



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

RUAN DE MEDEIROS BAHIA

**Estudo investigativo sobre o desempenho de atributos de Recuperação de
Informação em tarefas de Mineração de Textos**

JUAZEIRO - BA

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

RUAN DE MEDEIROS BAHIA

**Estudo investigativo sobre o desempenho de atributos de Recuperação de
Informação em tarefas de Mineração de Textos**

Trabalho apresentado à Universidade Federal
do Vale do São Francisco - Univasf, Campus
Juazeiro, como requisito da obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Computação.
Orientador: Prof. Dr. Rosalvo Oliveira Neto

JUAZEIRO - BA

2019

RESUMO

O mundo informatizado gera uma quantidade gigantesca de dados textuais diariamente, e a Mineração de Texto objetiva transformar esses dados em informações úteis, em conhecimento, tendo aplicação inclusive na área forense. A área de Recuperação de Informação contribui para o desenvolvimento da Mineração de Texto no pré-processamento, porém sua utilização direta na criação de atributos não é usual, sendo proposto pela primeira vez por Weren, Moreira e Oliveira (2014).

A partir de uma revisão bibliográfica das áreas de Recuperação de Informação e de Mineração de Texto, o autor sugere uma metodologia para criação de atributos utilizando a função de ranqueamento BM25, similar à utilizada por Weren (2014), e utilizando ferramentas de armazenamento e indexação já existentes para o cálculo. Nesta metodologia, a análise do desempenho dos novos atributos sugeridos é feita por meio da mensuração do desempenho de classificador por medidas consolidadas na literatura de Mineração de Texto.

Palavras-chave: Mineração de Texto, Recuperação de Informação, criação de atributos, avaliação de desempenho, engenharia de atributos.

ABSTRACT

In the information age currently going on, the world generates a huge amount of textual data on a daily basis, and Text Mining aims to turn this data into useful information, into knowledge, and that has applications even in the forensic area. The study field of Information Retrieval contributes to the development of Text Mining in preprocessing, however it can also be used in the creation of attributes for classifiers.

From a literature review of the Information Retrieval and Text Mining areas, we suggest to create attributes using the BM25 ranking function, using existing storage and indexing tools to calculate it. A methodology for analyzing the performance of the suggested new attributes is established, and the measurement of classifier performance by consolidated measures in the Text Mining literature is proposed.

Key-words: *Text Mining, Information Retrieval, feature creation, performance evaluation, feature engineering.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tarefa de categorização de texto (com exemplos de treinamento disponíveis).	8
Figura 2 – Processos de indexação, recuperação, e ranqueamento dos documentos.	13
Figura 3 – O cosseno de θ é adotado como Pontuação(\vec{d}_j, \vec{q}).	17
Figura 4 – Mineração de dados como uma fase do processo de descoberta do conhecimento (KDD).	22
Figura 5 – Arquivo de texto simples, texto não formatado, aberto para edição no xed.	24
Figura 6 – Exemplo de documento XML aberto no editor xed.	24
Figura 7 – As quatro principais tarefas da mineração de dados.	26
Figura 8 – Metodologia proposta para avaliação de desempenho, em verde estão as variáveis mensuráveis sugeridas.	32
Figura 9 – Metodologia de consulta aos BD para geração dos atributos sugeridos, exemplificação da lista de resultados para uma única consulta.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Matriz de incidência de termo-documento do livro <i>Shakespeare's Collected Works</i> . Cada elemento (i, j) da matriz é 1 se a peça de teatro na coluna j contém a palavra na linha i, caso contrário o elemento é 0.	14
Tabela 2	– Exemplo de cálculo do valor de tf-idf.	15
Tabela 3	– Mineração de Dados versus Recuperação de Informação (em específico para objetos de texto a comparação vale para Mineração de Texto versus Recuperação de Texto).	23
Tabela 4	– Matriz de confusão para uma tarefa de classificação binária, exibida com os totais para exemplos positivos e negativos.	30
Tabela 5	– Soluções encontradas de participantes da competição DB_AUTHORPROF.	35
Tabela 6	– Soluções encontradas de participantes da competição DB_HYPERPARTISAN.	35
Tabela 7	– Atributos derivados de RI sugeridos.	38
Tabela 8	– Cronograma das atividades previstas para o TCC II.	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>Application Programming Interface</i> (interface de programação de aplicação)
AQL	<i>ArangoDB Query Language</i>
BD	Banco de Dados
BIM	<i>Binary Independence Model</i> (modelo de independência binária)
CLEF	<i>Conference and Labs for the Evaluation Forum</i>
cons.	consulta
HTML	<i>HyperText Markup Language</i> (linguagem de marcação de hipertexto)
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i> (notação para objetos JavaScript)
KDD	<i>Knowledge Discovery in Data</i> (descoberta de conhecimento em dados)
MT	Mineração de Texto
NoSQL	<i>Not Only SQL</i> ou <i>no SQL</i> (não apenas SQL ou sem SQL)
PAN	Organização que se originou do <i>International Workshop on Plagiarism Analysis, Authorship Identification, and Near-Duplicate Detection</i>
PDF	<i>Portable Document Format</i> (formato de documento portátil)
pont.	pontuação
pos.	posição
PRP	Probability Ranking Principle (princípio de ranqueamento probabilístico)
RI	Recuperação de Informação
SGBD	Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados
SQL	<i>Structured Query Language</i> (linguagem de consulta estruturada)
TREC	<i>Text REtrieval Conference format</i> (formato da Conferência de Recuperação de Texto)
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
XML	<i>Extensive Markup Language</i> (formato de documento portátil)

SUMÁRIO

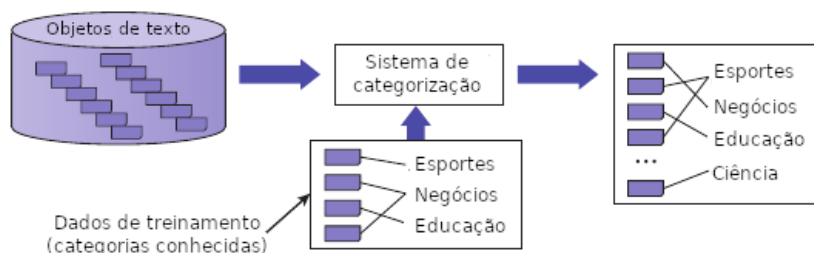
1	INTRODUÇÃO	8
1.1	OBJETIVO GERAL	10
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	RECUPERAÇÃO DE INFORMAÇÃO	11
2.1.1	Métodos booleanos	14
2.1.2	Ranqueamento	14
2.1.2.1	Modelo de espaço vetorial	16
2.1.2.2	Modelo probabilístico	18
2.2	MINERAÇÃO DE TEXTO	21
2.2.1	Corpus	23
2.2.2	Tarefas de Mineração de Dados	25
2.2.2.1	Classificação binária	26
2.2.3	Engenharia de atributos	27
2.2.3.1	Atributos comuns para documentos	28
2.2.3.2	Criação de atributos	29
2.2.4	Medidas de avaliação de classificadores	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	CORPUS PARA AVALIAÇÃO	33
3.2	ARMAZENAMENTO E INDEXAÇÃO	35
3.3	ATRIBUTOS DE RI SUGERIDOS	37
3.4	MEDIDAS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	38
3.4.1	Desempenho computacional das ferramentas	38
3.4.2	Desempenho de classificador	39
3.5	CRONOGRAMA	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A informatização do mundo, juntamente com a evolução dos equipamentos computacionais, vem permitindo a geração e coleta de enormes volumes de dados das mais variadas fontes, podendo-se afirmar que vivemos na era dos dados (HAN; KAMBER; PEI, 2011, p. 1). Grande parte dos dados criados *online* está em forma de texto (escrito em linguagem natural) e um estudo feito pela Universidade da Califórnia em Berkeley em 2003 apontou, por exemplo, que somente notícias de jornais (considerando armazenamento digital do texto dos mesmos) representavam cerca de 13,5 terabytes por ano, livros cerca de 5,5 terabytes por ano, e e-mails mais de 440 exabytes por ano (LYMAN; VARIAN, 2003) (ZHAI; MASSUNG, 2016, p. 3).

A coleta e análise da sobrecarga diária de dados se apresenta como um problema que a Mineração de Texto (MT) tenta resolver no caso de dados textuais, utilizando de técnicas de mineração de dados, aprendizado de máquina, processamento de linguagem natural, Recuperação de Informação (RI) e gerenciamento do conhecimento (HAN; KAMBER; PEI, 2011, p. 1) (FELDMAN; SANGER, 2006) (SAMMUT; WEBB, 2017, p. 1241). Técnicas de Mineração de Texto são aplicadas na classificação e clusterização de documentos, sumarização de opiniões na internet, acesso de dados biomédicos (AGGARWAL; ZHAI, 2012, p. 4–8), e também em tarefas de identificação de perfis de autoria¹ (RANGEL et al., 2014, p. 906) (RANGEL et al., 2018, p. 6–7), auxiliando em investigações forenses linguísticas (CHASKI, 2012).

Figura 1 – Tarefa de categorização de texto (com exemplos de treinamento disponíveis).



Fonte: Figura adaptada de Zhai e Massung (2016, p. 300).

A Mineração de Texto aborda, dentre seus tipos de tarefas oriundas da mineração de dados, a tarefa de classificação nas coleções de documentos, geralmente chamada de classificação de texto ou categorização de texto (ZHAI; MASSUNG, 2016, p. 35). Classificação é definido como o processo de designar uma ou mais categorias a cada objeto de texto, dentre categorias predefinidas, sendo que predominantemente é utilizado um conjunto de textos já classificados para treinamento (JO, 2018, p. 7) (ZHAI; MASSUNG, 2016, p. 299). Este processo está exemplificado na Figura 1.

¹ A identificação de perfis de autoria consiste na extração de características do autor com base no conteúdo e estilo do texto. Essas características podem ser gênero, faixa etária, escolaridade, entre outras (WEREN et al., 2014, p. 266).

No processo de classificação de texto são derivados atributos dos objetos de texto originais, um passo necessário para funcionamento do modelo de classificação proveniente da área de aprendizado de máquina (FELDMAN; SANGER, 2006, p. 64). Diferentes conjuntos de atributos podem impactar diretamente no desempenho de um classificador (ZHAI; MASSUNG, 2016, p. 304–306), o qual é tipicamente mensurado pela acurácia² (ZHAI; MASSUNG, 2016, p. 313–314) (JO, 2018, p. 9).

