas que surgem da perda das capacidades intelectuais são conhecidos desde a antiguidade. Junius Juvenalis, um poeta e satirista romano já descrevia vividamente os primeiros sintomas da DA: *"Mas ainda pior do que todas as enfermidades corporais é a demência, onde alguém não reconhece mais os nomes dos escravos, a expressão de um amigo com quem jantou na noite passada, nem os filhos que gerou e criou"* (Maurer; Ihl; Frölich, 2013). Os problemas que surgem da perda das capacidades intelectuais são conhecidos desde a antiguidade. Junius Juvenalis, um poeta e satirista romano já descrevia vividamente os primeiros sintomas da DA: Embora médicos da antiguidade já pudessem diferenciar entre transtornos mentais com causas físicas daqueles sem causas físicas (Albou, 2012), foi só no século XIX que o psiquiatra francês Esquirol³ definiu pela primeira vez a demência como uma doença. Sob o termo *"démence sénile"*, ele entendia condições patológicas agudas, crônicas ou relacionadas à idade (Werner, 1997).

³ O termo partilha da mesma origem etimológica da palavra *'dimenticare'* do italiano, que significa *'esquecer'*

Em 1890, o psiquiatra alemão Kraepelin adotou o termo "demência senil" e descreveu o declínio da memória e cognição como sintomas-chave da demência, sendo um dos primeiros a fazê-lo. Ao lado dele, Binswanger (psiquiatra suíço) e Alzheimer (psiquiatra alemão) trabalharam na caracterização e diferenciação das formas de demência. Eles distinguiram as formas degenerativas, caracterizadas por processos de deterioração da substância cerebral, das formas vasculares, que se baseiam em distúrbios da circulação cerebral (Werner, 1997). Em 3 e 4 de novembro de 1906, na reunião dos psiquiatras do sudoeste alemão em Tübingen, Alemanha, Alzheimer apresentou a história clínica de sua ex-paciente Auguste Deter. No entanto, sua palestra não foi publicada porque foi considerada muito curta pelo presidente da reunião (Drouin; Drouin, 2017). O texto dessa apresentação só seria publicada em 1907, num artigo curto - com menos de três páginas intitulado "Sobre um distúrbio incomum do córtex cerebral", publicado em 1907 na revista *Allgemeine Zeitschrift für Psychiatrie* (Böttcher, 2001). Para esta primeira investigação do que ele considerava uma doença previamente não reconhecida, ele empregou o método de impregnação de prata introduzido recentemente por Bielschowsky, uma modificação do método de Golgi, para visualizar mudanças neuropatológicas intracelulares no córtex da paciente. Alzheimer esperava identificar a razão para a demência progressiva que havia prejudicado os últimos 5 anos da vida da Sra. Deter, uma demência remanescente daquela vista em algumas pessoas de idade avançada (demência senil), mas não previamente descrita em uma mulher tão jovem: Deter tinha 56 anos quando faleceu. Ele identificou três características que eram incomuns para uma mulher de sua idade, e portanto, mereciam investigação adicional quanto ao seu significado para seu distúrbio: 1. "mudanças bastante marcantes dos neurofibrilares", que também permitiam a coloração por corantes aos quais normalmente eram impermeáveis, sugerindo que haviam sofrido uma "mudança química"; 2. "focos miliares minúsculos causados pela deposição de uma substância particular no córtex", que podiam ser observados sem coloração, aos quais eram resistentes; 3. "A glia desenvolveu numerosas fibras; além disso, muitas glia incluem inclusões adiposas." As duas primeiras características - emaranhados neurofibrilares e placas (Drusen), sendo que estas últimas já haviam sido descritas anteriormente por Blocq e Marinesco em um epiléptico idoso e por Oskar Fischer em "esclerose miliar - permanecem as marcas da doença nomeada em homenagem a Alzheimer; a proliferação glial também é bem descrita no distúrbio. Depósitos lipídicos intracelulares e outras alterações lipídicas na doença de Alzheimer, por outro lado, até recentemente, não receberam tanta atenção; o fenômeno, de fato, foi ignorado por muitos autores recentes que revisaram as publicações originais de Alzheimer (Drouin; Drouin, 2017). Em seu artigo (Alzheimer, 1907), o psiquiatra alemão relata a peculiaridade da demência de Auguste Deter, bem como a deterioração da memória, a desorientação espacial, problemas de produção de linguagem e a "debilidade geral progressiva" que levou Auguste a óbito em 4½ anos: *A. relata um caso observado no manicômio em Frankfurt a.M., e cujo sistema nervoso central lhe foi entregue para exame*

pelo Diretor Sioli. Clinicamente, apresentava um quadro tão desviante que não pôde ser classificado sob nenhuma doença conhecida; anatomicamente, revelou achados que diferiam de todos os processos patológicos previamente conhecidos. Uma mulher de 51 anos mostrou, como primeiro sintoma notável da doença, ciúmes delirantes em relação ao marido. Logo, uma fraqueza de memória rapidamente crescente tornou-se aparente; ela não conseguia mais encontrar o caminho em seu apartamento, arrastava objetos para lá e para cá, escondendo-os, às vezes acreditando que alguém a queria assassinar e começava a gritar alto. (...) Ela está completamente desorientada no tempo e no espaço. Ocasionalmente, ela faz declarações de que não entende tudo, não sabe o que está acontecendo. (...) Na incapacidade de compreender uma situação, ela grita alto sempre que é tentado um exame. (...) Sua memória está gravemente comprometida. Quando mostrados objetos, ela geralmente os nomeia corretamente, mas imediatamente esquece tudo depois. (...) Ao falar, ela frequentemente usa frases estranhas, expressões parafrásticas individuais (jarra de leite em vez de xícara), e às vezes se observa dificuldade. (...) Seu andar é normal; ela usa as mãos igualmente bem. (...) No decorrer adicional, os sintomas indicativos de sinais focais logo se tornam mais ou menos pronunciados. Eles são sempre apenas leves. Pelo contrário, a debilidade geral progride. Após 4½ anos de doença, a paciente falece. Ela estava completamente apática, deitada na cama com as pernas dobradas, havia se deixado levar, e inobstante todo o cuidado, a paciente havia desenvolvido úlceras de decúbito" (tradução do autor). Alzheimer descobriu, durante a autópsia desta paciente, que ocorreram mudanças patológicas na área dos neurofibrilas. Algumas dessas pequenas fibras que atravessam as células nervosas haviam se unido em feixes densos, levando à morte da célula nervosa. Ele também descobriu o depósito de um produto metabólico patológico não explorado anteriormente, que foi depositado nas células nervosas alteradas. Ele descreveu esses produtos de remodelação como "placas senis" (Alzheimer, 1907). É importante notar que a paciente desenvolveu a demência antes dos 65 anos (idade considerada pelos diversos autores como o "início oficial" da senilidade...), isto é, apesar de sua idade "pré-senil", a paciente e que daria origem à demência pré-senil de Alzheimer, definida por Emil Kraepelin em 1910. A explosão da doença de Alzheimer no final do século XX A preeminência da abordagem neuro-patológica e o impacto midiático da doença de celebridades (especialmente da atriz americana Rita Hayworth) levaram os especialistas norte-americanos a agrupar, em 1976, a maioria das demências degenerativas senis e pré-senis sob o termo genérico de doença tipo Alzheimer, sendo a demência senil, descrita na época por Etienne Esquirol, tornando-se assim a demência senil do tipo Alzheimer (Albou, 2012)

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Demência, Comprometimento Cognitivo Leve e Doença de Alzheimer

2.1.1 Demência

Segundo Obler e Gjerlow (1999), o termo "demência" é abrangente e se refere às consequências de várias enfermidades distintas que, em todos os casos, levam a uma perda das capacidades intelectuais. De maneira geral, as demências são causadas pela deterioração do tecido cerebral. Os diferentes tipos de demência afetam as várias partes do cérebro, mas ao contrário do que ocorre nas afasias, a deterioração cerebral não se produz necessariamente em áreas localizadas, surgindo, antes, sob a forma de atrofia mais generalizadas. As autoras estabelecem uma distinção fundamental entre demências corticais e subcorticais. Nas primeiras, as alterações celulares associadas à demência se manifestam principalmente em áreas corticais. Já nas segundas, ocorre exatamente o contrário: as mudanças celulares afetam principalmente as estruturas subcorticais. A demência cortical mais conhecida é a doença de Alzheimer¹. Nas demências corticais, em especial o Alzheimer, os sintomas são muito parecidos com os das afasias. Isso ocorre porque, embora a deterioração no tecido cerebral esteja amplamente espalhada, ela se encontra particularmente localizada nos lobos frontal e temporal, áreas responsáveis pela produção e compreensão da linguagem, respectivamente.

2.1.2 Comprometimento Cognitivo Leve

A transição entre um estado cognitivo normal para a demência é marcada por um período de comprometimento cognitivo sintomático que não causa limitações funcionais para os pacientes. A noção de Comprometimento Cognitivo Leve (CCL), foi originalmente sugerido por Petersen *et al.* (1999) para determinar o ponto crítico entre o envelhecimento normal e os estágios iniciais de demência, em particular a DA. Em anos recentes, essa noção tem se tornado cada vez mais um importante conceito para fins de predição e diagnóstico de demência. tem se tornado com objetivo de detectar pessoas susceptíveis ao desenvolvimento de demência. Há três motivos básicos para essa proeminência. Primeiramente, aprecia-se uma enorme taxa de conversão para demência em indivíduos com CCL entre 60 - 65%, segundo apontam os estudos de Busse, Angermeyer e Riedel-Heller (2006). Em segundo lugar, as características do CCL podem ser usadas para prever quais indivíduos desenvolverão demência e qual tipo de demência (Cummings, 2020). O terceiro motivo é

¹ A doença subcortical mais comum é a doença de Parkinson. As regiões do cérebro podem também serem descritas em termos de lobos (frontal, temporal, parietal e occipital) ou, ainda, em termos do lado esquerdo e direito (Cf. Silva (2019)).

que intervenções comportamentais podem ser empregadas com máximo efeito durante o CCL. Segundo o que é amplamente conhecido comunidade científica (Cummings, 2020), intervenções comportamentais constituem a abordagem mais eficaz para lidar com as limitações funcionais causadas pelo comprometimento cognitivo quando são instituídas antes do início da demência. Dentre os estudos realizados no país, destaca-se o estudo epidemiológico realizado por Hototian *et al.* (2008) que aponta para uma taxa de 16% de CCL em indivíduos idosos que moram na capital de São Paulo.

2.1.3 Doença de Alzheimer

Conforme Bayles, Kaszniak e Tomoeda (1987), a doença de Alzheimer(DA) é um distúrbio que predominantemente compromete o lobo temporal, resultando em perda neuronal na junção temporal-parietal occipital. O diagnóstico da doença é, ainda hoje baseado nas alterações anatomopatológicas descritas por Alzheimer em seu artigo de 1907 (Alzheimer, 1907). Assim , a demência se caracteriza pela presença das placas senis e de emaranhados neurofibrilares (Nelson *et al.*, 2012). Inicialmente, o hipocampo e as amígdalas podem ser os principais locais afetados, com a degeneração se estendendo posteriormente para os lobos parietal e temporal posteriores. Indivíduos com Alzheimer manifestam distúrbios de linguagem , problemas de orientação espacial, e dificuldades em lembrar , diferenciar e comparar objetos , eventos e situações que pertençam a uma mesma categoria, por exemplo. As alterações que se manifestam na DA devem ser distinguidas das que se observa no envelhecimento normal (Putzier, 2016). Por isso , nas seções que se seguem abordaremos as diferenças de linguagem que se observam em um cenário de envelhecimento típico e em um quadro de de DA.

2.2 Alterações de linguagem no envelhecimento típico e em quadros de Doença de Alzheimer

2.2.1 Mudanças na linguagem durante o processo de envelhecimento típico

Na teoria gerativista , conceitua-se o termo *faculdade de linguagem* em referência à dotação biológica que a espécie humana possui para a aquisição e uso de ao menos uma língua natural. Esta faculdade , que possibilita ao ser humano o conhecimento linguístico (língua-I) a partir da língua do ambiente (língua- E). Sob a hipótese de Fodor (1983), a linguagem é um conjunto de módulos, que interagem entre si (figura 1) e com outros módulos cognitivos que fornecem suporte ao processamento linguístico primário . No envelhecimento típico , embora haja um declínio das funções cognitivas devido ao processo de envelhecimento fisiológico natural, tais mudanças naturais das funções cognitivas não levam , necessariamente, à perda da funcionalidade ou da autonomia. Em um processo de envelhecimento saudável , o comprometimento das funções cognitivas não se dá de maneira uniforme, havendo algumas funções mais suscetíveis a declínio cognitivo do que outras. Assim , em que pese a diminuição da acuidade visual e auditiva

, o comprometimento da memória de trabalho , da atenção, da memória episódica , das funções executivas e da redução de velocidade de processamento de informações, não há perdas em relação à comunicação. Ao contrário, no envelhecimento típico, a linguagem é uma das funções cognitivas que mais se preserva. Dessa forma, embora se observe , não raro , que a comunicação torna-se mais lenta no envelhecimento, a fala se torne mais disfluente, observa-se mais hesitações , maior dificuldade quando se busca palavras específicas durante a conversação - ou quando se tenta lembrar de nomes próprios-, as capacidades linguísticas, de modo geral, não sofrem comprometimento que altere a dinâmica da vida social, mesmo em se tratando de idosos- o que se constitui, aliás, em importante critério para exclusão de demência (Petersen *et al.*, 1999). Vários estudos demonstram uma associação entre a redução da assimetria hemisférica e o envelhecimento. A evolução das ativações intensas do córtex frontal em jovens adultos para ativações bilaterais frontais em idosos com habilidade cognitivas preservadas foi estudada por Cabeza (2002). O autor constatou que , ao realizar tarefas semelhantes a dos jovens , o idosos não apenas ativam o hemisfério esquerdo, mas também regiões correspondentes no hemisfério direito. Tal ativação é considerada um sofisticado mecanismo compensatório, sugerindo uma reorganização neural que supera o declínio cognitivo relacionado a idade. Por outro lado, os idosos com desempenho inferior ao dos jovens que realizam as mesmas tarefas, apresentam um padrão de atividade cerebral semelhante ao dos jovens, sugerindo que recrutam as mesmas redes neurais, porém de forma

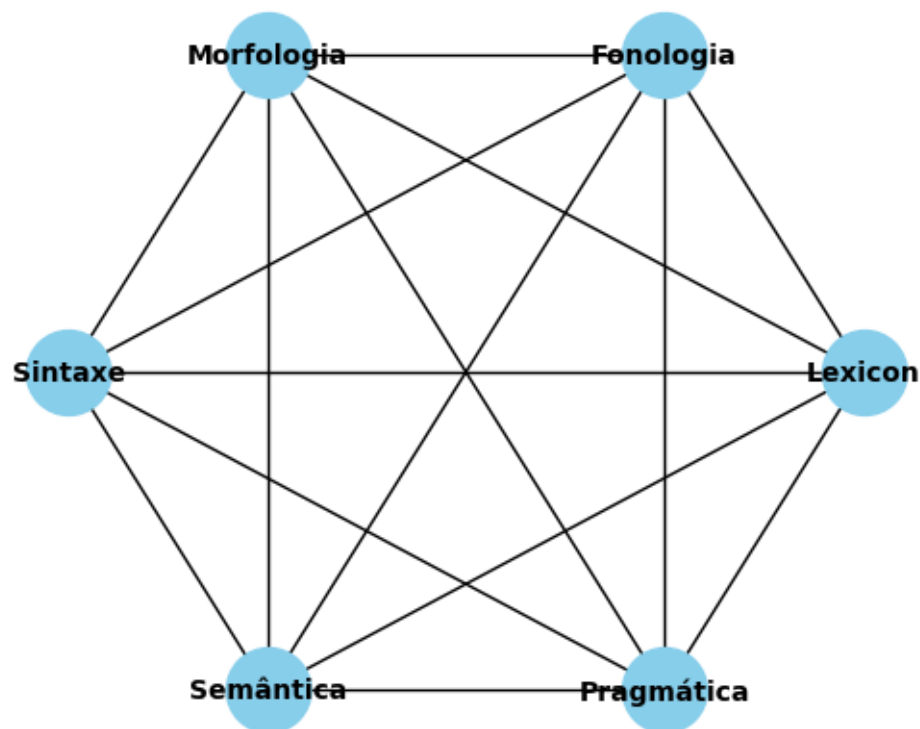


Figura 1 – Submódulos da Linguagem. Fonte: o Autor.

ineficiente(Steiner, 2013). A situação é diferente quando se trata de quadros neurológicos graves , como o da doença de Alzheimer. Há uma vasta literatura que mostra alterações do conhecimento semântico nos quadros de DA, ainda que as habilidades sintáticas e fonológicas (McNamara *et al.*, 1992) e algumas habilidades pragmáticas (Alberoni *et al.*, 1992) se preservem. Problemas de acesso ao léxico e de nomeação também são bastante documentados e representam um *deficit* cognitivo que ocorre desde o início da DA(Bayles, 1982).Um teste bastante típico para se avaliar as alterações da habilidade lexical em pacientes de DA(Bayles Kathryn/Kaszniak, 1987) consiste em fazer o paciente nomear objetos mostrados em um cartão. Bayles Kathryn/Kaszniak (1987) indica que os participantes nas fases iniciais da DA não mostram influência do sistema preditivo quando se trata de nomear objetos, mas os pacientes em estágios avançados da DA não são mais capazes de estabelecer conexões entre as categorias semânticas com as figuras. Estudos que abordam problemas de linguagem em CCL são bem documentados e mostram que as alterações são similares ao que se observa na DA. Joubert(2010)cognitive, por exemplo, provou que as mudanças semânticas são equivalentes no CCL e na DA. De acordo com Taler e Phillips (2008) as manifestações de *deficit* linguístico no CCL incluem a compreensão de frases enunciadas, *priming* semântico, escolha lexical, nomeação de palavras e categorização semântica.