A criação de atributos³ é algo que pode melhorar o acurácia dos classificadores utilizados em tarefas de mineração de dados (MA; TANG; AGGARWAL, 2018, p. 118), os mesmos classificadores também são utilizados em tarefas de Mineração de Texto (SAMMUT; WEBB, 2017, p. 1241). Portanto, sugerir a criação de novos atributos, e avaliar o impacto destes atributos no desempenho de classificadores, contribui para o refinamento das técnicas de Mineração de Texto. Apesar de técnicas de Recuperação de Informação fundamentarem e servirem de base, principalmente, para o pré-processamento dos textos na MT, a utilização de funções de ranqueamento de RI na criação de atributos para MT é recente, sendo encontradas na literatura somente as pesquisas de Weren (2014).

A área de Recuperação de Informação abarca os processos de armazenamento, indexação, recuperação e ranqueamento de consultas sobre coleções de documentos (BAEZA-YATES; RIBEIRO-NETO, 2011, p. 5–8). A RI sempre busca a otimização destes processos, tanto em questão de melhoras na velocidade de resposta, como também na questão da satisfação da necessidade de informação dos usuários dos sistemas de RI (SAMMUT; WEBB, 2017, p. 671–672), e segundo Kowalski (2010, p. 2, tradução nossa):

O objetivo principal de um sistema de Recuperação de Informação é minimizar a sobrecarga do usuário em localizar informação de valor. Na perspectiva do usuário, sobrecarga pode ser definido como o tempo que decorre para localizar a informação necessária. O tempo inicia quando um usuário começa a interagir com o sistema e termina quando encontra os itens de interesse.

Implementações de sistemas de RI que atendam os objetivos da área se tornam complexas por estes sistemas terem que lidar com a integração dos processos de forma a trazer a melhor experiência ao usuário. Portanto a utilização de ferramentas que subsidiem as tarefas de armazenamento, indexação, recuperação e ranqueamento da Recuperação de Informação, é vantajosa por assim facilitar a introdução de atributos derivados de RI nas tarefas de MT.

O uso de diferentes ferramentas, para realizar a geração dos mesmos atributos derivados de RI, possibilita ainda a comparação do desempenho dessas ferramentas nas tarefas de indexação e de consulta para o ranqueamento.

² Número de previsões corretas dividido pelo número total de previsões feitas (ZHAI; MASSUNG, 2016, p. 313).

³ Processo da área de engenharia de atributos (*feature engineering*), também chamado de extração, ou construção, de atributos (SAMMUT; WEBB, 2017, p. 498–503).

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho de atributos oriundos de Recuperação de Informação para tarefas de Mineração de Textos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o ganho de desempenho de classificadores de Mineração de Texto com adição de atributos derivados da função de ranqueamento BM25 da Recuperação de Informação, em pelo menos 2 corpus de competições diferentes, utilizando medidas consolidadas na literatura;
- Reproduzir soluções disponíveis *online* para os corpus selecionados, comprovando as medidas dos resultados das competições;
- Elencar em qual dos corpus selecionados os atributos criados proporcionam maior ganho de desempenho de classificador;
- Comparar o desempenho computacional de ferramentas de armazenamento e indexação de textos:
 - na questão de indexação;
 - na questão de consulta utilizando as implementações do BM25 nativas das ferramentas;
- Avaliar, empiricamente, a facilidade de instalação, utilização e integração das ferramentas de armazenamento e indexação selecionadas.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 3 capítulos. O primeiro capítulo é introdutório e apresenta a motivação para o desenvolvimento desta pesquisa, e qual o problema específico que o projeto aborda.

No segundo capítulo é desenvolvida a fundamentação teórica dos principais campos de abordagem, sendo realizadas revisões bibliográficas das áreas de Recuperação de Informação e de Mineração de Texto.

Por fim, no terceiro e último capítulo, é apresentada a metodologia para execução do projeto, ilustrada por meio de um diagrama, que é logo em seguida detalhado textualmente, e os tópicos principais são expandidos em subseções. No final do capítulo um cronograma de execução é apresentado, feito com base nos dias letivos do Calendário Acadêmico 2019 da UNIVASF.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A utilização de funções de ranqueamento da Recuperação de Informação engloba o conhecimento a cerca de fundamentos da área que serão abordados na primeira seção a seguir, a Seção 2.1, que trata desde o surgimento da área até sua evolução para os métodos probabilísticos culminando na função de ranqueamento BM25.

Para a criação de atributos em tarefas de Mineração de Texto é necessário entender o processo de descoberta do conhecimento da Mineração de Dados, as peculiaridades para criação destes atributos, e ainda métodos de avaliação dos atributos criados. Isto é feito na Seção 2.2.

2.1 RECUPERAÇÃO DE INFORMAÇÃO

A busca por informação é uma necessidade humana, e uma das principais maneiras de obtê-la é consultar outras pessoas. No entanto, devido ao grande acúmulo de informação das sociedades, uma pessoa não pode carregar consigo todo o conhecimento do mundo. Assim, um modo considerado primordial de transferir esse conhecimento, que tratamos aqui como informação, é por meio de registros físicos em papel, livros e similares (GROSSMAN; FRIEDER, 2004, p. 1).

No processo de organização desses registros físicos, é notória a função dos bibliotecários de separar os vários tipos de conhecimento que os mais diversos livros podem abrigar e, portanto, os sistemas de classificação de áreas e subáreas do conhecimento são um auxílio para as necessidades de busca por informação que uma pessoa pode ter (MANNING; RAGHAVAN; SCHÜTZE, 2008, p. 1) (SANDERSON; CROFT, 2012, p. 1446) (BAEZA-YATES; RIBEIRO-NETO, 1999, p. 6). Esses sistemas de classificação facilitam a localização de informações específicas a partir de uma pergunta que uma pessoa pode fazer, mas é necessário saber como o sistema de classificação funciona para que o usuário possa tentar saciar sua necessidade, ou pelo menos será necessário um especialista no sistema (o bibliotecário) para lhe guiar. E mesmo assim, depois de adquirir os diversos materiais que podem responder à sua pergunta, esta pessoa ainda terá que conferir nos textos se estes satisfazem sua necessidade.

Os sistemas de classificação manual se mostram ineficazes devido ao surgimento crescente e constante de novas informações (BAEZA-YATES; RIBEIRO-NETO, 1999, p. 6) desde o início do século 20. Desta maneira, além da grande quantidade de novas pesquisas científicas sendo publicadas e livros surgindo, entre outros registro históricos, os quais precisam ser classificados, existe também o problema da classificação não poder abranger todo tipo de necessidade que tal material pode satisfazer (SANDERSON; CROFT, 2012, p. 1444). A preocupação com sistemas que possam indexar todo esse material e fornecer um acesso rápido às

necessidades de informação de uma pessoa surgiu também no início do século 20 (BUSH, 1979), onde sistemas mecânicos de recuperação de informação foram vislumbrados.

A partir da criação de sistemas computacionais na década de 1940, foi vista a possibilidade de criação de sistemas que armazenassem informações e possibilitassem essa consulta rápida sobre as informações armazenadas, sendo necessário estabelecer algoritmos que retornassem informação relevante ao que o usuário do sistema procura. Teve início nesse momento o campo científico da Recuperação de Informação (RI, do inglês *Information Retrieval*) que envolve encontrar material (geralmente documentos) de natureza desestruturada (geralmente texto) que satisfaça uma necessidade de informação dentro de grandes acervos (geralmente armazenados em computadores) (MANNING; RAGHAVAN; SCHÜTZE, 2008, p. 1).

A lei de Moore diz que o crescimento da velocidade de processamento é contínuo (MOORE, 1975), e de maneira similar existe uma duplicação constante da capacidade de armazenamento digital a cada dois anos (WALTER, 2005). Logo, a necessidade de sistemas de Recuperação de Informação surge do crescimento exponencial das coleções de informação derivadas do crescimento de armazenamento, e consequente inabilidade das técnicas tradicionais de catalogação de lidar com isso (SANDERSON; CROFT, 2012). Ter um amontoado de conhecimento, informação, e não poder acessar o que é relevante de modo rápido não é interessante pois assim o desenvolvimento de pesquisas, por exemplo, fica comprometido e pode perder relevância (BUSH, 1979).

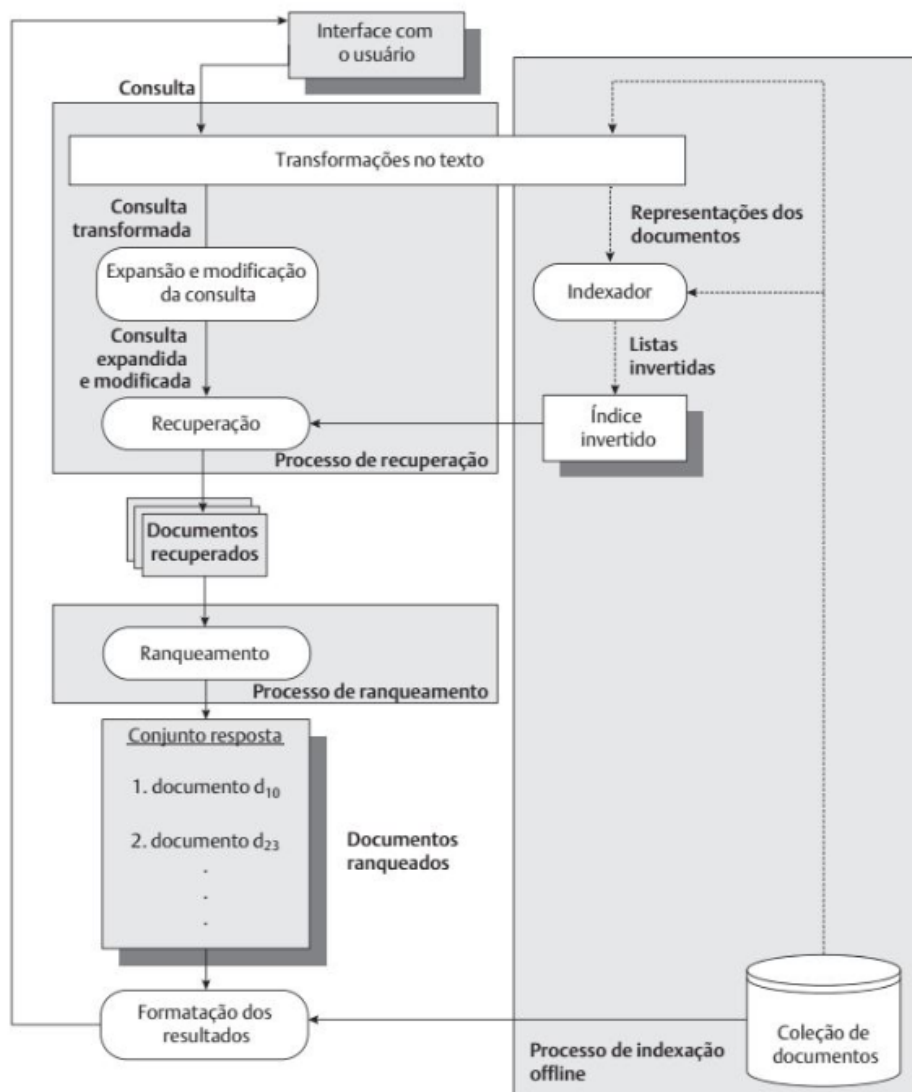
A RI como uma disciplina de pesquisa iniciou no final da década de 50 a partir do uso de computadores na busca de referências de texto associadas com um assunto (SANDERSON; CROFT, 2012, p. 3), as preocupações iniciais dessa área eram (a) *como indexar documentos* e (b) *como recuperá-los*, sendo a busca da melhor maneira de executar tais tarefas o principal objetivo da RI.