2.2.2 Processos Neurolinguísticos subjacentes

Em baterias neuropsicológicas ou rastreio cognitivo, as alterações de linguagem em quadros de demência e CCL são avaliadas por meio de tarefas de desempenho verbal , que mede a velocidade e acurácia na produção de palavras , segundo alguma regra.Há uma restrição de tempo (Steiner, 2013)- a tarefa deve ser realizada num lapso geralmente de um minuto - e um critério de evocação de palavras que define os seguintes tipos de tarefa(Mirandez, 2014) :

1. Fluência verbal semântica, que consiste na produção de nomes pertencentes a uma categoria específica, geralmente nomes de frutas ou de animais ; (Newcombe, 1969)
2. Fluência verbal fonêmica ², na qual o sujeito produz palavras que começam com determinada letra , sendo as letras "f", "a" e "s" as mais utilizadas; (Borkowski; Benton; Spreen, 1967)
3. Fluência de verbos ³, em que se gera normalmente verbos que representam as ações que as pessoas podem realizar(Piatt *et al.*, 1999)
4. Evocação lexical livre;(Grober *et al.*, 2000)

² Também chamada de fluência verbal ortográfica

³ Também chamada de fluência Verbal de ações

Essas tarefas fornecem informações úteis acerca da memória semântica, da habilidade de acesso lexical, dos mecanismos de atenção e velocidade de processamento (Wajman *et al.*, 2019). As informações referentes às funções executivas ⁴- Dessa forma, planejamento, monitoração, mudança de estratégia e inibição de informações- são devidamente capturadas nas tarefas de fluência verbal. Ao imporem uma restrição de limite, essas tarefas também capturam diferenças associadas à lentificação cognitiva. Ao demandarem um acesso rápido de itens no estoque léxico-semântico, o desempenho eficiente nessas tarefas de busca está vinculado tanto em termos das representações léxicos- semânticas das palavras, como do processo executivo necessário para iniciar e organizar sua busca de modo eficiente (Henry; Crawford; Phillips, 2004). O risco da presença de perseverações (por exemplo, repetição de palavras repetidas), ou de erros, indica a extensão da necessidade de planejar, inibir e minitorar a produção da fala. (Steiner, 2013). A passagem de um agrupamento lexical para outro ⁵ indica flexibilidade cognitiva. Além disso, a restrição de tempo imposta captura diferenças associadas à lentificação cognitiva (Salthouse, 2003). É consenso na comunidade científica que as tarefas de fluência verbal (FV) são testes de produção que oferecem *insights* valiosos sobre a capacidade de retenção da memória semântica e a habilidade de recuperar informações armazenadas na memória (Mirandez, 2014). Esses testes são considerados de produção porque avaliam a capacidade de gerar um número adequado de palavras sob condições de busca restrita, o que está ligado à habilidade de manter um discurso fluente. No presente estudo, as condições de busca estão limitadas a categorias semânticas específicas (como animais e frutas) e a palavras que se iniciam por uma fonema específico (por exemplo, palavras que começam com a letra "f"). Em acordo com a noção de que fluência é uma tarefa que envolve múltiplos fatores, muitas pesquisas têm fornecido evidências de que o desempenho na fluência envolve várias regiões cerebrais. Estudos de lesões, como o conduzido por Milner (1964) por exemplo, têm indicado que a fluência pode ser prejudicada com lesões no lobo frontal. Nesse estudo, focaremos apenas nas tarefas de fluência semântica (FVS), em boa parte, comparando algumas de suas métricas com resultados obtidos por meio do teste de Avaliação Cognitiva MoCA. Por esse motivo, faz-se necessária uma breve explanação sobre o que significa o teste MoCA MIS.

2.2.3 O Teste de Avaliação Cognitiva de Montreal (MoCA) e o MoCA MIS

O teste de avaliação cognitiva de Montreal (*Montreal Cognitive Assessment*⁶ é, ao lado do teste de fluência verbal, um dos instrumentos de triagem breve (Tabela 1) que mensura uma variedade de funções cognitivas, incluindo funções executivas, habilidades visuoespaciais, nomeação, recuperação de memória, atenção (com teste de dígitos e repetição de sentenças), raciocínio abstrato e orientação (Julayanont; Nasreddine, 2017). O MoCA é amplamente

⁴ Funções executivas são descritas na literatura como processos mentais que gerenciam e coordenam outras atividades cognitivas, sendo essenciais para lidar com funções novas

⁵ Essa alternância de agrupamentos é conhecida na literatura científica como *switching*

⁶ Doravante *MoCA*)

Tabela 1 – Instrumentos de Rastreio Cognitivo validados para a população brasileira.
Fonte: (Teldeschi *et al.*, 2017)

Instrumento	O que avalia
Mini-Mental State Examination	Orientação temporal e espacial, memória de curto prazo, cálculo, linguagem, visuoconstrução e habilidades visuo-espaciais
Montreal Cognitive Assessment (MoCA)	Funções executivas, habilidades visuoespaciais, memória de curto prazo, atenção, memória operacional, linguagem e orientação
Teste do Desenho do Relógio	Habilidades visuoespaciais, visuoconstrução e funções executivas
Bateria Breve de Rastreio Cognitivo	Nomeação, memória incidental, memória imediata, aprendizado, resgate tardio e reconhecimento, fluência verbal, habilidades visuoespaciais, visuoconstrução e funções executivas
Mini-Cog	Memória de curto prazo, habilidades visuoespaciais, visuoconstrução e funções executivas
Exame Cognitivo de Addenbrooke-Revisado (ACE-R)	Orientação, atenção, memória, fluência verbal, linguagem e habilidades visuoespaciais
Cognitive Abilities Screening Instrument: Short Form (CASI-S)	Memória de curto prazo, orientação temporal e fluência verbal
Fluência Verbal	Linguagem e funções executivas

utilizado ao redor do mundo, tendo sido traduzido para dezenas de idiomas e dialetos. O teste e as instruções estão disponíveis gratuitamente no *site* oficial do MoCA em www.mocatest.org.

O *Montreal Cognitive Assessment - Memory Index Score* (doravante **MoCA MIS**) é uma pontuação derivada do teste MoCA, que tem foco específico na avaliação da memória. Pode-se dizer que, enquanto o *MoCA*, no geral, é uma ferramenta utilizada para detectar CCL, o *MIS* se concentra em mensurar a performance relacionada à memória, um dos principais domínios avaliados no teste.

O *MoCA MIS* é composto por três fases:

1. **Codificação:** O paciente é solicitado a memorizar uma lista de palavras.
2. **Evocação livre:** O paciente tenta se lembrar das palavras memorizadas, sem pistas.
3. **Evocação com pistas:** Caso o paciente tenha dificuldade, são fornecidas dicas semânticas (categorias) para ajudar na recordação.

Desta forma, pode-se dizer que o **MIS** é uma métrica útil para avaliar a função da memória, um aspecto central para o diagnóstico de CCL e doenças como a Doença de Alzheimer. Ao focar na capacidade de recordar palavras, tanto espontaneamente quanto com ajuda, o MoCA MIS proporciona uma visão detalhada da memória episódica e da eficiência dos processos de recuperação de informações.

2.2.4 Fluência Verbal, Estruturas Neurais e Processos Cognitivos Subjacentes

Vários estudos evidenciam que as tarefas de fluência envolvem múltiplas regiões do cérebro. Estudos de lesões cerebrais indicam que o desempenho em testes de fluência verbal é bastante comprometido em lesões no lobo frontal (Crowe, 1992; Pendleton *et al.*, 1982) ou com lesões no lobo temporal (Corcoran; Upton, 1993; Perret, 1974). Há também evidências de que tarefas de fluência fonêmica são mais sensíveis a lesões frontais (Coslett *et al.*, 1991; Milner, 1964) enquanto as de fluência semântica são mais sensíveis a lesões temporais (Troyer; Moscovitch; Winocur, 1997). Estudos baseados em imagens de ressonância magnética funcional e também em tomografia por emissão de pósitron mostram que, quando comparadas ao estado de repouso, o desempenho em tarefas de fluência fonêmica está associada com a ativação do bilateral do lobo frontal e do lobo temporal (Cuenod *et al.*, 1995; Parks *et al.*, 1988).

2.2.5 FVS e FVF no envelhecimento típico em CCL e em DA

Em tarefas de FVS, os idosos produzem um número menor de palavras do que os jovens (Kavé; Knafo-Noam, 2015), já em relação às tarefas de FVF, os resultados são conflitantes (Steiner, 2013), alguns indicando para ausência de alterações e outros evidenciando para um declínio que, embora significativo, é muito menor do que o observado nas tarefas de FVS (Brickman *et al.*, 2005; Lanting; Haugrud; Crossley, 2009). As diferenças em desempenho de tarefas de fluência verbal entre indivíduos saudáveis e sujeitos com DA, há uma vasta literatura que mostram diferenças tanto nas provas de FVS quanto nas provas de FVF, com muito maior efeito para a primeira (Steiner, 2013). Uma vasta literatura evidencia que as provas de FVS são úteis em diagnósticos clínicos, mesmo nas fases iniciais da DA (Caccappolo *et al.*, 2011; Canning *et al.*, 2004). Taler e Phillips (2008) apresentam vários estudos que mostram que a FVS diferencia sujeitos em processo de envelhecimento normal daqueles que apresentam quadros de CCL. As pesquisas também mostram que a FVS também é capaz de discriminar sujeitos com CCL daqueles com DA. Essa diferenciação não ocorre em relação à FVF (Steiner, 2013). Sob uma perspectiva longitudinal, Taler e Phillips (2008) apontam, em 9 estudos, alterações de linguagem presentes até 9 anos antes do início do processo de demência em tarefas de FVS. Em consonância com tais dados Oulhaj *et al.* (2009) demonstram que uma baixa *performance* em tarefas de FVS está associada a um tempo notavelmente menor de conversão da cognição de um indivíduo saudável para a CCL. De acordo com Clark *et al.* (2012), o desempenho nas tarefas de

FVS se mostram melhores preditores da conversão CCL- DA , do que desempenhos em provas de FVF.

2.2.6 *Clustering e swtching*

Originalmente, para a avaliação do desempenho dos indivíduos nas tarefas de FV eram empregadas análises qualitativas de tipos de erros. Frequentemente, uma pontuação é atribuída a partir do total de palavras corretas emitidas dentro de um tempo fixo determinado (Strauss et al 2006). Tais resultados carregam pouca informação acerca de quais processos cognitivos estão implicados no desempenho da fluência, não respondendo à questão de porquê um grupo particular de sujeitos não apresentam um desempenho satisfatório na tarefa (Troyer; Moscovitch; Winocur, 1997). Isso pode ser entendido se recorrermos às teorias que tratam de como o lexico pode ser acessado (Dell *et al.*, 1997; Levelt; Roelofs; Meyer, 1999). Tais teorias propõem que a produção de vocábulos deriva de um intrincado processo no qual está envolvida a ativação de três níveis de representação:

1. Sistema de conceituação semântica
2. Conceituação lexical
3. Nível do fonema

Como ilustrado na figura 2, os diferentes níveis operam de forma coordenada para transformar um conceito em uma sequência de sons fonéticos, através da mediação de formas lexicais. Percebe-se , portanto, que alterações em qualquer um desses níveis podem influenciar o desempenho nas tarefas de FV. Por esse motivo , abordagens baseadas em uma pontuação geral nas tarefas de FVF e FVS não oferece informações específicas sobre quais desses níveis estão afetando o desempenho (Beckenkamp, 2016). Troyer, Moscovitch e Winocur (1997) conceberam um método de análise quali-quantitativa baseada em exames de *clustering* e *switching*. Aquelas envolvem a análise fonêmica (nas tarefas de FVF) e semânticas (nas tarefas de FVS). Ambas as tarefas são relativamente automáticas e se relacionam à memória semântica. Já a componente *switching* se relaciona com a flexibilidade cognitiva para trocar de uma categoria a outra (Becker, 2015). Em seu estudo normativo, (Troyer, 2000) demonstrou que , à medida em que a idade avança, espera-se um decréscimo no número de palavras geradas, um maior tamanho dos clusteres e menor número de *switches*. Nesse estudo, aplicam-se técnicas de inteligência artificial para analisar *clustering* e *switching* em tarefas de FVS. No contexto desta pesquisa, foi realizada uma abrangente revisão da literatura visando a identificar estudos realizados em Português do Brasil relacionados à aplicação de técnicas de AI para automatizar ou monitorar quadros de DA e CCL. Alguns desses trabalhos são apresentados em nossa revisão bibliográfica.

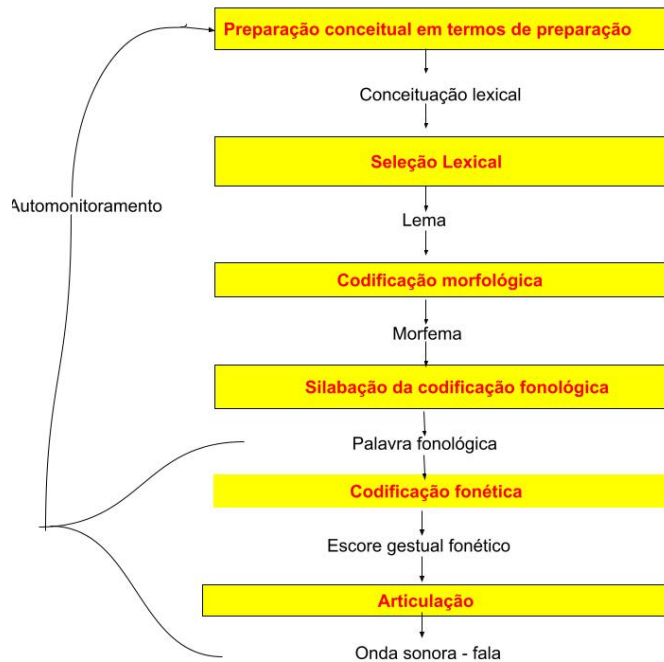


Figura 2 – Modelo de acesso ao léxico, adaptado de Levelt, Roelofs e Meyer (1999)

2.3 Métricas

Tendo-se em vista que as categorias de animais propostas originalmente foram pensadas para o contexto canadense (Troyer; Moscovitch; Winocur, 1997; Troyer, 2000), para esse trabalho nos utilizamos da adaptação de Becker (2015) para o cenário brasileiro (ver Tabela 2). As métricas, conforme Troyer, Moscovitch e Winocur (1997), obedecem às seguintes regras:

Número de clusters Gerado a partir do total de *clusters* de cada participante. *Clusters* são grupos de palavras que pertencem a uma mesma subcategoria semântica. São necessárias, no mínimo, duas palavras geradas sucessivamente pertencentes a uma mesma categoria para que se tenha um *cluster*. Dessa forma, palavras em contexto isolado não contam como *clusters*;

Média do tamanho dos *clusters* Obtida a partir da soma das palavras de um *cluster* a partir da segunda palavra produzida, dividido pelo número total de *clusters* gerados;

Número de *switches* Calculado a partir da totalização do número de trocas entre *clusters*. Aqui estão incluídas também as trocas entre palavras isoladas⁷. Erros e repetições são considerados nos cálculos destes escores na medida em que oferecem informações valiosas acerca dos processos cognitivos utilizados pelo sujeito, de acordo com Troyer, Moscovitch e Winocur (1997).