Logo no início do seu desenvolvimento as técnicas de RI buscaram se basear em sistemas existentes já consolidados no campo bibliotecário para indexar coleções de itens, tendo como uma técnica de abordagem clássica atribuir códigos numéricos a essas coleções, como por exemplo o feito pelo sistema de Classificação Decimal de Dewey (SANDERSON; CROFT, 2012, p. 1446). No entanto foi demonstrado por Cleverdon (1959) que um sistema baseado em palavras, como o sistema Uniterm proposto por Taube, Gull e Wachtel (1952), era tão bom e até melhor que outras abordagens clássicas, sendo a indexação por palavras posteriormente adotada pelos sistemas de RI (SANDERSON; CROFT, 2012, p. 1446).

Um exemplo do funcionamento de um sistema moderno de RI pode ser visto na Figura 2, onde está apresentado um fluxograma dos processos de indexação, recuperação, e ranqueamento de documentos. Sendo o ranqueamento feito por sistemas de RI o interesse deste trabalho, alguns dos termos apresentados nessa figura serão abordados logo mais.

Segundo Baeza-Yates e Ribeiro-Neto (2011, p. 7) a arquitetura de funcionamento de

Figura 2 – Processos de indexação, recuperação, e ranqueamento dos documentos.



Fonte: Figura extraída de Baeza-Yates e Ribeiro-Neto (2011, p. 8).

um *software* de RI inicia com o processo de indexação executado *offline*, antes do sistema estar pronto para processar consultas, e a estrutura de indexação mais popular é a chamada de índice invertido. Após a indexação da coleção de documentos, então o sistema está preparado para o processo de recuperação, onde o usuário especifica sua consulta, a qual é modificada pelo sistema para ficar mais próxima do sistema de indexação utilizado. A consulta modificada é utilizada para obter o conjunto de documentos recuperados, os quais, idealmente, satisfazem as necessidades de informação do usuário. Por fim, os documentos recuperados são ranqueados pela sua pertinência de relevância para o usuário.

A arquitetura apresentada na Figura 2 inclui o ranqueamento feito pelos sistemas de RI modernos, que são uma expansão dos sistemas de RI booleanos, estes últimos contam com uma indexação e recuperação mais simples que os sistemas de RI ranqueados como vai ficar claro nas subseções a seguir.

2.1.1 Métodos booleanos

Uma consulta (chamada de *query*) representa uma necessidade de informação a ser saciada por um sistema de RI, e essa consulta é composta de termos (um sinônimo para palavras) que nos primeiros desses sistemas era limitada a combinações lógicas e eram recuperados os documentos que tinham correspondência exata com ela (SANDERSON; CROFT, 2012, p. 1446). Este método de recuperação de informação é conhecido como recuperação booleana, e para indexar os documentos é utilizada, geralmente, uma matriz binária de incidência de termo-documento. Exemplificamos uma matriz dessas na Tabela 1, que é o exemplo dado por Manning, Raghavan e Schütze (2008, p. 3–4) de uma matriz de incidência de termo-documento para o livro *Shakespeare's Collected Works*, que reúne as obras completas de Shakespeare.

Tabela 1 – Matriz de incidência de termo-documento do livro *Shakespeare's Collected Works*. Cada elemento (i, j) da matriz é 1 se a peça de teatro na coluna j contém a palavra na linha i, caso contrário o elemento é 0.

Peça de teatro \ Palavra	Antony and Cleopatra	Julius Caesar	The Tempest	Hamlet	Othello	Macbeth	...
Antony	1	1	0	0	0	1	
Brutus	1	1	0	1	0	0	
Caesar	1	1	0	1	1	1	
Calpurnia	0	1	0	0	0	0	
Cleopatra	1	0	0	0	0	0	
mercy	1	0	1	1	1	1	
worser	1	0	1	1	1	0	
...							

Fonte: Tabela adaptada de Manning, Raghavan e Schütze (2008, p. 4).

2.1.2 Ranqueamento

Devido à limitação dos métodos booleanos de somente retornar resultados conforme a presença ou não dos termos da consulta nos documentos (MANNING; RAGHAVAN; SCHÜTZE, 2008, p. 100), foi proposto em 1957 por Luhn e em 1959 por Maron *et al.* uma abordagem de recuperação ranqueada (SANDERSON; CROFT, 2012, p. 1446) a qual, em contraste com recuperação booleana, baseada nos termos de consulta estabelecia uma pontuação para cada artigo de modo probabilístico e retornava os artigos de modo ordenado e demonstraram que essa técnica superava a recuperação booleana.

O procedimento fundamental para ranqueamento dos documentos, conforme os termos de consulta, consiste na atribuição de pontuação aos documentos a partir da contabilização do número de aparições (chamada de frequência) de cada um dos termos no documento. Essa pontuação é calculada considerando que além da frequência do termo,

denotada como $tf_{t,d}$ que é o número de ocorrências do termo t em um documento d , existe também a sua relevância, que depende do número de aparições do termo na coleção de documentos inteira. Quanto mais um termo aparece na coleção menos relevante ele é, e este valor de relevância é denotado por idf_t que é o inverso da frequência de um termo t em uma coleção de documentos. Segundo Manning, Raghavan e Schütze (2008, p. 108) este valor da relevância é calculado do seguinte modo:

$$idf_t = \log \frac{N}{df_t}, \quad (2.1)$$

Onde N é o número total de documentos na coleção, e df_t é a contagem de ocorrências do termo t em toda coleção de documentos.

O valor resultante da relação entre a frequência do termo e o inverso da frequência nos documentos é chamado de $tf-idf_{t,d}$ (*term frequency-inverse document frequency*), sendo este valor um dos pesos mais utilizados para ranqueamento (MANNING; RAGHAVAN; SCHÜTZE, 2008, p. 107–110), e é calculado como segue:

$$tf-idf_{t,d} = tf_{t,d} \times idf_t. \quad (2.2)$$

Tabela 2 – Exemplo de cálculo do valor de $tf-idf$.

Termo \ Documento			D ₁		D ₂		D ₃	
	df_t	idf_t	$tf_{t,d}$	$tf-idf_{t,d}$	$tf_{t,d}$	$tf-idf_{t,d}$	$tf_{t,d}$	$tf-idf_{t,d}$
car	18165	1,65	27	44,55	4	6,6	24	39,6
auto	6723	2,08	3	6,24	33	68,64	0	0
insurance	19241	1,62	0	0	33	54,46	29	46,98
best	25235	1,5	14	21	0	0	17	25,5

Fonte: Tabelas disponíveis em Manning, Raghavan e Schütze (2008, p. 109–110).

Na Tabela 2 temos um exemplo de cálculo dos valores de $tf-idf$ para posterior cálculo da pontuação para ranqueamento, conforme alguma determinada consulta. A pontuação de um documento d é a soma dos pesos de $tf-idf$ de cada termo t em d , sendo os termos t presentes na consulta realizada (MANNING; RAGHAVAN; SCHÜTZE, 2008, p. 109), representamos esse cálculo do seguinte modo:

$$\text{Pontuação}(q,d) = \sum_{t \in q} tf-idf_{t,d}. \quad (2.3)$$

Utilizando a Equação 2.3 uma consulta com os termos *auto car* retornaria no seu ranqueamento os documentos com a seguinte pontuação, calculamos $\text{Pontuação}(\{auto, car\}, D_x)$ para cada documento, por exemplo:

- D₁: 50,79
- D₂: 75,24
- D₃: 39,60

A ordenação dos documentos apresentados como resultado à consulta *auto car* seria então a seguinte: 1º - D₂; 2º - D₁; e 3º - D₃, que se observamos a Tabela 2 é um bom resultado, já que o D₂ contém uma grande frequência do termo *auto* e o D₃ não possui este termo.

Ao longo dos anos foi demonstrada a superioridade da recuperação ranqueada sobre a recuperação booleana (JONES, 1981), e são as técnicas de recuperação ranqueadas que trazem maior interesse para a área de Mineração de Textos, em específico estamos interessados nos modelos vetoriais e os modelos probabilísticos de RI que são evoluções da recuperação ranqueada.

2.1.2.1 Modelo de espaço vetorial

A modelo vetorial surge a partir das limitações do modelo Booleano, que não considera frequência dos termos, e nele são representados um conjunto de documentos num espaço vetorial comum (MANNING; RAGHAVAN; SCHÜTZE, 2008, p. 110). Oferece a possibilidade de resultados parciais por meio da atribuição de pesos não binários para os termos da consulta e também para os termos presentes nos documentos, que são utilizados para determinar o grau de similaridade entre cada documento armazenado no sistema e uma determinada consulta (BAEZA-YATES; RIBEIRO-NETO, 2011, p. 77).

Neste modelo os resultados são apresentados em ordem decrescente de similaridade, considerando a correspondência parcial, e não obrigatoriamente total, com os termos da consulta, provendo assim uma resposta mais precisa para as necessidades de informação do usuário. A similaridade nos modelos de espaço vetorial é tratada como uma noção de relevância, e a principal premissa é de que a relevância de um documento em relação a uma consulta está correlacionada com a similaridade entre o documento e consulta (ZHAI; MASSUNG, 2016, p. 110).