⁷ Note-se que vocábulos isolados não são contados nas duas pontuações anteriores

Número de palavras corretamente evocadas Gerado a partir da soma das palavras evocadas durante o período estabelecido. Nessa métrica, erros e repetições são excluídos. Consideram-se erros os derivados morfológicos de um mesmo vocábulo, como, por exemplo, as variações de gênero, variação de número sem representar coletivos e variações de grau.

Tabela 2 – Critério para *Clustering*. Fonte: (Becker, 2015)

Critério Semântico	Descrição	Exemplos
Animais selvagens	Animais que vivem preferencialmente em ambiente livre, podendo ser terrestre ou aquático.	Alce, anta, babuíno, bicho preguiça, búfalo, camelo, camaleão, canguru, castor, chita, chimpanzé, cobra, coelho, coiote, crocodilo, dinossauro, elefante, ema, esquilo, foca, furão, gambá, girafa, gorila, hipopótamo, hiena, jacaré, jaritaca, jiboia, leopardo, leão, lêmure, lince, lobo, macaco, ornitorrinco, porco -espinho, peixe-boi, pinguim, puma, pantera, raposa, rinoceronte, serpente, tamanduá, tigre, urso, urso polar, veado, zebra.
Animais aquáticos	Animais que vivem em meio aquático, podendo ser marinho ou não.	Baleia, camarão, caranguejo, foca, golfinho, lagosta, leão-marinho, lobo-do-mar, lontra, lula, ostra, ouriço, peixe, peixe-boi, peixe-espada, pinguim, polvo, salamandra, salmão, sapo, tartaruga, truta, tubarão.
Animais de criação	Animais utilizados pelo homem para algum tipo de sustento, geralmente encontrados em ambiente rural, como fazendas.	Boi, bode, burro, búfalo, cabra, cabrito, camelo, carneiro, cavalo, coelho, galinha, galo, javali, jegue, lhama, mula, ovelha, pato, peru, porco, touro, vaca
Animais de ambiente doméstico	Animais encontrados em ambiente doméstico. Incluem-se animais de estimação ou que se encontram no jardim de casa	Aranha, cachorro, cágado, calopsita, canário, caracol, coelho, formiga, gato, hamster, jabuti, lagartixa, lagarto, lesma, minhoca, mosca, papagaio, perereca, periquito, porquinho da índia, pulga, rã, ratazana, rato, tartaruga, tatu-bola.
Aves	Animais que pertençam à classe zoológica das aves.	Águia, arara, ave, avestruz, bem-te-vi, canário, condor, falcão, ganso, garça, marreco, papagaio, pássaro, pato, pavão, pelicano, periquito, peru, pica-pau, pinguim, pinto, quero-quero, tentilhão, tucano, urubu.
Insetos	Animais que pertençam à classe dos insetos	Abelha, barata, besouro, borboleta, joaninha, louva-deus, marimbondo, mosca, mosquito

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E LITERATURA RELACIONADA

3.1 Métodos Manuais de Avaliação

O desempenho de fluência semântica tem sido tradicionalmente relatado e continua a ser medido, principalmente usando o número total de vocábulos corretamente evocados por um participante dentro de uma categoria semântica específica (por exemplo, animais). Já mencionamos que, para complementar a contagem de palavras, Troyer, Moscovitch e Winocur (1997) sugeriram usar a formação de grupos (*clustering*) e a alternância (*switching*) como sondas mais refinadas de disfunção cognitiva. A formação de grupos e a alternância baseiam-se na observação de que os participantes que realizam fluência semântica tendem a produzir cadeias de palavras que são agrupadas em subcategorias semânticas (*clusterse* mudanças de uma subcategoria para outra (essas alternâncias, são chamadas de *switchings* (Abwender *et al.*, 2001). Este tipo de análise tem sido amplamente utilizado na literatura (Koren; Kofman; Berger, 2005; Troyer *et al.*, 1998; Murphy; Rich; Troyer, 2006; Haugrud; Lanting; Crossley, 2010). As métricas de *clustering* e *switching* têm-se mostrado eficientes na distinção de grupos de sujeitos com DA Alzheimer e doença de Parkinson de seus respectivos grupos de controle, enquanto simples contagens de palavras não o fazem (Troyer *et al.*, 1998). Os dados normativos apresentados por Troyer (2000) demonstram que essas medidas também são sensíveis ao declínio cognitivo causado pelo envelhecimento saudável, diferenciando entre grupos de adultos saudáveis mais jovens e mais velhos. Especificamente, os adultos mais velhos produzem menos alternâncias do que os mais jovens, mas o comprimento médio dos clusters produzidos é comparativamente pouco afetado pela idade. Um protocolo detalhado de anotação para determinar *clustering* e *switching* em sequências de nomes de animais foi descrito em Troyer, Moscovitch e Winocur (1997). O protocolo lista um conjunto fixo de clusters possíveis com base em várias categorias, como taxonomia ou ambiente de vida (por exemplo, Ambiente de Vida – África: rinoceronte, tigre, zebra.../Austrália: emu, canguru, kiwi..., Categorias Zoológicas – Pássaro: periquito, condor, águia.../Felino: lince, gato, guepardo... etc.).

Embora este protocolo tenha sido validado e tenha demonstrado ter uma boa confiabilidade entre avaliadores para o inglês americano, estendê-lo para diferentes idiomas e culturas não é direto. Novas categorias relevantes para a cultura específica (por exemplo, animais do Zodíaco Chinês) precisam ser introduzidas e definidas, e os clusters existentes devem ser alterados ou ampliados levando em consideração fatores culturais, regionais e linguísticos. Dependendo da extensão das mudanças, o protocolo resultante pode precisar ser validado novamente. Embora este protocolo tenha sido validado e demonstrado ter uma

boa confiabilidade entre avaliadores para o inglês americano, sua extensão para diferentes idiomas e culturas não é direta. Novas categorias relevantes para a cultura específica (por exemplo, animais do Zodíaco Chinês) precisam ser introduzidas e definidas, e os clusters existentes devem ser alterados ou ampliados levando em consideração fatores culturais, regionais e linguísticos. Dependendo da extensão das mudanças, o protocolo resultante pode precisar ser validado novamente. Vários protocolos alternativos para determinar clusters e subgrupos foram propostos. Por exemplo, Abwender *et al.* (2001) sugeriram decompor a alternância em subtipos dependendo se uma transição ocorre entre itens agrupados ou itens não agrupados (palavras únicas), alegando que esses diferentes subtipos de alternância poderiam acessar diferentes processos cognitivos. March e Pattison (2006) relataram que as contagens de subcategorias foram mais informativas do que as métricas originais de agrupamento e alternância na distinção entre indivíduos com Doença de Alzheimer e controles mais velhos. Há trabalhos que não consideram a noção de subcategorias, em que os autores desenvolveram um framework que se concentra no tempo necessário para acessar a i -ésima palavra p_i em uma sequência de n palavras. O tempo de resposta t_i é definido como o tempo entre o final da palavra w_{i-1} e o início da palavra w_i , incluindo quaisquer hesitações, comentários verbais e outras vocalizações, como risadas. Os tempos de resposta de cada falante são usados para criar um modelo linear (Rohrer *et al.*, 1995; Mayr; Kliegl, 2000) apresentado na Equação 1.

$$t_n = c + s \times m \tag{1}$$

Neste modelo, c é uma constante de recuperação lexical e s modela aumentos graduais no tempo de recuperação. McDowd *et al.* (2011) mostraram que esses tempos de resposta dos itens são sensíveis ao envelhecimento cognitivo e ao comprometimento cognitivo.

3.1.1 Método Automático de Análise

As análises manuais têm várias desvantagens:

- São demoradas para se adaptar a novos idiomas, culturas e domínios de tarefas (por exemplo, itens de supermercado, utensílios de cozinha), pois isso requer uma revisão e potencial revalidação dos protocolos de anotação.
- São demoradas para conduzir e exigem anotadores bem treinados.
- Tomar decisões sobre palavras e clusters que não estão incluídos nos manuais de anotação existentes pode introduzir inconsistências e imprecisões, especialmente quando clínicos e pesquisadores estão trabalhando por conta própria.

Os métodos de análise automática podem lidar com a maioria desses problemas:

- Se fornecido um conjunto de dados grande o suficiente para um novo idioma, cultura e domínio de tarefas, é necessário apenas reentrenar os modelos estatísticos que sustentam o algoritmo de análise automática.
- Os anotadores humanos não precisam ser treinados; uma vez que os modelos estatísticos foram construídos, a análise é quase imediata, dado uma sequência transcrita de palavras.
- Palavras que não são cobertas pelos manuais de anotação existentes são tratadas de forma consistente, enquanto os clusters que podem ser detectados são apenas limitados pelo tamanho e conteúdo dos materiais de treinamento subjacentes. Existem três principais abordagens para a análise automática de dados de fluência semântica. Na primeira abordagem, novas métricas de similaridade semântica entre duas palavras adjacentes são derivadas de corpora de documentos, bases de dados curadas ou conjuntos de dados de respostas a tarefas de fluência semântica e outras tarefas de associação de palavras. Estas são então usadas para caracterizar o desempenho de um participante em uma tarefa de fluência semântica. Por exemplo, Pakhomov, Hemmy e Lim (2012) apresentam uma série de medidas que são baseadas no WordNet, uma taxonomia grande e manualmente curada de palavras e conceitos, e que podem diferenciar entre envelhecimento saudável e comprometimento cognitivo. A Análise Semântica Latente tem sido usada para extrair métricas relevantes de similaridade de palavras de documentos. Pakhomov e Hemmy (2014), Nicodemus *et al.* (2014) e Pakhomov, Eberly e Knopman (2016) usam estatísticas de coocorrência de palavras derivadas de respostas a tarefas de fluência semântica e testes de associação de palavras. Na segunda abordagem, os dados de fluência semântica são usados para construir modelos da memória semântica de diferentes populações (por exemplo, esquizofrenia/controle saudável ou demência/controle saudável). Esses estudos utilizam a redução de dados e o agrupamento para agregar dados sobre palavras comumente co-ocorrentes tanto em dados de fluência de categoria quanto em outros dados linguísticos (Chan *et al.*, 1993; Prescott *et al.*, 2006; Sumiyoshi *et al.*, 2009; Voorspoels *et al.*, 2014). A terceira abordagem tenta replicar os resultados das análises manuais usando um algoritmo baseado em medidas automáticas de similaridade de palavras. Em contraste com a primeira abordagem, que essencialmente propõe um novo conjunto de métricas, a replicação de esquemas manuais existentes facilita a relação dos achados das análises automatizadas com a literatura substancial que utiliza classificações manuais. Uma automação básica de um procedimento de pontuação existente tem sido utilizada por Haugrud, Crossley e Vrbancic (2011), Clark *et al.* (2014) e Clark *et al.* (2016), com o objetivo de replicar exatamente o protocolo estabelecido para calcular os resultados de forma mais eficiente e consistente. Linz *et al.* (2017) utilizam medidas de similaridade de palavras derivadas de um corpus muito grande de páginas da web (Baroni *et al.*, 2009). Em um artigo recente Kim *et al.* (2019), propôs uma solução inovadora que combina informações sobre o relacionamento entre

diferentes conceitos (através do modelo *Backlink*) com informações sobre a similaridade semântica de duas palavras (através do modelo de espaço vetorial), mantendo uma conexão com a literatura ao usar padrões de *clustering* e *switching* como as principais métricas de avaliação, obtendo um resultado promissor.

3.2 Word2Vec e BERT - Modelos de Representação de Palavras e Contexto no Processamento de Linguagem Natural

3.2.1 Word2Vec

Processamento de Linguagem Natural (PLN)¹, é uma subárea da Inteligência Artificial cujo objetivo é, por assim dizer, prover inteligência acerca da linguagem natural humana ao computador. Em muitas aplicações de PLN, as palavras são representadas como codificação one-hot, que não capturam a relação entre elas, pois, conforme pontua Mikolov *et al.* (2013), a razão para escolher a codificação one-hot se deve à "simplicidade, robustez e observação de que modelos simples treinados em grandes quantidades de dados superam sistemas complexos treinados em menos dados." Um exemplo de modelo simples poderia ser o modelo N-grama. Esses modelos são modelos de Markov com a suposição de que a palavra na posição i depende do histórico de palavras desde $i-(n-1)$ palavras até a palavra $(i-1)$. É basicamente uma abordagem baseada em frequência derivada do corpus de treinamento. No entanto, esses modelos simples exigem alta qualidade dos dados de treinamento, que muitas vezes não estão disponíveis, e eles não generalizam bem para dados não vistos.

No entanto, com a melhoria no domínio do aprendizado de máquina, algoritmos complexos treinados em conjuntos de dados muito maiores se saem melhor do que os modelos mais simples.

O modelo Word2vec captura tanto similaridades sintáticas quanto semânticas entre as palavras. O Word2Vec (Mikolov *et al.*, 2013) é um método estatístico fundamentado em redes neurais artificiais que se apresenta como uma solução para a apreensão das relações semânticas entre palavras. Nesta abordagem, cada palavra é convertida em um vetor numérico, o que torna possível que elas possam servir de entrada para qualquer modelo de aprendizado de máquina.

3.2.1.1 Definições, Modelos e Arquiteturas

A representação vetorial de palavras é uma noção fundamental em Processamento de Linguagem Natural (NLP), pois permite que palavras sejam convertidas em vetores numéricos, o que facilita o cálculo de similaridade e outras operações matemáticas necessárias para várias tarefas de NLP. A maneira mais simples de representar palavras em forma

¹ Embora seja uma designação consagrada pelo uso, o nome Processamento de Língua Natural é mais rigoroso do ponto de vista da teoria linguística

de vetores é através de vetores one-hot. Cada palavra do vocabulário é representada por um vetor de dimensões $|V| \times 1$, onde $|V|$ é o tamanho do vocabulário. Nesse vetor, todas as posições têm valor zero, exceto a posição correspondente à palavra em questão, que tem valor 1. Um vocabulário V contendo animais $V = (\text{cachorro}, \text{cobra}, \text{lesma}, \text{coelho})$, as representações one-hot seriam as seguintes: - cachorro: $[1, 0, 0, 0]$ - cobra: $[0, 1, 0, 0]$ - lesma: $[0, 0, 1, 0]$ - coelho: $[0, 0, 0, 1]$

Essa abordagem, apesar de simples e fácil de implementar, possui algumas limitações significativas. Primeiramente, a dimensionalidade dos vetores cresce linearmente com o tamanho do vocabulário, o que pode resultar em vetores extremamente esparsos e de alta dimensão. Além disso, vetores one-hot não capturam nenhuma informação semântica sobre as palavras. Palavras com significados semelhantes não terão vetores similares, o que limita a eficácia em tarefas que dependem de compreensão semântica. Para superar essas limitações, foram desenvolvidas técnicas mais avançadas de representação vetorial de palavras, como Word2Vec. Essas técnicas mapeiam palavras em espaços vetoriais de menor dimensão e capturam relações semânticas entre elas. Por exemplo, em embeddings como Word2Vec, palavras que ocorrem em contextos similares tendem a ter vetores próximos no espaço vetorial, o que permite cálculos de similaridade mais precisos e eficientes. Portanto, enquanto a representação one-hot serve como uma introdução básica à vetorização de palavras, técnicas de embeddings mais sofisticadas são essenciais para alcançar um desempenho superior em tarefas de NLP. O principal objetivo do Word2Vec é, portanto, transformar palavras em vetores densos de baixa dimensão que capturam características semânticas das palavras. Esses vetores são gerados de tal forma que palavras com significados semelhantes fiquem próximas no espaço vetorial, atendendo à hipótese de similaridade distributiva ².

3.2.1.2 Modelos Word2Vec

Existem duas principais arquiteturas do Word2Vec: Continuous Bag of Words (CBOW) e Skip-gram (figura 3).