Segundo Baeza-Yates e Ribeiro-Neto (2011, p. 77), os pesos $w_{i,j}$ associados com um par termo-documento são não negativos e não binários. Os termos de indexação são considerados mutualmente independentes e são representados como vetores unitários de um espaço t -dimensional, aonde t é número total de termos de indexação. A representação de um documento d_j e uma consulta q são vetores t -dimensionais representados como segue nas Equações 2.4 e 2.5 abaixo:

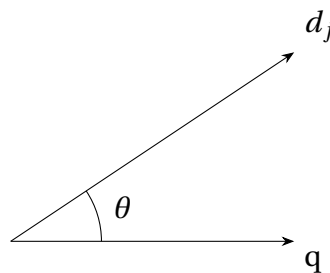
$$\vec{d}_j = (w_{1,j}, w_{2,j}, \dots, w_{t,j}) \quad (2.4)$$

$$\vec{q} = (w_{1,q}, w_{2,q}, \dots, w_{t,q}) \quad (2.5)$$

O valor $\text{tf-idf}_{t,d}$ (apresentado na Subseção 2.1.2) é um dos padrões de pesos mais comumente utilizados, sendo aplicado diretamente para os pesos de cada termo do documento d_j . E como $w_{i,q}$ é o peso associado com o par termo-consulta (k_i, q) , a aplicação do $\text{tf-idf}_{t,d}$ vira $\text{tf-idf}_{k_i,q}$ para os pesos associados à consulta q (BAEZA-YATES; RIBEIRO-NETO, 2011, p. 77–78).

Logo, tanto o documento d_j quanto uma consulta q feita pelo usuário são representados como vetores t-dimensionais como ilustrado na Figura 3, posteriormente modulados pelos pesos associados.

Figura 3 – O cosseno de θ é adotado como Pontuação(\vec{d}_j, \vec{q}).



Fonte: Baseado na figura disponível em Baeza-Yates e Ribeiro-Neto (2011, p. 78).

A avaliação do grau de similaridade entre esses vetores, sendo esta correlação, ou pontuação que o documento d_j vai receber para a consulta q , quantificada pelo cosseno do ângulo entre esses dois vetores, conforme demonstra a Equação 2.6 (BAEZA-YATES; RIBEIRO-NETO, 2011, p. 78).

$$\text{Pontuação_COS}(\vec{d}_j, \vec{q}) = \frac{\vec{d}_j \cdot \vec{q}}{\|\vec{d}_j\| \times \|\vec{q}\|} \quad (2.6)$$

Baeza-Yates e Ribeiro-Neto (2011, p. 79) apontam como vantagens do modelo vetorial:

- **Melhora da qualidade dos resultados** devido à esquemática de pesos utilizada;
- Capacidade de **correspondência parcial** possibilita que documentos *próximos* da consulta sejam retornados;
- **Organização dos resultados pelo grau de similaridade com a consulta** devido à fórmula de ranqueamento pelo cosseno dos vetores;
- **Normalização dos tamanhos dos documentos** embutida.

Os mesmos autores ainda apontam que a principal desvantagem é a presunção de que os termos indexados são mutualmente independentes, e ressaltam que a tarefa de considerar a dependência dos termos é algo bastante complicado e geram resultados ruins caso não seja feita de modo adequado.

2.1.2.2 Modelo probabilístico

Existem diferentes modelos probabilísticos para RI, como por exemplo o modelo linguístico, o modelo de divergência do aleatório (*divergence from randomness*), e o *Framework de Relevância Probabilística* (também chamado de modelo clássico) (ZHAI; MASSUNG, 2016, p. 87), que é o mais conhecido por ter dado origem à função BM25 para ranqueamento de documentos (ROBERTSON, 2010, p. 334–335) (ZHAI; MASSUNG, 2016, p. 111), a qual é nosso foco de discussão. BMxx foi a notação utilizada para nomear a funções de ranqueamento do software Okapi de RI, desenvolvido na *City, University of London* na década de 90. BM se refere a *Best-matching*, em português melhor correspondência, e a função popularizada como BM25 foi apresentada por Robertson et al. (1996).

Como já abordado, os sistemas de RI tentam determinar o quão bem os documentos satisfazem as necessidades de informação do usuário, porém existe um grau de incerteza sobre quais documentos tem conteúdo relevante. Partindo desse princípio, da existência da incerteza na relevância dos documentos, temos os modelos probabilísticos, que baseiam-se na teoria probabilística que fundamenta o raciocínio em cima de incertezas (MANNING; RAGHAVAN; SCHÜTZE, 2008, p. 201).

Nos modelos probabilísticos, a função de ranqueamento é definida baseada na probabilidade que um documento d é relevante para uma consulta q , ou estatisticamente $P(R = 1|d, q)$ onde $R \in \{0, 1\}$ é uma variável binária aleatória que denota a relevância (ZHAI; MASSUNG, 2016, p. 111–112), sendo esta a base para o princípio do ranqueamento probabilístico (PRP) (MANNING; RAGHAVAN; SCHÜTZE, 2008, p. 203).

O PRP é a base para o chamado *Framework de Relevância Probabilística* o qual, por sua vez, deu origem ao modelo de independência binária (BIM), aos modelos de *feedback* de relevância, ao nosso caso de interesse, o BM25, e também a diversas variações do BM25 (ROBERTSON, 2010, p. 333).

O BIM faz a implementação do princípio de ranqueamento probabilístico com documentos e consultas sendo representados por vetores binários de incidência dos termos, podendo assim ser comparado ao modelo Booleano (MANNING; RAGHAVAN; SCHÜTZE, 2008, p. 204). A evolução das implementações dos modelos probabilísticos clássicos levou à função de recuperação conhecida como **Okapi BM25**, ou simplesmente BM25, que integra os conceitos do modelo vetorial apresentado na Subsubseção 2.1.2.1, como frequência dos termos, normalização de tamanho, e correspondência parcial. Devido à sua similaridade com os modelos vetoriais, alguns autores, como Zhai e Massung (2016, p. 111), apresentam a função BM25 função junto à dos modelos vetoriais.

Toda teoria probabilística do PRP, que fundamenta os modelos do *Framework de Relevância Probabilística*, inclusive o BM25, é extensa e portanto ela não será desenvolvida detalhadamente aqui. Abaixo, na Equação 2.7, está demonstrada a fórmula do Okapi BM25

similar às fórmulas apresentadas por Manning, Raghavan e Schütze (2008, p. 213–215) e por Zhai e Massung (2016, p. 107–108).

$$\text{Pontuação_BM25}(d_j, q) = \sum_{t \in q} \text{idf}_t \cdot \frac{(k_1 + 1)\text{tf}_{t,d}}{k_1((1 - b) + b \times (\frac{L_d}{L_{\text{avg}}})) + \text{tf}_{t,d}} \quad (2.7)$$

A fórmula apresentada possui termos já apresentados, como os pesos $\text{tf}_{t,d}$ e idf_t , ambos apresentados na Subseção 2.1.2. O termo $\text{tf}_{t,d}$ tem o mesmo significado aqui, é uma contagem do número de ocorrências do termo t no documento d , no entanto o termo idf_t na fórmula original do BM25 é conhecido como o peso de Robertson/Spark Jones e pode ser simplificada para a fórmula apresentada na Equação 2.8 (ROBERTSON, 2010, p. 347–349).

$$\text{idf}_t = \log \frac{N - \text{df}_t + \frac{1}{2}}{\text{df}_t + \frac{1}{2}}. \quad (2.8)$$

É necessário dizer que este termo idf_t pode ser incrementado por outras considerações feitas pelo modelo probabilístico, e também simplificado pela demanda da implementação a ser feita. Alguns autores como Manning, Raghavan e Schütze (2008, p. 214) e Zhai e Massung (2016, p. 108) apresentam este termo como o inverso da frequência do termo t , da mesma forma já demonstrada na Equação 2.1.

A fórmula do BM25 tem dois parâmetros de refinamento, os termos b e k_1 . O parâmetro b ($0 \leq b \leq 1$) é utilizado para controlar o grau de normalização por tamanho de documento, onde $b = 1$ significa uma escalonamento completo e $b = 0$ corresponde a não realizá-lo. Este refinamento toma como ponto de referência o tamanho médio dos documentos na coleção inteira, L_{avg} , em relação ao tamanho do documento d , representado por L_d .

Já o termo k_1 ($0 \leq k_1 \leq \infty$) calibra o efeito da correção de frequência dos termos presente na fórmula, $k_1 = 0$ significa que não haverá consideração da frequência dos termos, e valores elevados fazem com a fórmula se aproxime da utilização pura do $\text{tf-idf}_{t,d}$ vista na Equação 2.2 (MANNING; RAGHAVAN; SCHÜTZE, 2008, p. 214). Para consultas extensas, com grande número de termos, Manning, Raghavan e Schütze (2008, p. 214) afirmam que pode ser adicionado à fórmula um segundo fator k_3 que possibilita calibrar o escalonamento de frequência dos termos da consulta, chegando assim à fórmula da Equação 2.9 com a simplificação do termo idf_t pela versão simples da Equação 2.1.

$$\text{Pontuação_BM25}(d_j, q) = \sum_{t \in q} \left[\log \frac{N}{\text{df}_t} \right] \cdot \frac{(k_1 + 1)\text{tf}_{t,d}}{k_1((1 - b) + b \times (\frac{L_d}{L_{\text{avg}}})) + \text{tf}_{t,d}} \cdot \frac{(k_3 + 1)\text{tf}_{t,q}}{k_3 + \text{tf}_{t,q}} \quad (2.9)$$

Os parâmetros de refinamento devem ser definidos para otimizar o desempenho na recuperação em uma coleção de teste, com a utilização de métodos exaustivos manuais para a busca dos melhores valores, ou com métodos de otimização de funções como por exemplo

o *grid search*. Não sendo possível realizar a etapa de otimização, experimentos mostram que é razoável definir tanto k_1 como k_3 para valores entre 1.2 e 2, e definir $b = 0.75$ ou valores entre 0.5 e 0.8 (MANNING; RAGHAVAN; SCHÜTZE, 2008, p. 215) (ROBERTSON, 2010, p. 360–361).

2.2 MINERAÇÃO DE TEXTO

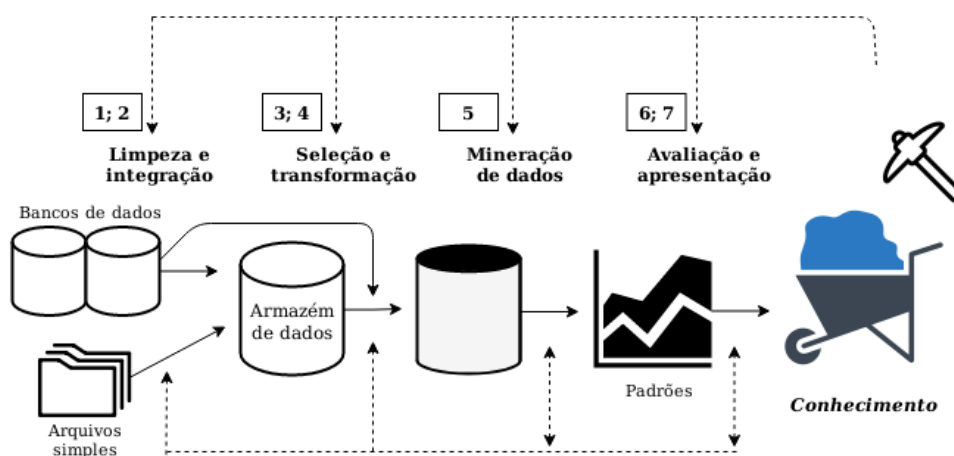
A Mineração de Textos (MT) é definida como o processo de extrair conhecimento implícito de dados textuais (JO, 2018; FELDMAN; SANGER, 2006) e por isso é às vezes tratada como *knowledge discovery in text* (livremente traduzido para descoberta de conhecimento em texto) (KODRATOFF, 1999; FELDMAN; DAGAN, 1995), sendo análogo ao termo *knowledge discovery in data* (KDD) que se refere à Mineração de Dados, ramo da Inteligência Artificial que dá suporte à MT. Apesar de haver um uso sinônimo entre Mineração de Dados e KDD, alguns autores tratam a Mineração de Dados como somente uma parte desse processo de descoberta de conhecimento (HAN; KAMBER; PEI, 2011, p. 6), sendo este um processo iterativo, conforme ilustrado na Figura 4, composto pelas seguintes fases (ou etapas) segundo Han, Kamber e Pei (2011, p. 6–7):

1. **Limpeza dos dados:** remoção de ruído e dados inconsistentes;
2. **Integração dos dados:** combinação de múltiplas fontes de dados;
3. **Seleção dos dados:** dados relevantes para a tarefa de análise são recuperados do banco de dados;
4. **Transformação dos dados:** dados são transformados e consolidados em formas apropriadas para mineração sendo realizadas, por exemplo, ações de agregação ou resumo;
5. **Mineração dos dados:** métodos inteligentes são aplicados para extrair padrões de dados;
6. **Avaliação de padrões:** são identificados os padrões que realmente são interessantes para representar o conhecimento baseado em medidas de nível de interesse;
7. **Apresentação do conhecimento:** o conhecimento minerado é apresando aos usuários por meio de técnicas de visualização e representação de conhecimento.

É importante notar essas 7 etapas de desenvolvimento de Mineração de Dados para abordamos a definição de MT, pois esta deriva muitas técnicas desenvolvidas na pesquisa do campo de Mineração de Dados para seu campo de aplicação, logo sistemas baseados em ambas áreas vão apresentar similaridades estruturais (FELDMAN; SANGER, 2006, p. 1).

A Mineração de Dados assume que os dados, que vão ser tratados durante seu processo, já foram armazenados em um formato estruturado, logo a maior parte de seu pré-processamento vai estar ligado às etapas 1 e 2 do processo de KDD citado, as de limpeza e integração dos dados (FELDMAN; SANGER, 2006, p. 1). Já na MT, como os dados de trabalho são textos, sendo texto configurado como dados desestruturados que consistem de *strings* (palavras) organizadas de forma coerente e sendo pertencentes a uma linguagem natural

Figura 4 – Mineração de dados como uma fase do processo de descoberta do conhecimento (KDD).



Fonte: Figura baseada na original de Han, Kamber e Pei (2011, p. 7).

(JO, 2018, p. 1), temos que as operações de pré-processamento vão estar mais focadas em etapas adicionais, prévias às citadas para o processo de KDD, sendo estas novas direcionadas à identificação e extração de *features* (atributos) representativas para documentos escritos em linguagem natural, transformando os dados não estruturados, que estão armazenados em coleções de documentos, em um formato mais explicitamente estruturado (FELDMAN; SANGER, 2006, p. 1).

As operações de pré-processamento para MT utilizam de várias técnicas adaptadas dos campos de Recuperação de Informação, extração de informação e linguística computacional para transformar as coleções de documentos desestruturados em dados intermediários cuidadosamente estruturados (FELDMAN; SANGER, 2006, p. 2–3). Essa estrutura intermediária é definida por um modelo representacional dos documentos de texto composto por um conjunto de atributos, sendo sempre preferidos os modelos com menor número de variáveis significativas para a representação (FELDMAN; SANGER, 2006, p. 4).

Apesar da Mineração de Texto utilizar de técnicas da Recuperação de Informação, ambos são campos independentes com objetivos diferentes conforme ressalta Jo (2018, p. 4, tradução nossa) (apresentados de modo resumido na Tabela 3):

A saída da mineração de dados é o conhecimento implícito que é necessário diretamente para a tomada de decisões, enquanto a saída da recuperação é composta por alguns dos itens de dados que são relevantes para a consulta dada. Por exemplo, no domínio de preços de ações, a previsão dos preços futuros de ações é uma tarefa típica da mineração de dados, enquanto que obter alguns dos preços de ações passadas e atuais é tarefa da recuperação de informação. Observe que a certeza perfeita nunca existe na mineração de dados, em comparação com a recuperação. A computação mais avançada para obter conhecimento dos dados brutos, chamada de síntese, é necessária para executar as tarefas de mineração de dados.

Tabela 3 – Mineração de Dados versus Recuperação de Informação (em específico para objetos de texto a comparação vale para Mineração de Texto versus Recuperação de Texto).

	Mineração	Recuperação
Saída	Conhecimento	Itens relevantes
Exemplo	Valores previstos	Valores anteriores ou atuais
Certeza	Probabilística	Nítida
Síntese	Necessária	Opcional

Fonte: Jo (2018, p. 4).

A definição dos atributos para MT busca tirar proveito dos mais variados elementos presentes em um documento escrito em linguagem natural, no entanto é necessário um cuidado pois existe um grande número de palavras, frases e outros artefatos que podem comprometer o desempenho de um sistema de Mineração de Texto ou tornar a tarefa infactível (FELDMAN; SANGER, 2006, p. 4), por isso a necessidade de identificar os melhores atributos, que trazem mais informação sobre o texto. Nesse ponto que a MT pode se auxiliar de técnicas de RI para incrementar seu grupo de atributos, sendo alguns, como por exemplo o BM25 para RI ranqueada, utilizadas em competições de identificação de perfil de autores (WEREN, 2014; WEREN; MOREIRA; OLIVEIRA, 2014; WEREN et al., 2014).

2.2.1 Corpus

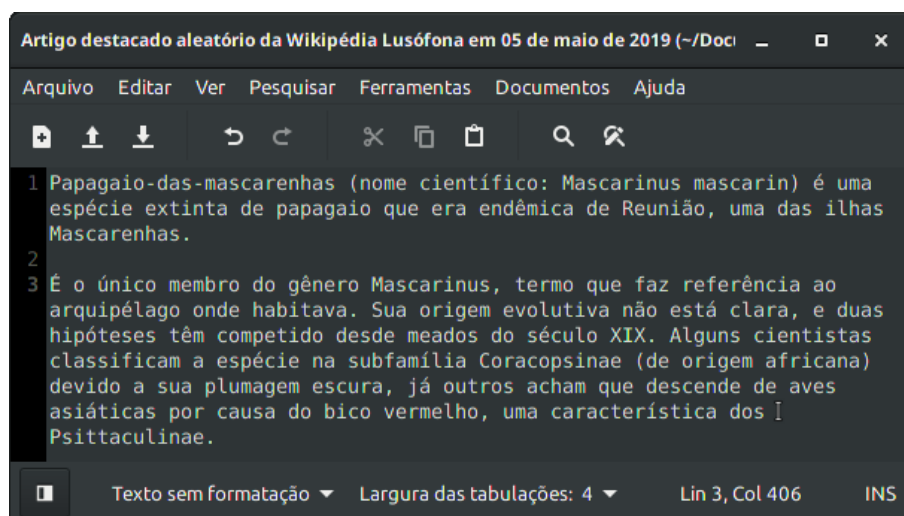
Vários formatos de texto são utilizados para o processamento computacional de texto, segundo Jo (2018, p. 6) os mais populares são os distribuídos pelo *software* de escritório proprietário MS Office, como o arquivo padrão do MS Word com extensão “doc”, MS PowerPoint com extensão “ppt”, e o MS Excel com o “xls”, e ainda para transferência entre computadores o mais utilizado é o formato PDF (*Portable Document Format*). Como alternativa aos formatos proprietários do MS Office, foi aprovada a norma ISO/IEC 263000 em 8 de maio de 2006 que define o formato aberto ODF (*Open Document Format for Office Applications*). A partir da padronização feita com o ODF são definidas diversas extensões que passaram a ser suportadas por praticamente todos os *softwares* de escritório, como por exemplo a extensão “.odt” para documentos de texto, “.ods” para folhas de cálculo e “.odp” para apresentações.

O texto simples, ou texto sem formatação, é o formato mais elementar de texto que é feito por um editor de texto, exemplificado na Figura 5 por um arquivo aberto no editor xed¹. Usualmente cada texto corresponde a único arquivo, sendo geralmente armazenado com a extensão “txt” nos sistemas operacionais Windows (JO, 2018, p. 6).

O XML (*Extensive Markup Language*) pode ser considerado como outro formato de texto conforme exibido na Figura 6. É o formato de documento *web* mais flexível e foi projetado com base no HTML, o XML 1.0 foi padronizado pela W3C (*World Wide Web Consortium*)

¹ xed é um editor de texto leve e pequeno feito para o X-Apps (LINUX MINT, 2019).