O modelo CBOW prediz a palavra central a partir de um conjunto de palavras de contexto. O modelo Skip-gram faz o contrário: ele tenta prever as palavras de contexto a partir de uma palavra central. Ambas as abordagens utilizam redes neurais para aprender as representações vetoriais. O Word2Vec apresenta duas grandes vantagens sobre o Bag-of-Words. A primeira é que, ao contrário do modelo Bag-of-Words (BoW), que cria vetores esparsos de alta dimensão que simplesmente contam a frequência de palavras em um texto,

² A hipótese de similaridade distributiva sugere que palavras que ocorrem em contextos semelhantes têm significados semelhantes. Essa hipótese foi inicialmente proposta por linguistas e é a base para muitas técnicas de processamento de linguagem natural

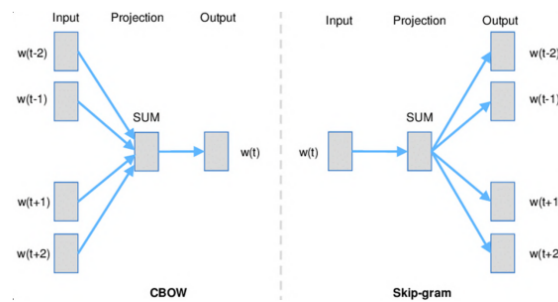


Figura 3 – Representação simplificada do CBOW e do SG .Fonte: (Mikolov *et al.*, 2013)

o Word2Vec cria vetores densos de baixa dimensão que são mais eficientes em capturar relações semânticas e sintáticas entre palavras. A segunda é que as representações do Word2Vec são mais eficientes em termos de armazenamento e permitem cálculos mais rápidos, como a semelhança entre palavras. A capacidade do Word2Vec de capturar nuances e similaridades semânticas das palavras pode ser sintetizada em um clássico exemplo , ilustrado nas figuras 3 e 4. Na figura 3 , mostramos , em roxo, o vetor resultante da relação (rei - homem + mulher). Conforme- se ilustra na figura 4, o vetor resultante corresponde ao embeddings de "rainha".

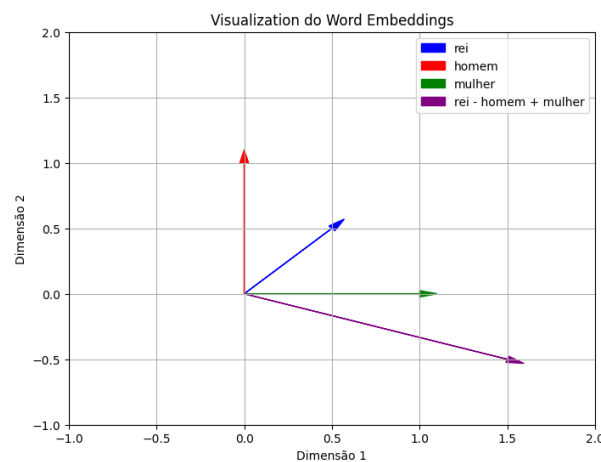


Figura 4 – O vetor em roxo é o resultado da relação entre os embeddings de 'rei - homem + mulher'.Fonte: o autor

3.2.2 BERT - Representações Bidirecionais e Modelagem de Contexto

O BERT (*Bidirectional Encoder Representations from Transformers*), representou uma inovação no campo do Processamento de Linguagem Natural (PLN) ao basear-se na arquitetura de Transformers . O modelo não apenas aproveita o conceito dos *Transformers* mas expande para resolver desafios que os modelos anteriores não até então não conseguiam superar (Kenton; Toutanova, 2019). Para entender o BERT em sua totalidade, é crucial primeiro compreender a arquitetura dos *Transformers* , sobre o qual o BERT é construído.

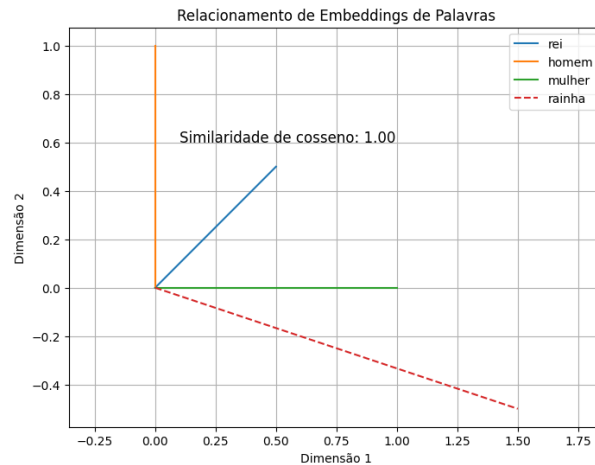


Figura 5 – O embedding da palavra rainha. Fonte: o autor

3.2.2.1 A Arquitetura dos *Transformers*

Projetado originalmente para lidar com tarefas de PLN, o *transformer* é uma arquitetura de rede neural que lida com dados sequenciais de forma paralela, utilizando o mecanismo de autoatenção para capturar relações entre palavras ao longo da sequência. A arquitetura dos Transformers (Vaswani *et al.*, 2017), revolucionou o modo pelo qual os modelos de PLN lidam com sequências de texto, superando as limitações dos modelos anteriores, como as redes neurais recorrentes (*RNN*) e convolucionais (*CNN*) que processavam palavras em sequência, ou seja, palavra por palavra. Isso gerava limitações significativas, especialmente ao lidar com frases longas ou ao tentar capturar dependências de longo alcance. Os *Transformers* inovaram ao utilizar o mecanismo de autoatenção, introduzido por Vaswani *et al.* (2017), que se inspira no conceito de atenção neural proposto anteriormente por Bahdanau (2014). A ideia por trás desse mecanismo é inspirada na forma como os seres humanos, ao processarem grandes quantidades de informação, tendem a agir seletivamente, focando em partes mais relevantes para a tarefa em questão. O mecanismo de autoatenção atribui diferentes pesos a cada palavra, dependendo de sua relevância no contexto da frase. Esse processo tornou o modelo capaz de capturar dependências de longo alcance de forma muito mais eficiente do que seus antecessores.

3.2.2.2 O BERT e a bidirecionalidade

O BERT vai além dos Transformers ao aplicar o conceito de **compreensão bidirecional**. Embora o *Transforme* tenha introduzido o conceito de autoatenção, nesse modelo o texto era processado em uma direção: da esquerda para a direita ou da direita para a esquerda. Isso significa que, mesmo com o avanço da autoatenção, o contexto completo de uma palavra só era entendido parcialmente. A partir da introdução do modelo BERT, cada palavra pôde ser analisada em seu contexto completo, tanto pelas palavras que a antecedem quanto pelas palavras que a seguem. Com isso, o modelo BERT é capaz de

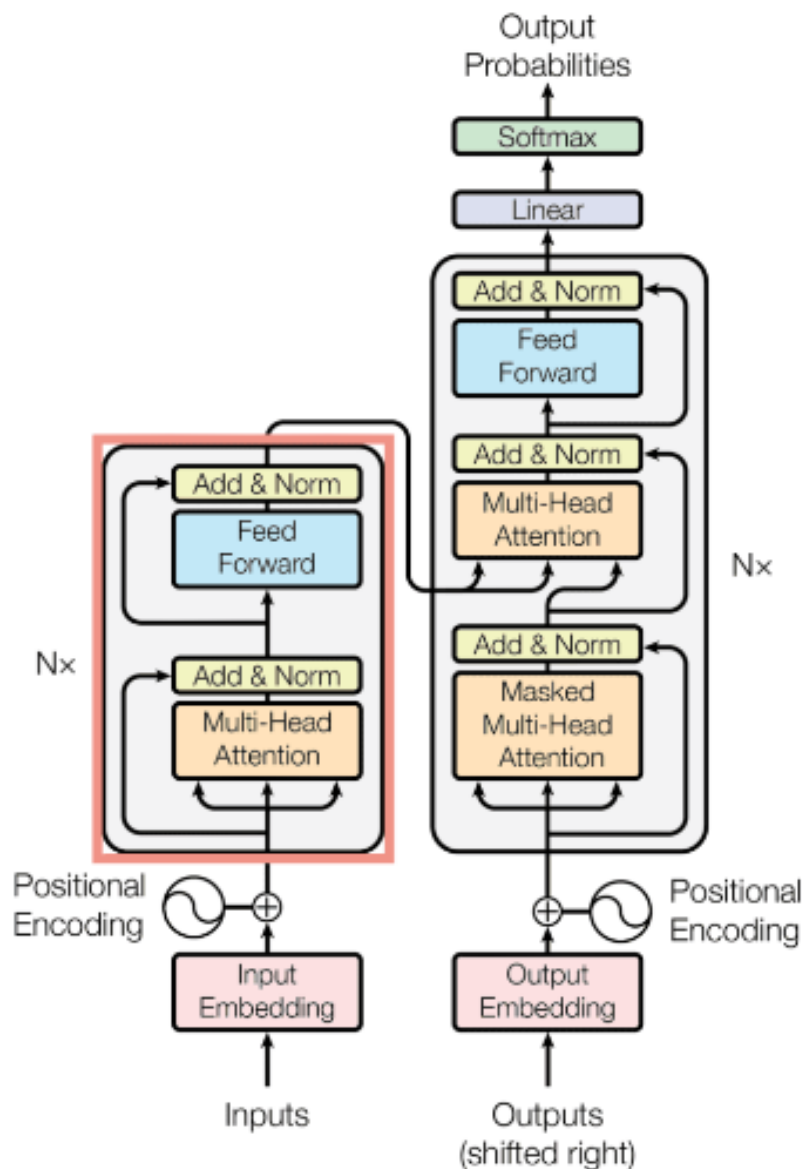


Figura 6 – Diagrama da arquitetura Transformer destacando o mecanismo de autoatenção. Adaptado de (Vaswani *et al.*, 2017)

capturar as ambiguidades e as relações mais complexas entre as palavras, compreendendo o texto de maneira muito mais profunda. Isso é realizado durante o pre-treinamento do modelo por meio do mecanismo **Masked Language Modeling** (MLM), inspirado na tarefa *cloze* proposta por Taylor (1953). No MLM, 15% dos *tokens* de cada sequência de entrada são selecionados para serem substituídos por um *token* especial [MASK]. O Objetivo dessa tarefa é prever os *tokens* mascarados utilizando o contexto fornecido pelos *tokens* adjacentes. Com isso, espera-se que o modelo aprenda a utilizar eficientemente as informações contextuais ao redor do [MASK] para realizar previsões precisas.

Outra tarefa realizada durante o pré-treinamento do BERT é conhecida como **Next**

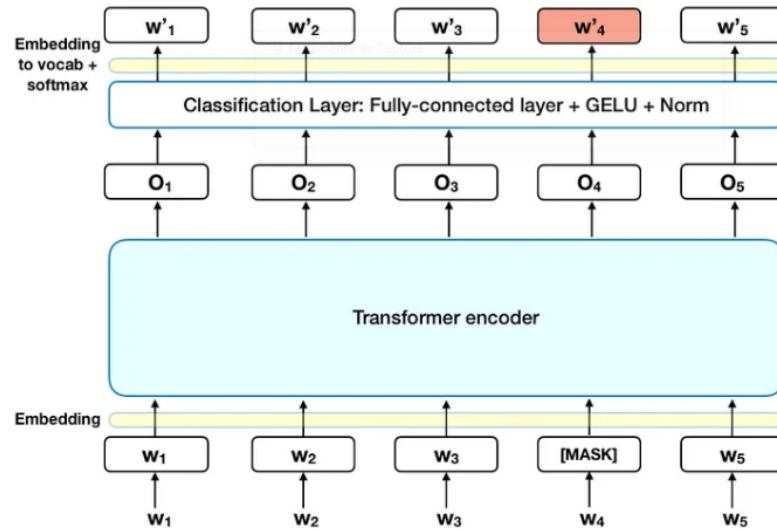


Figura 7 – BERT - Masked Language Modeling. Fonte: Adaptado de Devlin *et al.* (2019).

Sentence Prediction(*NSP*). Essa tarefa tem como objetivo modelar a relação entre duas sentenças, treinando o BERT para prever se uma segunda sentença segue logicamente a primeira em uma sequência de texto. O *NSP* é especialmente útil para melhorar o desempenho do modelo em tarefas que envolvem a compreensão de relações interfrásicas, como perguntas e respostas ou inferências textuais. Após o pré-treinamento, o BERT pode ser ajustado para tarefas específicas de PLN. Esse ajuste fino envolve a adaptação do modelo a um novo conjunto rotulado de dados. Diferentemente dos modelos anteriores, os quais precisam ser treinados a partir do início para cada nova tarefa, no BERT, apenas algumas camadas superiores são re-treinadas, enquanto as camadas inferiores mantêm as representações contextuais aprendidas no pré-treinamento.

3.2.3 Teoria dos Grafos e Grafos Temporais

3.2.3.1 Definições e Propriedades

Um grafo é uma estrutura matemática que consiste em um conjunto de objetos, chamados **vértices**, e um conjunto de conexões, chamadas **arestas**, que ligam pares de vértices. Os grafos podem ser **direcionados** ou **não direcionados**. No caso dos grafos direcionados, as arestas conectam dois vértices em uma dada direção, onde um vértice é a fonte e o outro o destinatário (Figura 8)

Em contraste, em um grafo não direcionado, as arestas não possuem direção. Isso significa que a aresta entre dois vértices pode ser percorrida em qualquer direção, e a ordem dos vértices conectados não importa (Figura 9).

Os grafos mostrados até aqui são **não ponderados**, mas eles também podem ser **ponderados**, como exemplificado na Figura 10. Em grafos ponderados, cada aresta é acompanhada

Exemplo de Grafo Direcionado

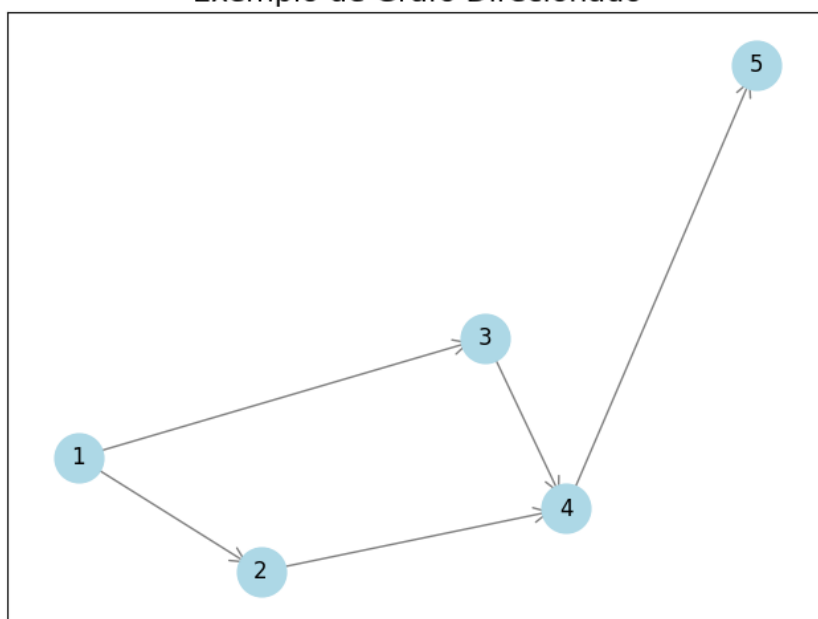


Figura 8 – Grafo direcionado.

Fonte: o autor.