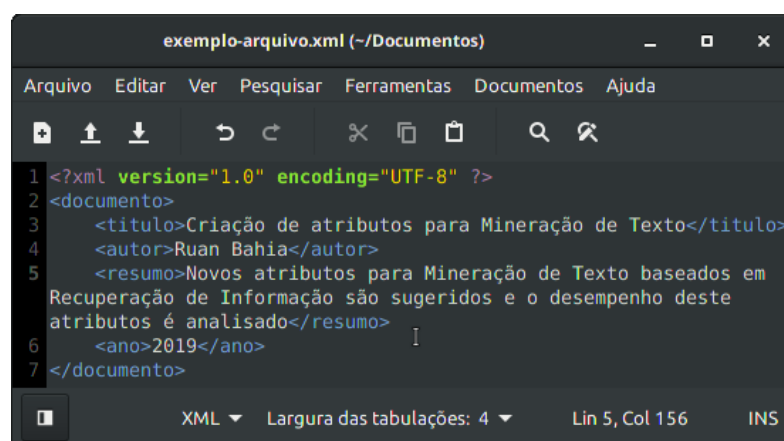
Figura 5 – Arquivo de texto simples, texto não formatado, aberto para edição no xed.



Fonte: O autor, conteúdo do texto obtido de Wikipédia (2019).

em sua primeira versão em 1998, sendo a quinta edição a mais recente publicada em novembro de 2008 (W3C, 2008). Atualmente o XML é utilizado como padrão para descrever itens de dados textuais de forma relacional, onde cada campo possui uma etiqueta de início e de fim, e o valor do campo fica entre estas etiquetas (JO, 2018, p. 6).

Figura 6 – Exemplo de documento XML aberto no editor xed.



Fonte: O autor.

Uma coleção de textos simples é chamada de corpus, geralmente sendo referenciado pelo diretório que contém os arquivos de texto, e excepcionalmente um único arquivo pode também corresponder a um corpus ao invés de ser somente um único arquivo de texto (JO, 2018, p. 6). Num conceito mais abrangente, Kwartler (2017, p. 9) considera como corpus qualquer corpo, ou conjunto, grande de texto organizado, assim um conjunto de arquivos de texto XML também é tratado como um corpus.

2.2.2 Tarefas de Mineração de Dados

As tarefas de Mineração de Dados podem ser divididas em duas categorias, segundo Tan, Steinbach e Kumar (2014, p. 7) e Han, Kamber e Pei (2011, p. 15):

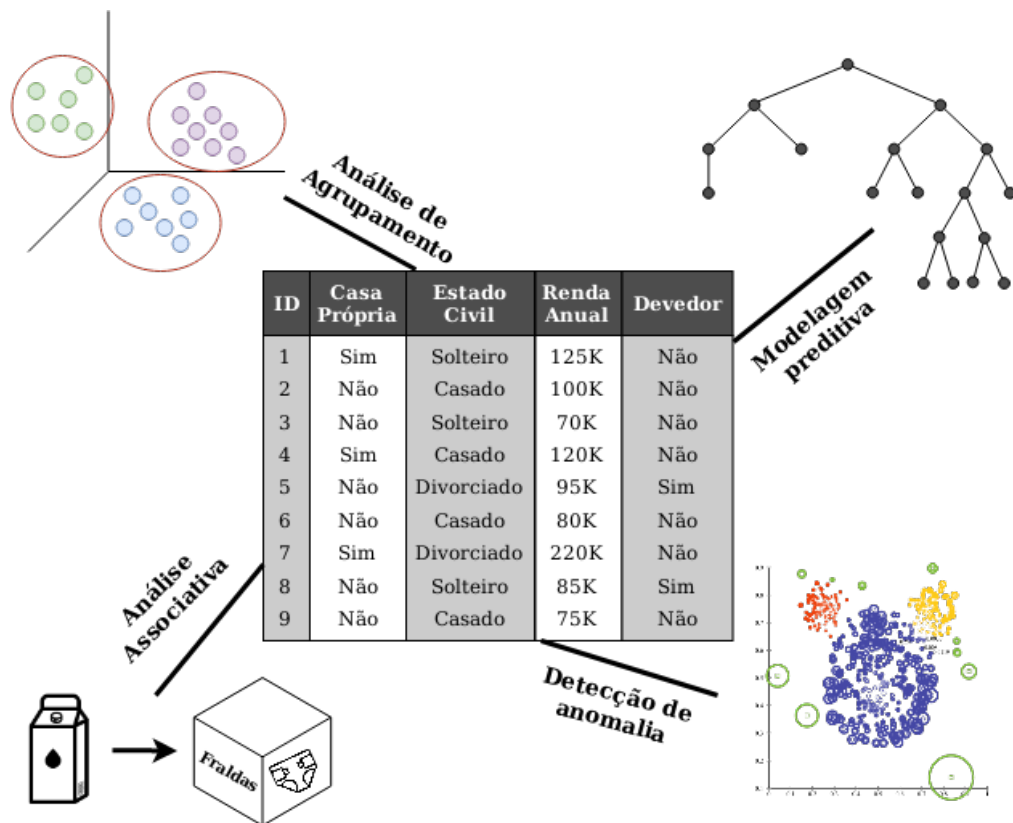
- **Descritivas:** tem como objetivo caracterizar propriedades dos dados no conjunto objetivo por meio da derivação de padrões que resumem as relações nos dados; e
- **Preditivas:** realizam uma indução nos dados presentes objetivando prever valores de um atributo em particular, sendo este atributo a ser previsto chamado de objetivo.

Quanto às tarefas em si, a mineração de dados possui tarefas de agrupamento, associação, classificação, descrição, detecção de anomalias, e de regressão. As quatro principais estão ilustradas na Figura 7. As tarefas de classificação e de regressão entram na categoria de tarefas preditivas, e são às vezes referidas como tarefas de modelagem preditiva. Ainda, tarefas de classificação trabalham com atributos objetivos discretos, enquanto que tarefas de regressão tem seus atributos objetivos como variáveis contínuas Tan, Steinbach e Kumar (2014, p. 7–8), e ambas focam na análise de conjuntos de dados rotulados, os chamados de conjuntos de treinamento (HAN; KAMBER; PEI, 2011, p. 19). Na Mineração de Textos uma tarefa de classificação normalmente recebe o nome de **categorização de texto** (TURCHI; MAMMONE; CRISTIANINI, 2009, p. 6) (FELDMAN; SANGER, 2006, p. 61).

Segundo os autores Han, Kamber e Pei (2011, p. 15–21), Tan, Steinbach e Kumar (2014, p. 8–11) e Larose e Larose (2014, p. 8–14) as demais tarefas da mineração de dados são descritivas e podem ser caracterizadas como segue:

- **Agrupamento:** consiste numa análise dos dados sem consulta à rótulos de classe, podendo estes até não estarem presentes, e este tipo de tarefa é utilizado para gerar rótulos de classes para grupos de dados. Na literatura é mais comum se referir ao termo em língua inglesa, *clustering*;
- **Associação:** são descobertos relacionamentos mais frequentes entre os atributos, utilizada para descoberta de padrões, geralmente por meio de regras de implicação;
- **Descrição:** os dados são associados com conceitos, consistindo da caracterização dos dados, onde é feita o resumo das características gerais de uma classe objetivo; ou da discriminação dos dados, onde é feita a comparação, contraste, dos atributos de uma classe objetivo com um conjunto de outras classes;
- **Detecção de anomalias:** também chamado de detecção de dados discrepantes (*outliers*), foca na identificação de exemplos dos dados que possuem características significativamente diferentes do restante. Muitos métodos de mineração de dados descartam os *outliers* por considerarem estes como ruídos nos dados.

Figura 7 – As quatro principais tarefas da mineração de dados.



Fonte: Figura baseada na original de Tan, Steinbach e Kumar (2014, p. 7).

2.2.2.1 Classificação binária

O problema da classificação consiste na aprendizagem da estrutura dos exemplos do conjunto de dados, os quais estão classificados em grupos chamados de categorias ou classes (AGGARWAL, 2015, p. 285). A entrada consiste de uma coleção de registros, conhecidos como exemplos, cada um caracterizado pela tupla (\mathbf{x}, y) onde \mathbf{x} é um conjunto de atributos e y é o atributo chamado de rótulo da classe. Tan, Steinbach e Kumar (2014, p. 146, tradução nossa) dizem que “classificação é a tarefa de aprender uma função objetivo f que mapeia cada conjunto de atributos x a um rótulo de classe predefinido y ”.

O aprendizado da função objetivo é feito com um modelo, chamado de modelo de treinamento, pois este é baseado no conjunto de treinamento. Então, este modelo de treinamento é utilizado para prever a classe de exemplos não vistos anteriormente, isso quer dizer que estes exemplos não fazem parte do conjunto de treinamento. Segundo Aggarwal (2015, p. 286, tradução nossa), então, a maior parte dos algoritmos de classificação possui duas fases:

1. **Fase de treinamento:** nesta fase um modelo de treinamento é construído a partir das instâncias de treinamento. Isto pode ser entendido, intuitivamente, como um resumo do modelo matemático dos grupos rotulados no conjunto de dados de

treinamento;

2. **Fase de teste:** nesta fase o modelo de treinamento é utilizado para determinar os rótulos de classe (ou identificadores de grupos) de uma ou mais instâncias não vistas.

A tarefa de classificação é também chamada de aprendizado supervisionado porque exemplos dos dados são utilizados para aprender as estruturas de agrupamento das classes (AGGARWAL, 2015, p. 285). Técnicas de classificação são mais apropriadas para dados com categorias binárias ou nominais, não sendo indicados para categorias com significado ordinal, pois a tarefa de classificação não considera a ordem implícita entre as categorias (TAN; STEINBACH; KUMAR, 2014, p. 147). A tarefa de categorização dos dados pode ser com rótulo único ou com múltiplos rótulos, onde na categorização com múltiplos rótulos as categorias se sobrepõem, e já na categorização com rótulo único cada exemplo de dado pertence a exatamente uma categoria (FELDMAN; SANGER, 2006, p. 67) (TAN; STEINBACH; KUMAR, 2014, p. 306).

A classificação binária é um caso especial da categorização de rótulo único na qual quantidade de categorias é dois, sendo este o caso mais simples das tarefas de classificação, pois nele só existem duas possibilidades de rótulo de classe e cada objeto de dados pertence, exclusivamente, a uma das classes (FELDMAN; SANGER, 2006, p. 67) (JO, 2018, p. 81). Um exemplo clássico de categorização binária de texto é um analisador de *spam*² para e-mails, nele só existem duas possibilidades de classificação para dado e-mail, ou **é spam** ou **não é spam**.