Exemplo de Grafo Não Direcionado

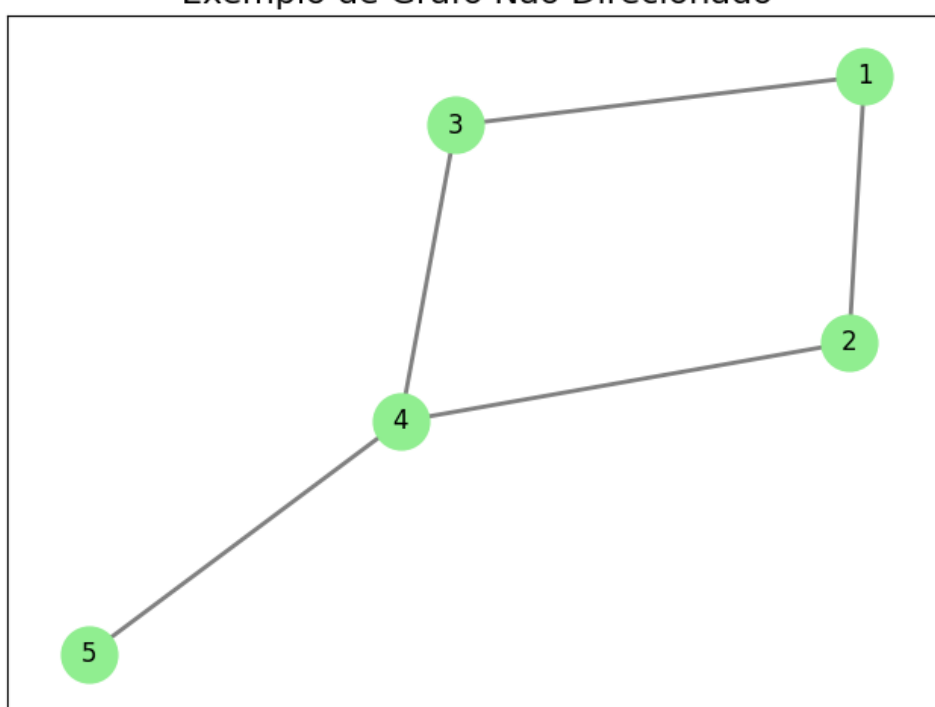


Figura 9 – Grafo não direcionado.

Fonte: o autor.

de um peso ou custo associado.

Chamamos grau de um vértice como o número de arestas incidentes. No caso de grafos

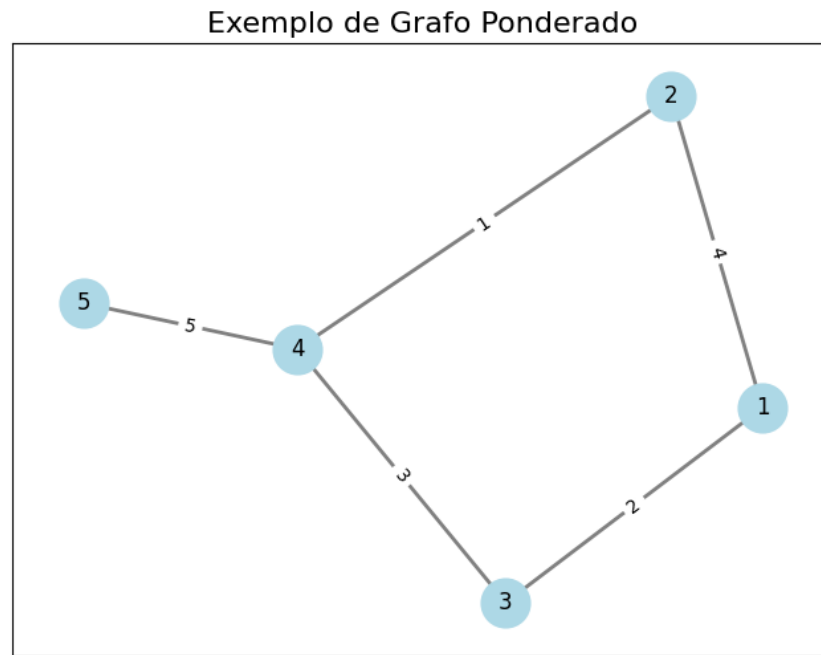


Figura 10 – Grafo ponderado.

Fonte: o autor.

não direcionados, o grau do vértice é o número de arestas a ele conectadas. Se um nó é conectado a ele mesmo (chamado de **loop** ou **self-loop**), é adicionado o valor 2 ao grau.

As três mais importantes medidas em grafos são:

Centralidade quantifica a importância de um vértice numa dada rede. As principais medidas de centralidade são:

- (a) **Grau de centralidade:** É uma das mais simples medidas de centralidade. É simplesmente definida como o grau do vértice. Um alto grau de centralidade indica que o vértice é altamente conectado a outros vértices no grafo, influenciando significativamente a rede.
- (b) **Centralidade de proximidade:** Mede o quão próximo um vértice está dos demais no grafo. Corresponde ao comprimento médio do menor caminho entre o vértice-alvo e os demais vértices. Um vértice com alta centralidade de proximidade pode rapidamente alcançar os outros vértices no grafo.
- (c) **Centralidade de intermediação:** Quantifica o número de vezes que um vértice se encontra no menor caminho entre outros nós no grafo. Um nó com alto grau de centralidade de intermediação atua como uma ponte entre diferentes partes do grafo.

Em termos de representação e organização de dados , uma rede é uma forma relacional

adicional de organização e representação de dados discretos. A outra forma de organização é a tabular ,com dados organizados em linhas e colunas, como a tabela 2. Essa forma de representação se destaca quando lidamos com atributos de entidades independentes. Enquanto a forma de rede é superior na captura de relações entre entidades interconectadas. Na figura 9, os dados da tabela 1 estão representados em forma de rede.

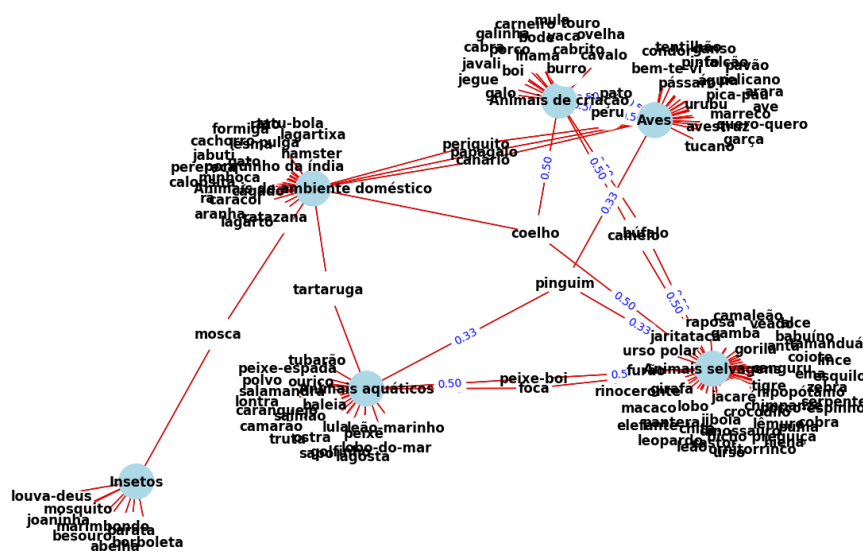


Figura 11 – Representando os dados da Tabela 1 por meio de redes. Fonte: o autor.

Note que os vértices da rede são animais e categorias a que eles pertencem. Os vértices que representam as categorias estão representadas em azul claro. Esses vértices representam grupos de animais que compartilham uma característica comum. O vértice de animais representam espécies de animais, normalmente pertencente a uma categoria. Mas é possível e talvez esta seja uma limitação da proposta- é possível uma espécie pertencer a múltiplas categorias . Por exemplo, o "pinguim"pertence tanto à categoria "Aves"quanto a "Animais aquáticos"e "Animais Selvagens"e as arestas entre eles representam as relações ou interações entre essas entidades. Assim , as arestas entre eles representam as relações ou interações entre essas entidades. As arestas indicam o pertencimento de um animal a uma determinada categoria. Quando o animal compartilha de características diferentes grupos - possuindo , portanto , um maior grau de intermediação - ele terá múltiplas arestas . Trata- se de um exemplo de gráfico ponderado em que , um animal que pertença a duas categorias , como o "coelho", terá duas arestas com **peso** 0.5 , respectivamente. É interessante notar que o próprio léxico pode ser visto como uma rede complexa em que as arestas indicam as co-ocorrências (Ver apêndice).

3.2.3.2 Grafos Temporais

Grafos temporais são uma extensão dos grafos tradicionais, onde as interações entre os vértices mudam ao longo do tempo. Em vez de modelar apenas relações estáticas, grafos temporais capturam dinâmicas temporais, representando como as interações entre os vértices ocorrem, evoluem ou desaparecem com o passar do tempo.

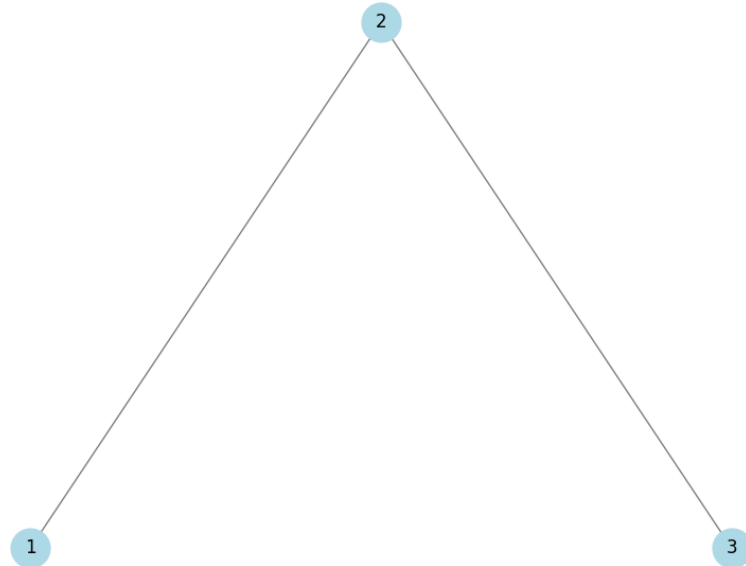


Figura 12 – Exemplo de Grafo Temporal. Fonte: o autor

Um exemplo de grafo temporal é aquele que modela interações sociais. Nesse contexto, os vértices representam pessoas e as arestas indicam interações entre elas que ocorrem em momentos específicos. As interações podem surgir e desaparecer à medida que o tempo avança.

Existem duas formas principais de representar grafos temporais:

- **Time steps discretos:** A evolução do grafo é registrada em intervalos de tempo fixos, como dias, meses ou anos.
- **Tempo contínuo:** As interações são registradas com marcações temporais contínuas, sem intervalos pré-definidos.

Grafos temporais são aplicados em diversas áreas, como:

- Estudo da propagação de doenças (interações entre indivíduos ao longo do tempo);
- Redes de transporte (mudanças nas rotas de transporte em diferentes períodos);
- Fluxos de informações em redes sociais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Dados , Diagrama e Métricas de Avaliação

Um dos objetivos deste trabalho foi identificar, entre as métricas de uma tarefa de fluência verbal semântica, aquelas que apresentam maior correlação com o índice MoCA MIS. Além disso, foram utilizados grafos temporais e técnicas de processamento de linguagem natural em categorias predefinidas, de acordo com a tabela 1, O modelo usado, BERT, serviu para gerar representações vetoriais que permitem comparar animais dentro e fora de categorias, resolver ambiguidades quando animais pertencerem a mais de uma categoria ou mesmo incluir animais não previamente classificados. O modelo se mostrou útil na construção de grafos temporais que representam as evocações durante a tarefa de fluência verbal semântica. A amostra foi composta por 104 pacientes do Hospital São Paulo, da Universidade Federal de São Paulo. Os dados desses pacientes foram organizados em uma tabela contendo informações sobre a faixa etária (1 = 20 a 39 anos; 2 = 40 a 59 anos; 3 = 60 a 79 anos), sexo (1 = feminino; 2 = masculino) e a pontuação obtida no teste MoCA MIS. O índice varia de 0 a 15, e pacientes com CCL e DA tendem a apresentar pontuações mais baixas, refletindo dificuldades crescentes na retenção e recuperação de informações. A Tabela 3 apresenta alguns dados representativos da tabela utilizada.

Tabela 3 – Amostra representativa dos dados utilizados na análise.

ID	Faixa Etária	Sexo	MoCA MIS
1001	2	1	11
1002	2	1	14
1003	1	1	15
1004	2	1	7
1005	2	1	9
1006	1	1	18
1007	2	2	12
1008	3	1	10
1009	2	2	13
1010	3	2	16

O banco de dados consistiu em áudios referentes a fluência verbal semântica e fonética. Para esse trabalho , consideramos apenas a fluência semântica. A fluência verbal semântica é uma tarefa neuropsicológica em que os participantes devem listar o maior número possível de palavras dentro de uma categoria semântica específica como, no caso, animais. Por meio desta abordagem , busca-se explorar a organização e transição das palavras evocadas para identificar padrões que possam indicar declínio cognitivos. Nessa tarefa , cada paciente evocou nome de animais durante um minuto. Os áudios foram posteriormente

convertidos em texto. Esse processo foi realizado de duas formas: manualmente, utilizando o software de análise de fala Praat (Boersma, 2001) (figura 10) e por meio de um modelo de reconhecimento automático de fala (*ASR* - do inglês Automatic Speech Recognition) (Radford *et al.*, 2023) cuja arquitetura é mostrada na figura 8. Trata-se de uma técnica de inteligência artificial e aprendizado de máquina conhecida como reconhecimento de fala *Speech Recognition*. Na figura 11, vê-se que os log Mel-spectrogramas são codificados por uma rede transformer, e as representações codificadas são transformadas em saídas de caracteres e tokens de ausência de fala por meio de um decodificador transformer (Radford *et al.*, 2023). As transcrições foram comparadas e eventuais divergências foram resolvidas.

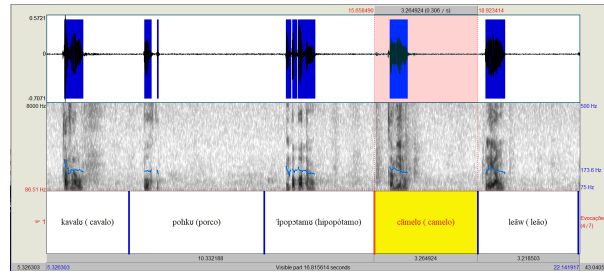


Figura 13 – Transcrição manual (Boersma, 2001)

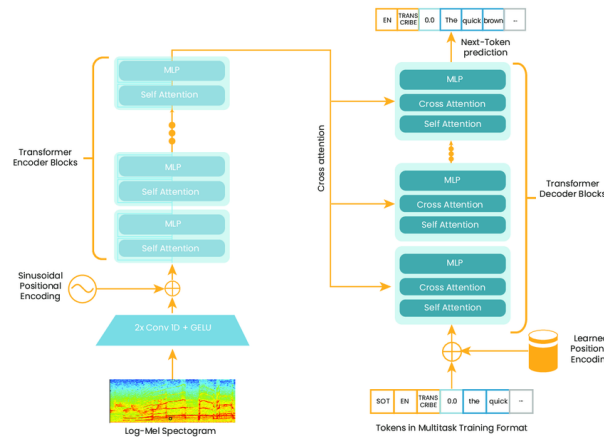


Figura 14 – Representação da Arquitetura do Modelo Whisper (Radford *et al.*, 2023)

Para cada evocação, os *clusters* e *switchings* foram devidamente identificados. Então, suponha que, na tarefa de fluência verbal semântica, o sujeito tenha evocado os seguintes animais: cavalo, vaca, ovelha, leão, águia, tubarão, formiga, gato. Os *clusters* e *switchings* correspondentes podem ser visualizados na figura 15:



Figura 15 – Identificação de *clusters* e *switchings*

Foram derivadas 34 métricas a partir da análise das evocações, compondo uma tabela de 104 linhas e 34 colunas. Parte representativa dessa tabela está ilustrada na Tabela 4, onde

as linhas correspondem aos sujeitos da pesquisa e as 34 colunas representam as métricas avaliadas.

Tabela 4 – Tabela representando as primeiras 10 linhas e as colunas 3 a 7

Age Group	Sex	MoCA Mis	SNP	SNC	SNSw
2	1	11	14	5	5
2	1	14	13	3	3
1	1	15	16	3	6
2	1	7	13	2	5
2	1	9	16	3	2
3	1	11	17	3	7
1	1	7	20	4	6
1	1	13	28	8	7
1	1	15	15	3	7
1	1	11	15	5	6

4.2 Metodologia

Neste trabalho, utilizamos um pipeline para transcrever, processar, analisar e visualizar os dados das tarefas de fluência verbal semântica. As etapas desse processo estão ilustradas na Figura 16.

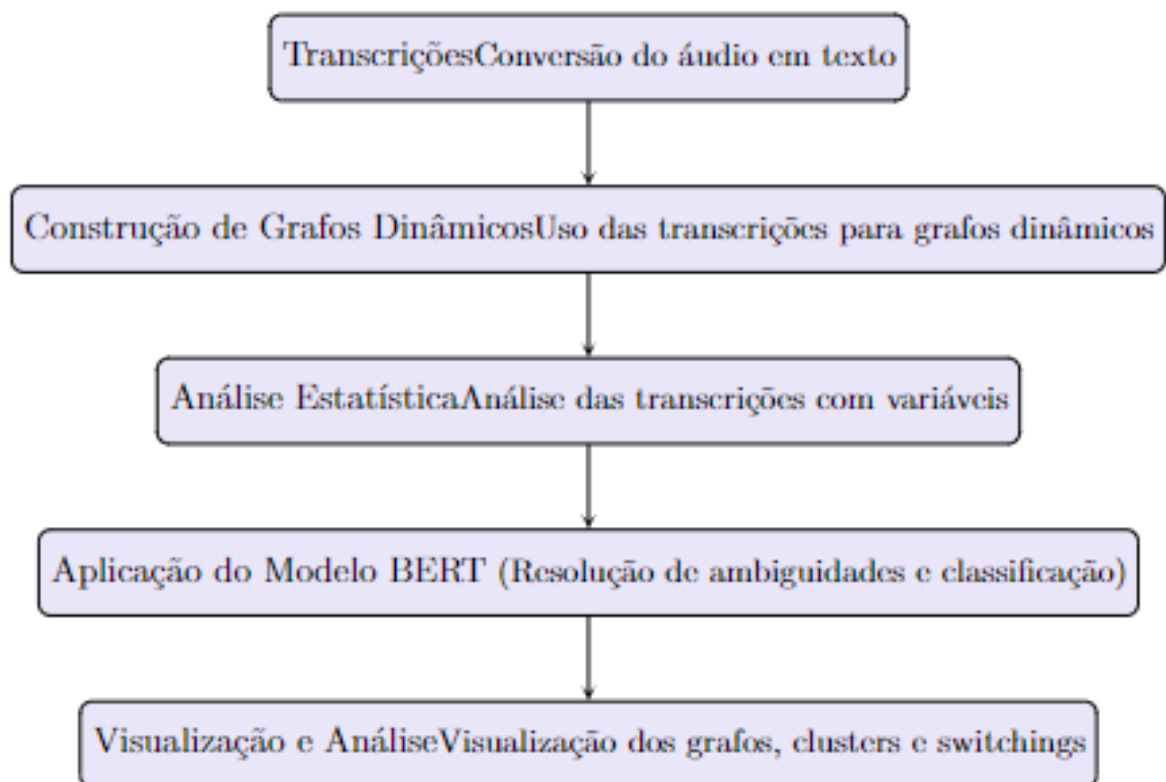


Figura 16 – Pipeline: Análise de fluência verbal semântica. Fonte: o autor

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Contagem de Palavras

Nos gráficos de caixa da Figura 17, verificou-se um padrão relacionado aos diferentes grupos etários. Participantes mais velhos tenderam a gerar menor número de palavras (SNP) do que os participantes mais jovens (Kozora; Cullum, 1995).

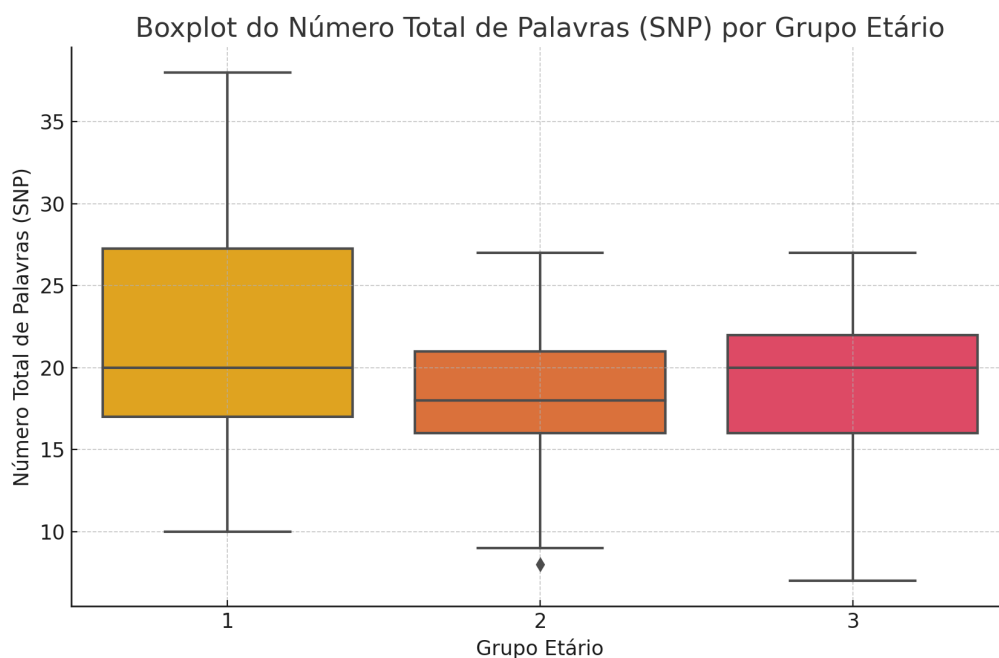


Figura 17 – Número Total de Palavras por grupo etário.

Muitos estudos têm apontado, de forma consistente, a correlação entre declínios em diversos domínios cognitivos, principalmente a memória, e a idade. Observando os diagramas de caixa da Figura 18 e o valor da correlação de Pearson, percebe-se a tendência de diminuição da pontuação na medida em que se aumenta a faixa etária. As faixas etárias foram divididas em três grupos ([1], de 20 a 39 anos; [2], de 40 a 59 anos; e [3], de 60 a 79 anos). A Figura 18 revela ainda que as faixas etárias mais avançadas apresentam uma mediana mais baixa e uma maior dispersão na pontuação, o que reflete grande variabilidade no desempenho cognitivo dentro desse grupo.

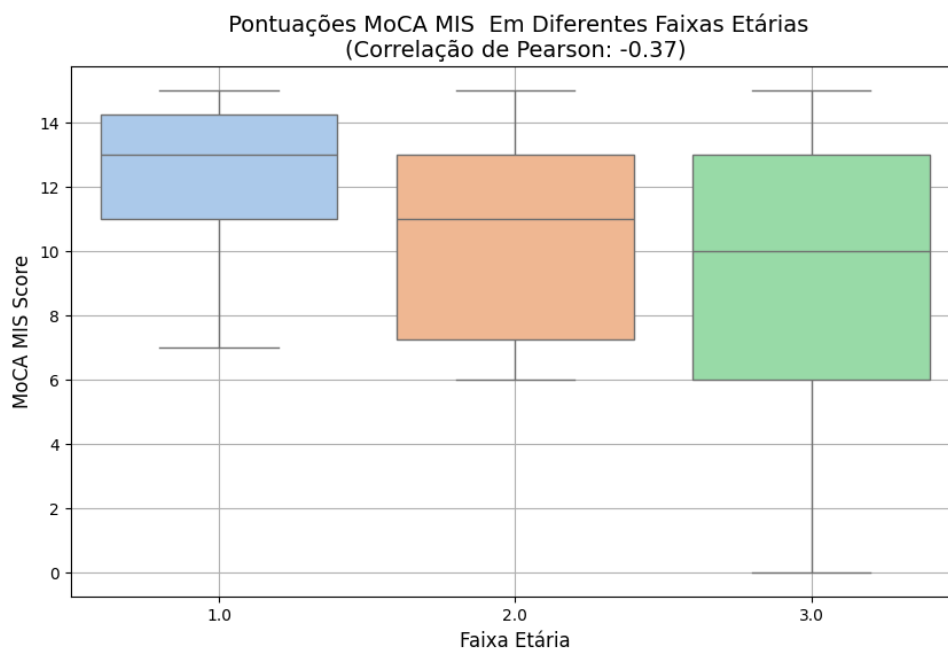


Figura 18 – Pontuação MoCA X faixa etária.

Os gráficos das Figuras 17 e 18 mostram um declínio, tanto na pontuação MoCA MIS, quanto no número de palavras evocadas na tarefa de fluência verbal semântica, conforme a idade avança. A correlação de Pearson de 0.45 (Figura 19) obtida entre a pontuação MoCA MIS e o número de palavras evocadas (SNP) indica uma moderada correlação positiva.

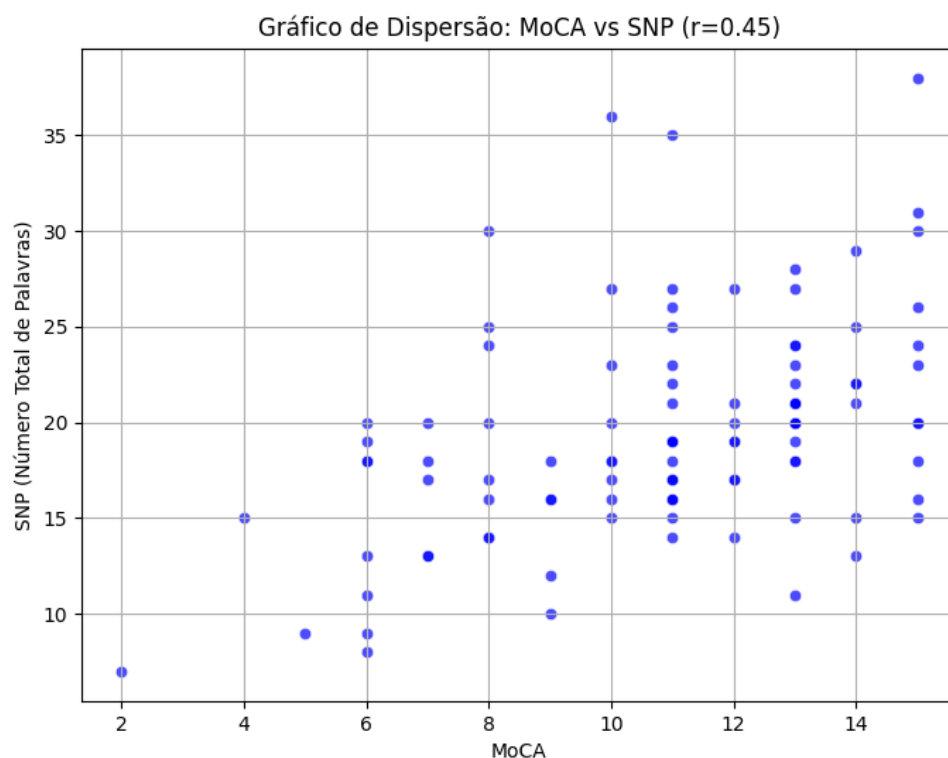


Figura 19 – Correlação entre MoCA MIS e SNP.

5.1.1 Velocidade do Processamento Cognitivo

A análise foi refinada dividindo-se o tempo total da tarefa de fluência verbal em quartis. Observou-se que, ainda que haja um declínio leve do 2º ao 4º quartil, todos os quartis mostram correlação positiva forte com a pontuação MoCA MIS. Os valores da correlação de Pearson observados nos dois primeiros quartis — e na combinação entre os dois primeiros quartis — sugerem que a primeira metade da tarefa guarda mais forte correlação do que a segunda metade da tarefa (Figura 20).

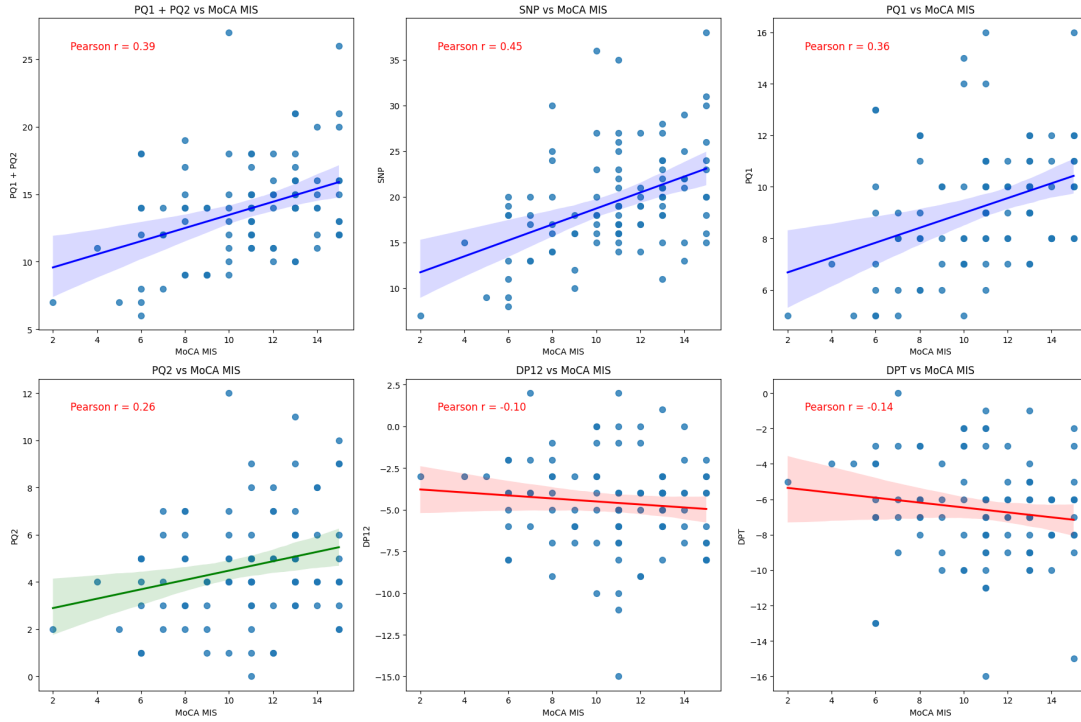


Figura 20 – Relação entre os Quartis e o MoCA MIS.

5.2 Análise de *clusters* e *switchings*

Os dados mostraram que, de maneira geral, o aumento na pontuação MoCA MIS está associado ao aumento da ocorrência de *switchings* e da produção de *clusters* (Figura 21).

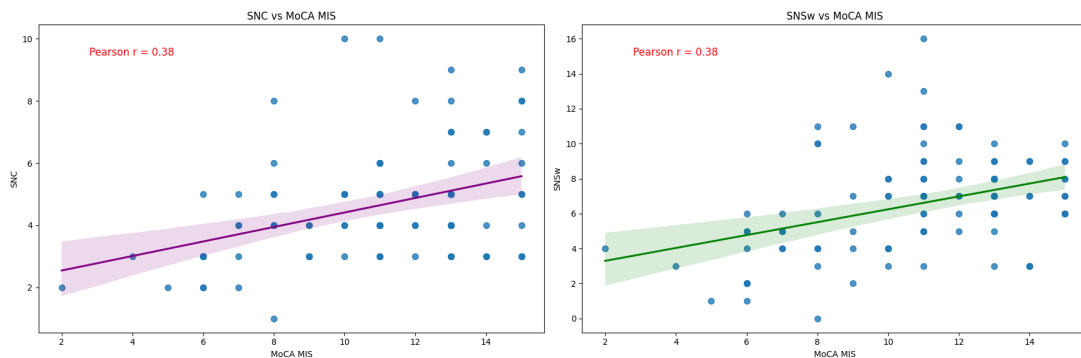


Figura 21 – Relação entre MoCA MIS score, *clusters* e *switchings*.

6 VISUALIZAÇÃO DE GRAFOS TEMPORAIS

A segunda parte deste trabalho tem por objetivo apresentar uma proposta previamente não explorada de representação dos processos cognitivos subjacentes à fluência verbal. Passamos a descrever a nossa proposta.

6.1 Descrição da Abordagem

6.1.1 Estrutura do Gráfico Temporal

Os grafos das figuras representam animais evocados ao longo do tempo, organizados por quartis. Cada nó corresponde a um animal, e as arestas entre os nós representam a sequência em que os animais foram evocados. O gráfico é direcionado, o que significa que as setas indicam o fluxo do processo de evocação de um animal para o próximo.

6.1.2 Categorização e Codificação de Cores

Cada animal é categorizado em grupos pré-definidos (por exemplo, animais selvagens, animais domésticos, aves, etc.). Os nós são coloridos de acordo com essas categorias, o que melhora a interpretação visual ao distinguir rapidamente diferentes clusters de animais dentro do gráfico. O BERT foi usado para ajudar resolver ambiguidades. Todas as vezes que o animal evocado pertencer a mais de uma categoria pré-definida ou quando o animal não constar em nenhuma das categorias, o sistema vai perguntar em que categoria o animal deve ser colocado.