2.2.3 Engenharia de atributos

O processo para extrair atributos passíveis de serem utilizados por classificadores da mineração de dados é chamado por Zheng e Casari (2018) de *feature engineering*, que em uma tradução livre tentando preservar o contexto pode ser chamado de *manejo de atributos*. Num conceito mais generalista, Dong e Liu (2018, p. 3, tradução nossa) define *feature engineering* como uma área que abrange “os tópicos de transformação de atributos, geração de atributos, extração de atributos, seleção de atributos, análise e avaliação de atributos, metodologias de manejo generalista e automatizado de atributos, e aplicações do manejo de atributos”, sendo esta a definição de engenharia de atributos no processo de KDD.

Cada um dos tópicos da engenharia de atributos é definido por Dong e Liu (2018, p. 3) como segue:

- **Transformação de atributos:** construção de novos atributos a partir de atributos existentes, frequentemente feito por meio de mapeamentos matemáticos;

² Conteúdo indesejado, tratado como lixo eletrônico.

- **Geração de atributos:** também chamado de criação de atributos ou de extração de atributos, é a geração de novos atributos que não são resultados de transformações. Por exemplo, atributos derivados de padrões e de técnicas de domínio específico se encontram na categoria de geração de atributos;
- **Seleção de atributos:** selecionar um pequeno conjunto de atributos dentre um montante, com objetivo de reduzir o conjunto de atributos para tornar a tarefa de classificação computacionalmente viável. A seleção de atributos também pode visar medição de atributos úteis e a melhora do desempenho por meio da escolha do melhor subconjunto;
- **Metodologias de manejo generalista e automatizado de atributos:** abordagens para geração automática de uma grande quantidade de atributos e seleção de um subconjunto dentre os atributos gerados;
- **Aplicações do manejo de atributos:** a utilização das técnicas de engenharia de atributos para resolver outras tarefas de análise de dados.

2.2.3.1 Atributos comuns para documentos

Ao atacar um problema de MT em uma coleção de documentos é de suma importância a definição dos atributos a serem utilizados na tarefa, e mesmo em pequenas coleções o problema da alta dimensionalidade dos atributos aparece. Feldman e Sanger (2006, p. 4, tradução nossa) exemplificam que até mesmo “em uma coleção extremamente pequena de 15 mil documentos selecionados de notícias da Reuters, podem ser identificadas mais de 25 mil raízes de palavras não triviais”.

A alta dimensionalidade dos atributos pode aparecer como um empecilho computacional para a realização da MT, por fazer com que os cálculos necessários sejam muito mais demorados e em alguns casos tornando-se um problema computacionalmente inviável. Então, a identificação e escolha de um modelo representacional, um bom conjunto de atributos, para representar os documento é algo de suma importância (FELDMAN; SANGER, 2006, p. 4).

Os tipos de atributos mais utilizados para representar documentos, segundo Feldman e Sanger (2006, p. 5–7):

- **Caracteres:** são as letras, números, e caracteres especiais presentes nos documentos utilizados para construir a semântica do mesmo;
- **Palavras:** são símbolos linguísticos nativos do espaço de atributos de um documento. Atributos a nível de palavra geralmente são palavras únicas selecionadas de um documento nativo, e também é possível que sejam utilizados todas as palavras de um documento para representá-lo;

- **Termos:** são palavras únicas e frases com mais de uma palavra selecionadas de um corpus de documentos nativos por meio de técnicas específicas para extração de termos;
- **Conceitos:** são os atributos gerados de modo manual, baseado em regras, ou via categorização híbrida feita no pré-processamento. Por exemplo, um documento sobre carros esportivos pode não incluir a palavra “automóvel”, mas este conceito pode ser utilizado para identificar e representar esse documento.

2.2.3.2 Criação de atributos

A criação de atributos também é referida como geração de atributos, e consiste em derivar novos conjuntos de atributos que capturem, de forma mais efetiva, a informação carregada pelos dados (TAN; STEINBACH; KUMAR, 2014, p. 55).

Algumas metodologias de criação de atributos são apresentadas por Tan, Steinbach e Kumar (2014, p. 55–57):

- **Extração de atributos:** a criação de um novo conjunto de atributos a partir dos dados brutos. Por exemplo, no domínio da classificação de imagens os dados brutos são os *pixels*, que não são apropriados para tarefas de classificação, no entanto os dados podem ser processados para fornecer informações de presença de contornos, que podem então ser utilizados por técnicas de classificação para identificar rostos;
- **Mapeamento dos dados para um novo espaço:** mudar completamente a visualização dos dados. Considerando uma série temporal, por exemplo, os dados podem ser transformados na informação de frequência dessa stem-série por meio da transformada de Fourier;
- **Construção de atributos:** os atributos presentes nos dados possuem a informação necessária para o processo de mineração, mas não estão na forma adequada, assim novos atributos podem ser construídos na forma adequada. Um exemplo é numa tarefa de classificação que os dados contém informação de volume e massa de itens, pode ser construído o atributo de densidade.

2.2.4 Medidas de avaliação de classificadores

Tarefas de classificação (categorização) de texto produzem modelos de classificadores, os quais tem efetividade avaliada em termos de suas medidas de **precisão** e de **revocação**³ (BERRY; KOGAN, 2010, p. 48), e também há uma preocupação grande com a **acurácia** do classificador (ZHAI; MASSUNG, 2016, p. 313). As medidas de avaliação de um modelo de

³ As medidas na língua inglesa são chamadas de *precision* e *recall*.

classificador devem ser calculadas com base na aplicação do modelo num conjunto de teste, consistindo de tuplas não utilizadas para treinar o modelo (HAN; KAMBER; PEI, 2011, p. 364).

Antes de descrever as medidas, é necessário abordar o conceito de exemplos positivos (ou tuplas positivas) e de exemplos negativos (ou tuplas negativas) nos dados a serem classificados. Os exemplos positivos são aqueles da classe de maior interesse, e os exemplos negativos são todos o restante (HAN; KAMBER; PEI, 2011, p. 364). Considerando uma classificação binária, pode-se ter os exemplos positivos referentes a *spam = sim* e os negativos *spam = não*. Seguindo, como descrito por (HAN; KAMBER; PEI, 2011, p. 364–365), ao construir um modelo de classificador treinado com exemplos deste tipo, e então ao testá-lo em um conjunto com a classe objetivo conhecida, serão previstas as classes desse conjunto. Sendo P' o número de exemplos classificados positivamente, e N' o número de exemplos classificados negativamente. Cada exemplo pode então ter a classe prevista comparada com as classes objetivos já conhecidas, gerando a matriz de confusão da Tabela 4 como um sumário das previsões corretas e incorretas.

Tabela 4 – Matriz de confusão para uma tarefa de classificação binária, exibida com os totais para exemplos positivos e negativos.

		Classe prevista		Total
		<i>sim</i>	<i>não</i>	
Classe real	<i>sim</i>	<i>TP</i>	<i>FN</i>	<i>P</i>
	<i>não</i>	<i>FP</i>	<i>TN</i>	<i>N</i>
Total		P'	N'	$P + N$

Fonte: Tabela disponível em Han, Kamber e Pei (2011, p. 366).

A matriz de confusão tem tamanho $n \times n$, onde n é o número de classes (sempre maior ou igual a 2). Cada entrada $MC_{i,j}$ da matriz corresponde ao número de exemplos da classe i rotulado pelo classificador como pertencente à classe j . A terminologia utiliza na Tabela 4, caso específico para classificação binária, possui o seguinte significado:

- **Verdadeiros positivos** (*TP*): referente ao número de exemplos positivos rotulados corretamente;
- **Verdadeiros negativos** (*TN*): número de exemplos negativos rotulados corretamente;
- **Falsos positivos** (*FP*): número de exemplos positivos rotulados incorretamente, a classe real na verdade era negativa, no entanto o modelo de classificação rotulou como a classe positiva;
- **Falsos negativos** (*FN*): número de exemplos negativos rotulados incorretamente, por exemplo a rotulação de um exemplo como *spam = não* sendo que sua classe real na verdade é *spam = sim*.

A adição de totais à matriz de confusão é comum (HAN; KAMBER; PEI, 2011, p. 366), na matriz apresentada na Tabela 4 estão apresentados os totais P' e N' , respectivamente o número total de exemplos rotulados como positivos ($TP + FP$) e o número de exemplos rotulados como negativos ($TN + FN$). P é o número de exemplos com classe real positiva ($TP + FN$) e N é o número de exemplos com classe real negativa ($FP + TN$).

A razão entre o número de classificações verdadeiras positivas e o número classificações positivas dá a precisão (p) do classificador, conforme mostra a Equação 2.10, e segundo Han, Kamber e Pei (2011, p. 368, tradução nossa) “precisão pode ser pensada como uma medida de exatidão”.

A revocação (r) é dada pela Equação 2.11, que é a razão entre o número o número de classificações verdadeiras positivas e o número de exemplos positivos da classe real, e também é chamada de sensibilidade (HAN; KAMBER; PEI, 2011, p. 364–365). Ainda, segundo Han, Kamber e Pei (2011, p. 368, tradução nossa) “revocação é uma medida de completude”.

$$p = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{TP}{P'} \quad (2.10)$$

$$r = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{TP}{P} \quad (2.11)$$

As medidas de precisão e revocação podem ser combinadas em uma única medida chamada de F (também conhecida como F -score ou pontuação F_1), que é a média harmônica entre elas, definida como disposto na Equação 2.12.

O nível geral de reconhecimento do classificador é medido pela acurácia (acc), que é definida pela Equação 2.13, representando a razão de exemplos do conjunto de teste que foram classificados corretamente.

$$F = \frac{2 \times p \times r}{p + r} \quad (2.12)$$

$$acc = \frac{TP + TN}{P + N} \quad (2.13)$$

Apesar das medidas F , precisão, revocação e acurácia serem bastante úteis na medida de efetividade de classificadores, Berry e Kogan (2010, p. 48) afirmam que elas não consideram o custo da classificação errônea em problemas com classes desbalanceadas, e então sugere um critério de acurácia ponderada e similarmente Han, Kamber e Pei (2011, p. 369) sugerem o uso da medida F_β definida como descrito na Equação 2.14.