6.2 Cálculo de Métricas

A visualização é acompanhada por várias métricas importantes:

- **Número de Clusters:** Reflete quantos clusters de animais semanticamente relacionados foram evocados.
- **Switchings:** Indica com que frequência o processo de evocação mudou de uma categoria para outra, apontando para a flexibilidade cognitiva.
- **Número Total de Animais:** Captura o desempenho geral na tarefa de fluência.
- **Tamanho Médio de Clusters:** Dá uma ideia de quão bem o sujeito consegue permanecer dentro de uma categoria antes de mudar.
- **IDC (Índice de Diversidade de Categorias):** Mede a diversidade dos clusters calculando quantas categorias distintas formaram clusters.

6.3 Comparação entre Sujeitos

À título de ilustração, nas figuras 22, 23, e 24, estão representadas as evocações de três pacientes. Ao visualizar as evocações dos dois sujeitos por meio de grafos temporais, é possível inferir diversos aspectos dos processos cognitivos envolvidos. Observa-se, por exemplo, que o paciente 1019 (Faixa etária = 1, Sexo = Feminino, MoCA MIS = 15) evoca um número maior de animais e forma um maior número de clusters e switchings que os pacientes 1024 (Faixa Etária = 3, Sexo = Feminino, MoCA MIS = 2) e 1025 (Faixa Etária = 2, Sexo Masculino, MoCA MIS = 8).

Note-se que, embora o paciente 1025 evoque um número de palavras maior do que o paciente 1024, demonstra pouca flexibilidade, pois consegue evocar apenas uma categoria — formando um único cluster e, conseqüentemente, nenhum switching. Dessa forma, tanto o alto score obtido pelo paciente 1019, quanto os baixos scores dos pacientes 1024 e 1025, refletem-se em suas evocações. Em contraste com o grande número de palavras, switchings e clusters com bom tamanho, o paciente 1024 evoca apenas um pequeno número de palavras, e o 1025 apresenta um baixo Índice de Diversidade de Categorias, pois das seis categorias possíveis, o paciente conseguiu produzir apenas um cluster.

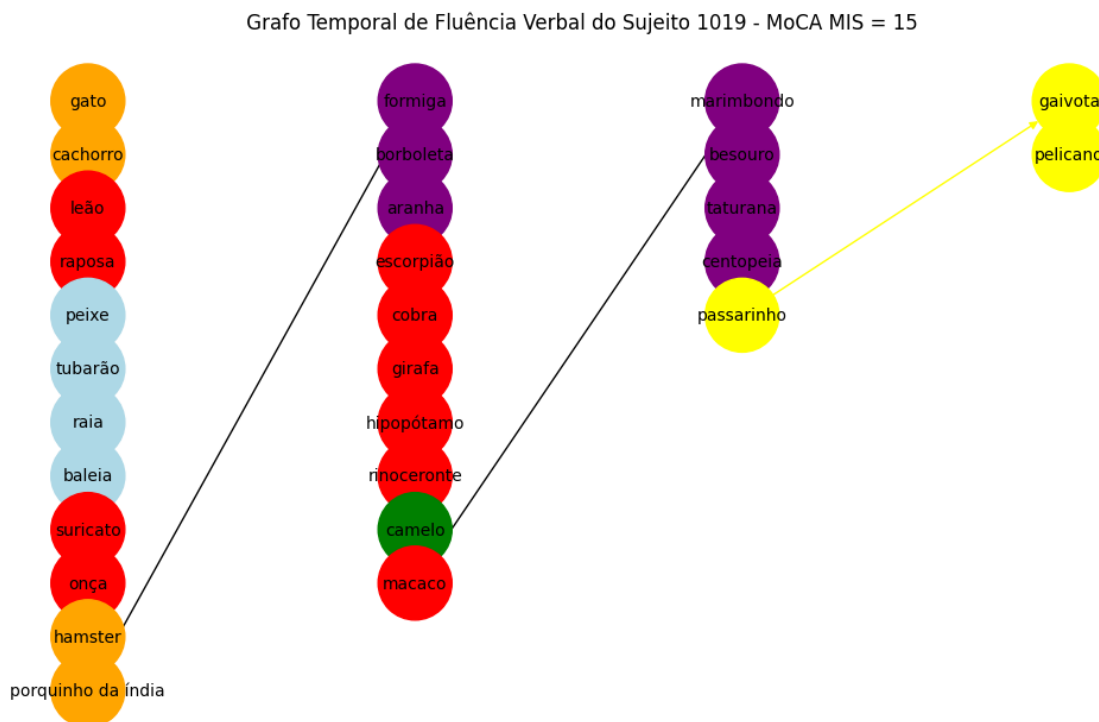


Figura 22 – Representação da Evocação Paciente 1019

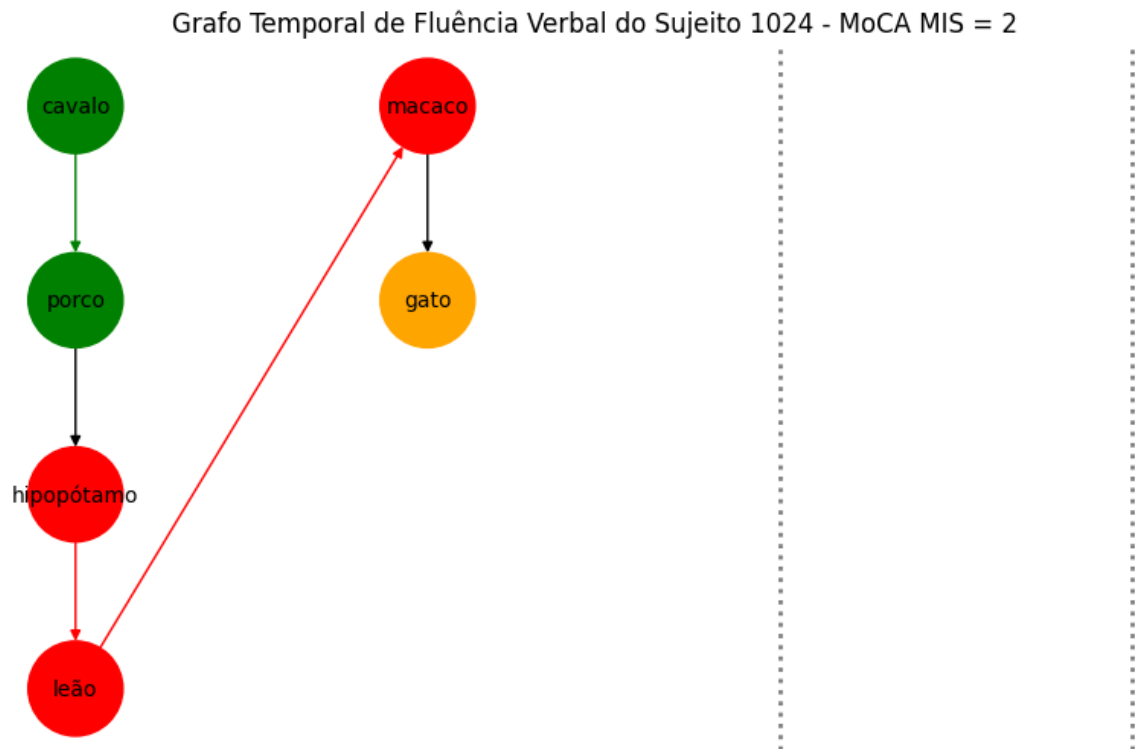


Figura 23 – Representação da Evocação Paciente 1024

Grafo Temporal de Evocações para Paciente 1025 (Faixa Etária: 2, Sexo: Masculino, MoCA MIS: 8)

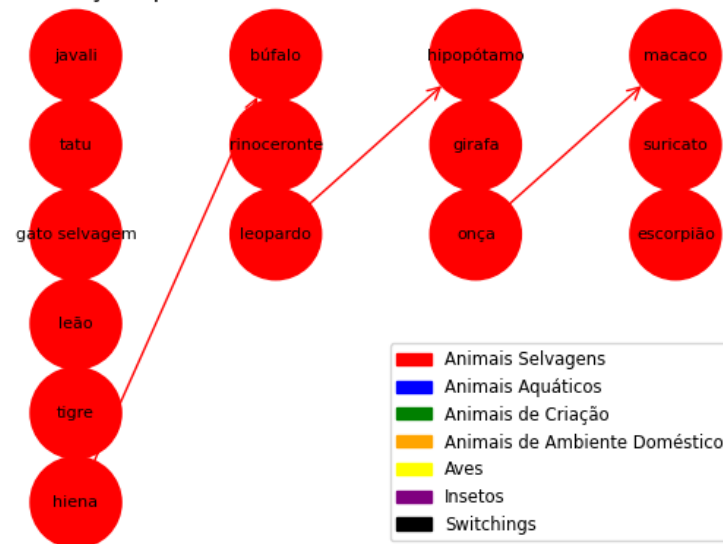


Figura 24 – Representação da Evocação Paciente 1025

7 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este estudo apresentou uma análise inicial sobre a fluência verbal semântica como ferramenta para o rastreio cognitivo em quadros de demência e comprometimento cognitivo leve para 104 pacientes do Hospital São Paulo da Universidade Federal de São Paulo. A utilização de grafos temporais para a visualização das evocações permitiu o cálculo de métricas, como número de clusters, mudanças de categoria (switchings) e índice de diversidade de categorias, fornecendo insights valiosos sobre a organização e fragmentação dos processos de recuperação lexical.

Apesar dos avanços, este trabalho possui limitações. Embora se tenham identificado correlações significativas entre vários parâmetros e o *MoCA-MIS*, os coeficientes de determinação raramente ultrapassaram 0,4. Esse valor indica que, embora haja associação entre as variáveis estudadas, outras variáveis provavelmente influenciam o desempenho em tarefas de fluência verbal e, portanto, devem ser incorporadas ao modelo para melhorar sua capacidade preditiva.

Para que a abordagem proposta seja validada e se torne aplicável em contextos mais amplos, recomenda-se o aumento da amostra populacional. Essa ampliação não apenas fortaleceria a robustez estatística dos achados, mas também possibilitaria a incorporação de modelos de inteligência artificial (IA) mais complexos, capazes de realizar análises preditivas e automáticas com maior precisão. Esses modelos de IA poderiam explorar padrões complexos de evocações e associá-los a diferentes níveis de comprometimento cognitivo, aumentando a eficácia do rastreio.

Além disso, a ampliação da população estudada deve incluir variáveis que possam impactar o desempenho em tarefas de fluência verbal, como o *background* educacional dos pacientes, que representa um fator importante na interpretação dos resultados. Em estudos futuros, recomenda-se também a incorporação de outras modalidades de fluência verbal, como a fluência fonêmica e de verbos, com o objetivo de verificar se o uso de múltiplas abordagens amplia a precisão do rastreio cognitivo e a sensibilidade da análise gráfica.

REFERÊNCIAS

- ABWENDER, D. A. *et al.* Qualitative analysis of verbal fluency output: Review and comparison of several scoring methods. **Assessment**, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 8, n. 3, p. 323–338, 2001.
- ALBERONI, M. *et al.* Keeping track of a conversation: Impairments in alzheimer's disease. **International journal of geriatric psychiatry**, Wiley Online Library, v. 7, n. 9, p. 639–646, 1992.
- ALBOU, P. Esquirol et la démence. **Histoire des sciences médicales**, v. 46, n. 1, p. 45, 2012.
- ALZHEIMER, A. Uber eigenartige erkrankung der hirnrinde. **All Z Psychiatr**, v. 64, p. 146–148, 1907.
- BAHDANAU, D. Neural machine translation by jointly learning to align and translate. **arXiv preprint arXiv:1409.0473**, 2014.
- BARONI, M. *et al.* The wacky wide web: a collection of very large linguistically processed web-crawled corpora. **Language resources and evaluation**, Springer, v. 43, p. 209–226, 2009.
- BAYLES, K. A. Language function in senile dementia. **Brain and language**, Elsevier, v. 16, n. 2, p. 265–280, 1982.
- BAYLES, K. A.; KASZNIAK, A. W.; TOMOEDA, C. K. **Communication and cognition in normal aging and dementia**. [S.l.: s.n.]: College-Hill Press/Little, Brown & Co, 1987.
- BAYLES KATHRYN/KASZNIAK, A. W. **Communication and cognition in normal aging and dementia**. [S.l.: s.n.], 1987.
- BECKENKAMP, C. L. Clustering e switching em tarefas de fluência verbal: associações e dissociações de desempenho em casos de acidente vascular cerebral. 2016.
- BECKER, N. Custering e switching em tarefas de fluência verbal semântica e ortográfica: metodologia e desempenho de crianças de 6 a 12 anos. 2015.
- BOERSMA, P. Praat, a system for doing phonetics by computer. **Glott. Int.**, v. 5, n. 9, p. 341–345, 2001.
- BORKOWSKI, J. G.; BENTON, A. L.; SPREEN, O. Word fluency and brain damage. **Neuropsychologia**, Elsevier, v. 5, n. 2, p. 135–140, 1967.
- BÖTTCHER, M.-B. **Pflegende Angehörige demenzkranker alter Menschen-Darstellung des Bedarfs und Unterstützungsmöglichkeiten**. 2001. Dissertação (B.S. thesis) — Universität Dortmund, 2001.
- BRICKMAN, A. M. *et al.* Category and letter verbal fluency across the adult lifespan: relationship to eeg theta power. **Archives of clinical neuropsychology**, Elsevier, v. 20, n. 5, p. 561–573, 2005.

BUSSE, A.; ANGERMEYER, M. C.; RIEDEL-HELLER, S. G. Progression of mild cognitive impairment to dementia: a challenge to current thinking. **The British Journal of Psychiatry**, Cambridge University Press, v. 189, n. 5, p. 399–404, 2006.

CABEZA, R. Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the harold model. **Psychology and aging**, American Psychological Association, v. 17, n. 1, p. 85, 2002.

CACCAPPOLO, E. *et al.* Neuropsychological profile of parkin mutation carriers with and without parkinson disease: the core-pd study. **Journal of the International Neuropsychological Society**, Cambridge University Press, v. 17, n. 1, p. 91–100, 2011.

CANNING, S. D. *et al.* Diagnostic utility of abbreviated fluency measures in alzheimer disease and vascular dementia. **Neurology**, AAN Enterprises, v. 62, n. 4, p. 556–562, 2004.

CHAN, A. S. *et al.* Dimensionality and clustering in the semantic network of patients with alzheimer's disease. **Psychology and Aging**, American Psychological Association, v. 8, n. 3, p. 411, 1993.

CLARK, D. *et al.* Latent information in fluency lists predicts functional decline in persons at risk for alzheimer disease. **Cortex**, Elsevier, v. 55, p. 202–218, 2014.

CLARK, D. G. *et al.* Novel verbal fluency scores and structural brain imaging for prediction of cognitive outcome in mild cognitive impairment. **Alzheimer's & Dementia: Diagnosis, Assessment & Disease Monitoring**, Elsevier, v. 2, p. 113–122, 2016.

CLARK, L. R. *et al.* Specific measures of executive function predict cognitive decline in older adults. **Journal of the International Neuropsychological Society**, Cambridge University Press, v. 18, n. 1, p. 118–127, 2012.

CORCORAN, R.; UPTON, D. A role for the hippocampus in card sorting? **Cortex**, Elsevier, v. 29, n. 2, p. 293–304, 1993.

COSLETT, H. B. *et al.* Frontal verbal amnesia: Phonological amnesia. **Archives of Neurology**, American Medical Association, v. 48, n. 9, p. 949–955, 1991.

CROWE, S. F. Dissociation of two frontal lobe syndromes by a test of verbal fluency. **Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology**, Taylor & Francis, v. 14, n. 2, p. 327–339, 1992.

CUENOD, C. *et al.* Functional mri during word generation, using conventional equipment: a potential tool for language localization in the clinical environment. **Neurology**, AAN Enterprises, v. 45, n. 10, p. 1821–1827, 1995.

CUMMINGS, L. **Language in dementia**. [*S.l.: s.n.*]: Cambridge University Press, 2020.

DELL, G. S. *et al.* Lexical access in aphasic and nonaphasic speakers. **Psychological review**, American Psychological Association, v. 104, n. 4, p. 801, 1997.

DEVLIN, J. *et al.* Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *In: Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long and Short Papers)*. [*S.l.: s.n.*], 2019. p. 4171–4186.

DROUIN, E.; DROUIN, G. The first report of alzheimer's disease. **The Lancet Neurology**, Elsevier, v. 16, n. 9, p. 687, 2017.

- FODOR, J. A. **The modularity of mind**. [S.l.: s.n.]: MIT press, 1983.
- GROBER, E. *et al.* Memory impairment on free and cued selective reminding predicts dementia. **Neurology**, AAN Enterprises, v. 54, n. 4, p. 827–832, 2000.
- GROND, E. **Pflege Demenzkranker**. [S.l.: s.n.]: Schlütersche, 2005.
- HAUGRUD, N.; CROSSLEY, M.; VRBANCIC, M. Clustering and switching strategies during verbal fluency performance differentiate alzheimer's disease and healthy aging. **Journal of the International Neuropsychological Society**, Cambridge University Press, v. 17, n. 6, p. 1153–1157, 2011.
- HAUGRUD, N.; LANTING, S.; CROSSLEY, M. The effects of age, sex and alzheimer's disease on strategy use during verbal fluency tasks. **Aging, Neuropsychology, and Cognition**, Taylor & Francis, v. 17, n. 2, p. 220–239, 2010.
- HENRY, J. D.; CRAWFORD, J. R.; PHILLIPS, L. H. Verbal fluency performance in dementia of the alzheimer's type: a meta-analysis. **Neuropsychologia**, Elsevier, v. 42, n. 9, p. 1212–1222, 2004.
- HOTOTIAN, S. R. *et al.* Prevalence of cognitive and functional impairment in a community sample from são paulo, brazil. **Dementia and Geriatric Cognitive Disorders**, S. Karger AG Basel, Switzerland, v. 25, n. 2, p. 135–143, 2008.
- INOUE, K. Educação, qualidade de vida e doença de alzheimer: visões de idosos e seus familiares. Universidade Federal de São Carlos, 2008.
- Instituto Brasileiro de Geografia. **Censo 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.
- JULAYANONT, P.; NASREDDINE, Z. S. Montreal cognitive assessment (moca): concept and clinical review. **Cognitive screening instruments: A practical approach**, Springer, p. 139–195, 2017.
- KAVÉ, G.; KNAFO-NOAM, A. Lifespan development of phonemic and semantic fluency: Universal increase, differential decrease. **Journal of clinical and Experimental Neuropsychology**, Taylor & Francis, v. 37, n. 7, p. 751–763, 2015.
- KENTON, J. D. M.-W. C.; TOUTANOVA, L. K. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *In: Proceedings of naacL-HLT*. [S.l.: s.n.], 2019. v. 1, p. 2.
- KIM, N. *et al.* Automatic scoring of semantic fluency. **Frontiers in psychology**, Frontiers, v. 10, p. 440017, 2019.
- KOREN, R.; KOFMAN, O.; BERGER, A. Analysis of word clustering in verbal fluency of school-aged children. **Archives of Clinical Neuropsychology**, Elsevier, v. 20, n. 8, p. 1087–1104, 2005.
- KOZORA, E.; CULLUM, C. M. Generative naming in normal aging: Total output and qualitative changes using phonemic and semantic constraints. **The Clinical Neuropsychologist**, Taylor & Francis, v. 9, n. 4, p. 313–320, 1995.
- KRATZ, S. **Früherkennung Alzheimer-Demenz: Untersuchung zur Korrelation von Vagus-evozierten Potenzialen mit dem Aufmerksamkeitsblinzeln (Attentional Blink)**. 2021. Tese (Doutorado) — Universität Würzburg, 2021.

LANTING, S.; HAUGRUD, N.; CROSSLEY, M. The effect of age and sex on clustering and switching during speeded verbal fluency tasks. **Journal of the International Neuropsychological Society**, Cambridge University Press, v. 15, n. 2, p. 196–204, 2009.

LEVELT, W. J.; ROELOFS, A.; MEYER, A. S. A theory of lexical access in speech production. **Behavioral and brain sciences**, Cambridge University Press, v. 22, n. 1, p. 1–38, 1999.

LINZ, N. *et al.* Predicting dementia screening and staging scores from semantic verbal fluency performance. In: IEEE. **2017 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 719–728.

MAURER, K.; IHL, R.; FRÖLICH, L. **Alzheimer: Grundlagen, Diganostik, Therapie**. [S.l.: s.n.]: Springer-Verlag, 2013.

MAYR, U.; KLIEGL, R. Complex semantic processing in old age: Does it stay or does it go? **Psychology and aging**, American Psychological Association, v. 15, n. 1, p. 29, 2000.

MCDOWD, J. *et al.* Understanding verbal fluency in healthy aging, alzheimer's disease, and parkinson's disease. **Neuropsychology**, American Psychological Association, v. 25, n. 2, p. 210, 2011.

MCNAMARA, P. *et al.* Speech monitoring skills in alzheimer's disease, parkinson's disease, and normal aging. **Brain and language**, Elsevier, v. 42, n. 1, p. 38–51, 1992.

MIKOLOV, T. *et al.* Efficient estimation of word representations in vector space. **arXiv preprint arXiv:1301.3781**, 2013.

MILNER, B. Some effects of frontal lobectomy in man. **The frontal granular cortex and behavior**, McGraw-Hill, p. 313–334, 1964.

MIRANDEZ, R. M. **Estudo da fluência verbal em categorias múltiplas no comprometimento cognitivo leve**. 2014. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2014.

MURPHY, K. J.; RICH, J. B.; TROYER, A. K. Verbal fluency patterns in amnesic mild cognitive impairment are characteristic of alzheimer's type dementia. **Journal of the International Neuropsychological Society**, Cambridge University Press, v. 12, n. 4, p. 570–574, 2006.

MURRAY, C. J. *et al.* Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the global burden of disease study 2019. **The lancet**, Elsevier, v. 396, n. 10258, p. 1223–1249, 2020.

NELSON, P. T. *et al.* Correlation of alzheimer disease neuropathologic changes with cognitive status: a review of the literature. **Journal of Neuropathology & Experimental Neurology**, American Association of Neuropathologists, Inc., v. 71, n. 5, p. 362–381, 2012.

NEWCOMBE, F. **Missile wounds of the brain: A study of psychological deficits**. Oxford University Press, 1969.

NICODEMUS, K. K. *et al.* Category fluency, latent semantic analysis and schizophrenia: a candidate gene approach. **Cortex**, Elsevier, v. 55, p. 182–191, 2014.

OBLER, L. K.; GJERLOW, K. **Language and the Brain**. [S.l.: s.n.]: Cambridge University Press, 1999.

- OULHAJ, A. *et al.* Predicting the time of conversion to mci in the elderly: role of verbal expression and learning. **Neurology**, AAN Enterprises, v. 73, n. 18, p. 1436–1442, 2009.
- PAKHOMOV, S. V.; EBERLY, L.; KNOPMAN, D. Characterizing cognitive performance in a large longitudinal study of aging with computerized semantic indices of verbal fluency. **Neuropsychologia**, Elsevier, v. 89, p. 42–56, 2016.
- PAKHOMOV, S. V.; HEMMY, L. S. A computational linguistic measure of clustering behavior on semantic verbal fluency task predicts risk of future dementia in the nun study. **Cortex**, Elsevier, v. 55, p. 97–106, 2014.
- PAKHOMOV, S. V.; HEMMY, L. S.; LIM, K. O. Automated semantic indices related to cognitive function and rate of cognitive decline. **Neuropsychologia**, Elsevier, v. 50, n. 9, p. 2165–2175, 2012.
- PARKS, R. W. *et al.* Cerebral metabolic effects of a verbal fluency test: A pet scan study. **Journal of clinical and experimental neuropsychology**, Taylor & Francis, v. 10, n. 5, p. 565–575, 1988.
- PENDLETON, M. G. *et al.* Diagnostic utility of the thurstone word fluency test in neuropsychological evaluations. **Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology**, Taylor & Francis, v. 4, n. 4, p. 307–317, 1982.
- PERRET, E. The left frontal lobe of man and the suppression of habitual responses in verbal categorical behaviour. **Neuropsychologia**, Elsevier, v. 12, n. 3, p. 323–330, 1974.
- PESSÔA, E. M.; ARAÚJO, M. A. S. Quando o direito à saúde chega na doença de alzheimer. **Revista do Direito Público**, v. 17, n. 1, p. 91–108, 2022.
- PETERSEN, R. C. *et al.* Mild cognitive impairment: clinical characterization and outcome. **Archives of neurology**, American Medical Association, v. 56, n. 3, p. 303–308, 1999.
- PIATT, A. L. *et al.* Action (verb naming) fluency as an executive function measure: convergent and divergent evidence of validity. **Neuropsychologia**, Elsevier, v. 37, n. 13, p. 1499–1503, 1999.
- PRESCOTT, T. J. *et al.* A new dissimilarity measure for finding semantic structure in category fluency data with implications for understanding memory organization in schizophrenia. **Neuropsychology**, American Psychological Association, v. 20, n. 6, p. 685, 2006.
- PUTZIER, S. **Dementia of the Alzheimer type. Language of the elderly: Language Errors appearing with Alzheimer’s disease.** [*S.l.: s.n.*]: GRIN Verlag, 2016.
- RADFORD, A. *et al.* Robust speech recognition via large-scale weak supervision. *In*: PMLR. **International Conference on Machine Learning.** [*S.l.: s.n.*], 2023. p. 28492–28518.
- RIGONI, A. C.; SILVEIRA, S. S. da. **Garantia à saúde e à vida da pessoa idosa no Brasil sob a égide da Constituição de 1988.** [*S.l.: s.n.*], 2018.
- ROHRER, D. *et al.* Retrieval from semantic memory and its implications for alzheimer’s disease. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**, American Psychological Association, v. 21, n. 5, p. 1127, 1995.

- SALTHOUSE, T. A. Memory aging from 18 to 80. **Alzheimer Disease & Associated Disorders**, LWW, v. 17, n. 3, p. 162–167, 2003.
- SILVA, A. da. Explorando os dois lados do cérebro: a percepção holística da fala reversa (phfr) sob a perspectiva forense. **Revista Brasileira de Criminalística**, v. 8, n. 1, p. 62–79, 2019.
- SIMÕES, C. C. da S. **Relações entre as alterações históricas na dinâmica demográfica brasileira e os impactos decorrentes do processo de envelhecimento da população**. [S.l.: s.n.]: IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016.
- STEINER, V. A. G. **Fluência semântica, fonêmica e de verbos em indivíduos com comprometimento cognitivo leve**. 2013. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2013.
- SUMIYOSHI, C. *et al.* Semantic memory deficits based on category fluency performance in schizophrenia: similar impairment patterns of semantic organization across turkish and japanese patients. **Psychiatry research**, Elsevier, v. 167, n. 1-2, p. 47–57, 2009.
- TALER, V.; PHILLIPS, N. A. Language performance in alzheimer’s disease and mild cognitive impairment: a comparative review. **Journal of clinical and experimental neuropsychology**, Taylor & Francis, v. 30, n. 5, p. 501–556, 2008.
- TAYLOR, W. L. “cloze procedure”: A new tool for measuring readability. **Journalism quarterly**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 30, n. 4, p. 415–433, 1953.
- TEIXEIRA, J. B. *et al.* Doença de alzheimer: estudo da mortalidade no brasil, 2000-2009. **Cadernos de Saúde Pública**, SciELO Brasil, v. 31, p. 850–860, 2015.
- TELDESCHI, A. L. *et al.* O uso de testes de fluência verbal como ferramenta de rastreio cognitivo em idosos. **Revista Hospital Universitário Pedro Ernesto (TÍTULO NÃO-CORRENTE)**, v. 16, n. 1, p. 56–60, 2017.
- TROYER, A. K. Normative data for clustering and switching on verbal fluency tasks. **Journal of clinical and experimental neuropsychology**, Taylor & Francis, v. 22, n. 3, p. 370–378, 2000.
- TROYER, A. K.; MOSCOVITCH, M.; WINOCUR, G. Clustering and switching as two components of verbal fluency: evidence from younger and older healthy adults. **neuropsychology**, American Psychological Association, v. 11, n. 1, p. 138, 1997.
- TROYER, A. K. *et al.* Clustering and switching on verbal fluency tests in alzheimer’s and parkinson’s disease. **Journal of the International Neuropsychological Society**, Cambridge University Press, v. 4, n. 2, p. 137–143, 1998.
- VASWANI, A. *et al.* Attention is all you need.(nips), 2017. **arXiv preprint arXiv:1706.03762**, v. 10, p. S0140525X16001837, 2017.
- VOORSPOELS, W. *et al.* Deriving semantic structure from category fluency: clustering techniques and their pitfalls. **Cortex**, Elsevier, v. 55, p. 130–147, 2014.
- WAJMAN, J. R. *et al.* Quanti-qualitative components of the semantic verbal fluency test in cognitively healthy controls, mild cognitive impairment, and dementia subtypes. **Applied Neuropsychology: Adult**, Taylor & Francis, v. 26, n. 6, p. 533–542, 2019.
- WERNER, B. **Demenz: Epidemiologie, Ursachen und Folgen einer psychischen Erkrankung im Alter**. [S.l.: s.n.], 1997.

book graphicx float lscape fancyhdr

APÊNDICES

APÊNDICE A – VISUALIZAÇÃO DO LÉXICO COMO UMA REDE COMPLEXA

O léxico pode ser visto como uma rede complexa. O cérebro humano armazena um léxico que varia de 10^4 a 10^5 itens. Parte desses itens é composta por palavras frequentes, que possibilitam uma comunicação básica bem-sucedida. Na Figura 25, vemos o léxico sendo representado por uma rede complexa de 2000 palavras. As palavras mais comuns estão representadas como nós pretos, enquanto as palavras raras aparecem em branco com contorno preto. As conexões entre as palavras representam a frequência com que elas ocorrem juntas, e a espessura das linhas reflete a força dessas co-ocorrências.

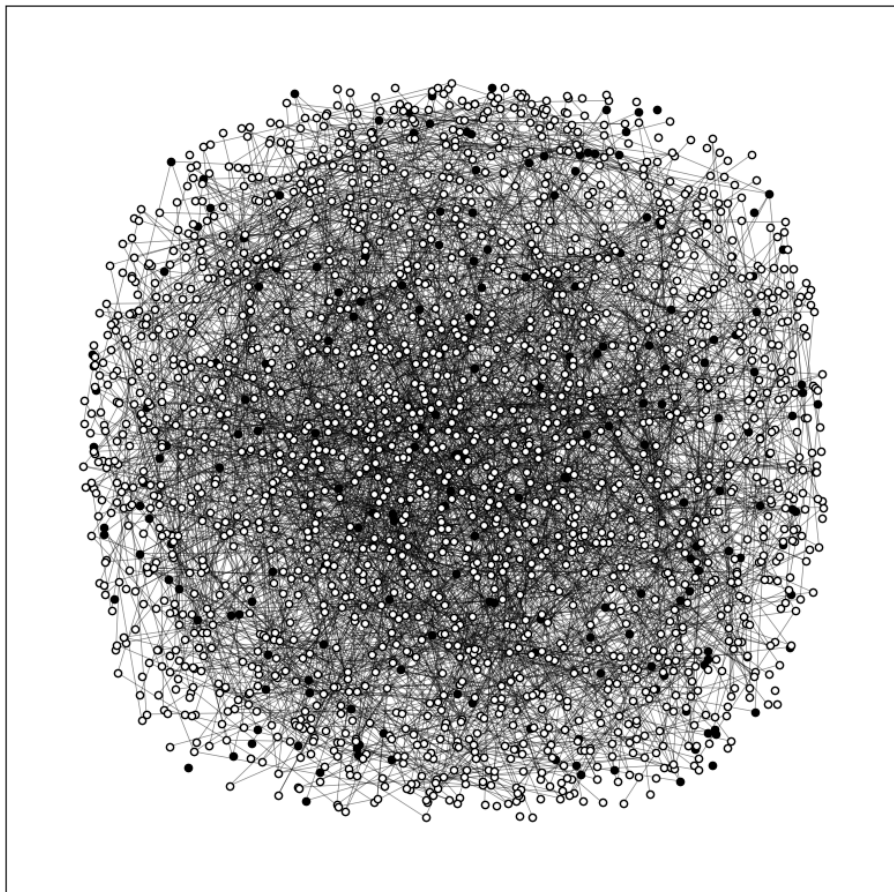


Figura 25 – Representação do Léxico Mental como uma Rede Complexa. Fonte: o autor