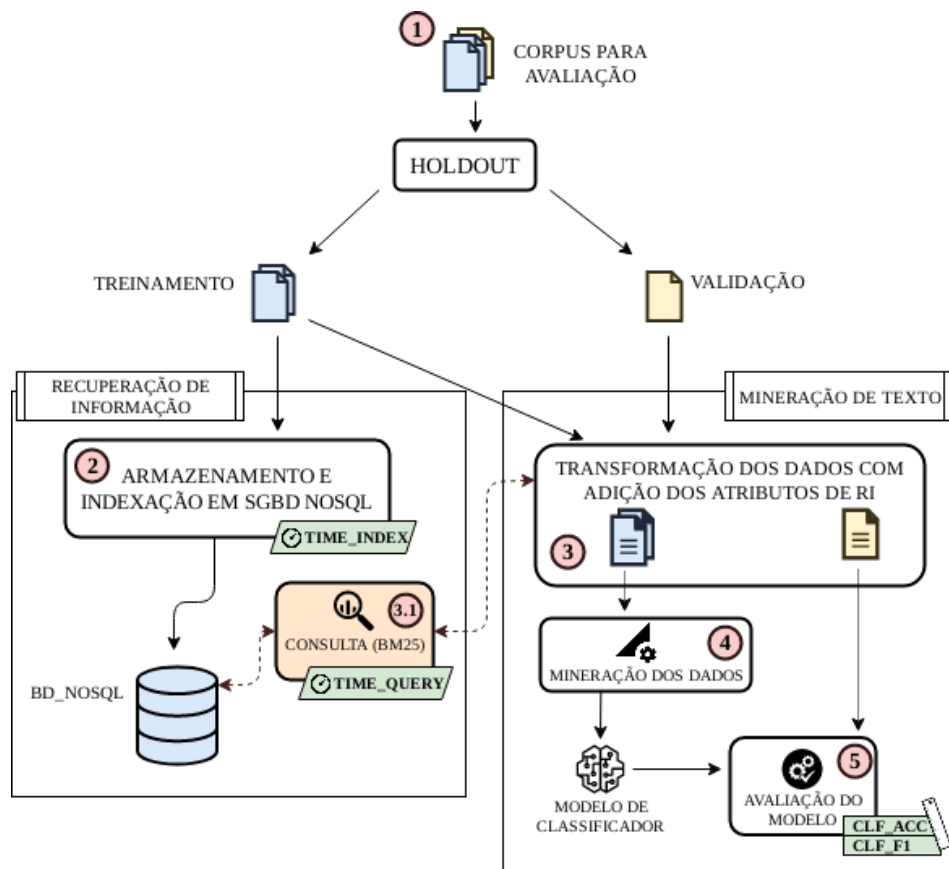
$$F_\beta = \frac{(1 + \beta^2) \times p \times r}{\beta^2 \times p + r} \quad (2.14)$$

As medidas de avaliação de classificadores possibilitam a comparação de diferentes modelos de classificadores e assim é possível efetuar a seleção do modelo, que é a escolha do melhor classificador dentre os modelos gerados para um problema específico (HAN; KAMBER; PEI, 2011, p. 364).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta como será feita a avaliação do desempenho dos atributos, gerados a partir da função de ranqueamento BM25, em Mineração de Texto. A metodologia proposta está ilustrada na Figura 8 e o processo é detalhado a seguir.

Figura 8 – Metodologia proposta para avaliação de desempenho, em verde estão as variáveis mensuráveis sugeridas.



Fonte: O autor.

Inicialmente é necessário selecionar os **(1) Corpus para Avaliação** que servirão para efetuar as avaliações de desempenho, e, caso esses corpus ainda não estejam segmentados em exemplos para treinamento e exemplos para validação, será feita essa separação com o método de *holdout*¹ de $\frac{2}{3}$ para treinamento e $\frac{1}{3}$ para validação.

Em seguida, o conjunto de treinamento passará pela fase de RI, aonde será feito o **(2) Armazenamento e Indexação em SGBD NoSQL** por meio das ferramentas apresentadas na

¹ Particionamento aleatório dos dados em dois conjuntos independentes, geralmente chamados de treinamento e teste. O conjunto de treinamento é utilizado para derivar o modelo e o de teste para estimar a sua acurácia. (HAN; KAMBER; PEI, 2011, p. 370).

Seção 3.2, sendo mensurado o tempo necessário para concluir essa operação em cada um dos Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) NoSQL selecionados.

O processo de Mineração de Texto pode ser segmentado em 7 etapas, conforme ressaltado anteriormente na Seção 2.2. Na metodologia proposta aqui a fase de MT assume que as 3 etapas iniciais de limpeza, integração, e seleção dos dados, já foram realizadas no banco de dados de teste, assim os conjuntos divididos em treinamento e validação passarão diretamente pela etapa seguinte que é a **(3) Transformação dos dados com adição dos atributos de RI**. Nesta etapa, os banco de dados NoSQL indexados receberão **(3.1) Consultas** com a utilização das funções de ranqueamento baseadas no BM25 que cada ferramenta implementa, sendo mensurado o tempo para efetuar cada consulta e gerar os novos atributos sugeridos adiante na Seção 3.3.

O processo de **(4) Mineração dos Dados** será feito por meio da réplica de soluções dos corpus para avaliação selecionados, que possuam seus códigos-fonte disponíveis, sendo então reproduzida cada solução (a) sem nenhuma alteração, e (b) com adição dos novos atributos sugeridos. Esse processo gerará dois modelos de classificador, o primeiro criado sem atributos de RI e o segundo com esses atributos. A etapa de **(5) Avaliação do Modelo** permitirá que para cada modelo sejam geradas medidas da literatura de MT, detalhadas logo mais na Subseção 3.4.2, a partir do teste com o conjunto de validação, possibilitando a comparação do ganho de desempenho de classificador com/sem atributos de RI.

3.1 CORPUS PARA AVALIAÇÃO

Foram definidos dois corpus de competições promovidas pela PAN, sigla da organização que se originou do *International Workshop on Plagiarism Analysis, Authorship Identification, and Near-Duplicate Detection* em 2007 (PAN'07 Workshop, 2007), sendo estes descritos a seguir:

- **DB_AUTHORPROF - Author Profiling - PAN @ CLEF 2018:** Uma tarefa da competição *CLEF 2018* promovida pela PAN na classe de análise de autoria, a qual foca na identificação de gênero no Twitter em três linguagens distintas, inglês, espanhol, e árabe (PAN, 2018).

Os dados consistem de 100 *tweets*² e 10 imagens para cada autor, sendo que o conjunto de treinamento possui (a) 3000 autores em inglês, (b) 3000 autores em espanhol, e (c) 1500 autores em árabe, e o conjunto de validação possui (a) 1900 autores em inglês, (b) 2200 autores em espanhol, e (c) 1000 autores em árabe (RANGEL et al., 2018).

Segundo Rangel et al. (2018) esse banco de dados da *CLEF 2018* com um total de 12600 autores é um subconjunto da tarefa de *Author Profiling* da *CLEF 2017* e

² Termo utilizado para designar as publicações feitas na rede social do Twitter.

eles foram classificados em dois passos, (i) automaticamente com a ajuda de um dicionário de nomes próprios, e (ii) manualmente verificando a foto, descrição e outros elementos de cada perfil (RANGEL et al., 2017).

- **DB_HYPARTISAN - *Hyperpartisan News Detection* - PAN @ SemEval 2019 Task 4:** Esta tarefa da competição *SemEval 2019* promovida pela PAN consiste em, dada uma notícia, avaliar se esta segue uma argumentação hiperpartidária, que significa verificar se ela possui fidelidade cega, preconceituosa, ou irracional a um partido, grupo, causa, ou pessoa (PAN, 2019b). Portanto pode-se dizer que se trata de um problema de classificação binária, a classe real é a presença ou ausência de hiperpartidarismo em cada exemplo.

Os dados consistem em artigos de notícias divididos em múltiplos arquivos onde cada arquivo com parte inicial “articles-” consiste em uma notícia e a classificação real da notícia está presente em um arquivo com inicial “ground-truth-”. Além disso os dados estão divididos em duas partes, a primeira composta de 750 mil artigos está classificada pelo enviesamento geral do editor, onde metade está classificada como hiperpartidária e a outra metade não. Dessa parte, 80% (600 mil artigos) estão no conjunto de treinamento e 20% (150 mil) estão no conjunto de validação, sendo que nenhum editor de artigos do conjunto de treinamento se repete no conjunto de validação (KIESEL et al., 2018).

A segunda parte dos dados foi rotulada através de *crowdsourcing*³. Essa parte dos dados contém um total de 645 artigos, sendo estes apenas artigos para os quais existia um consenso entre os trabalhadores de crowdsourcing. Destes, 238 (37%) são hiperpartidários e 407 (63%) não são (KIESEL et al., 2018).

Os dois corpus selecionados possuem soluções de participantes nas competições da PAN que tem seu código fonte aberto e disponível em repositórios online. Das equipes participantes na competição do corpus DB_AUTHORPROF, foram localizadas em repositórios de código aberto no GitHub⁴ as supostas soluções apresentadas na Tabela 5, ordenadas pela classificação disponível na parte de resultados da página da competição PAN (2018).

Quanto à competição referente ao corpus DB_HYPARTISAN foram encontrados os repositórios disponíveis na ordem de classificação da página da competição (PAN, 2019b), dispostos abaixo na Tabela 6.

As soluções com código fonte encontradas serão analisadas para garantir que já não façam uso da criação de atributos baseados em RI. Então, no mínimo uma solução de cada BD será executada para verificação das pontuações obtidas na competição e obtenção das

³ Obter entrada para uma tarefa ou projeto específico contando com os serviços de um número de pessoas, pagas ou não, tipicamente através da Internet.

⁴ Plataforma de hospedagem de código-fonte com controle de versão usando o Git.

Tabela 5 – Soluções encontradas de participantes da competição DB_AUTHORPROF

Posição	Equipe	Repositório de código no site < https://github.com/ >
2	daneshvar18	/SamanDaneshvar/pan18ap/
4	laporte18	/arthur-sultan-info/PAN2018-AP/
12	gouravdas18	/brajagopalcse/PAN2018/
16	schaetti18	/nschaetti/PAN18-Author-Profiling/
21	raiyni18	/kraiyni/author-profiling-pan-clef-2018
23	karlgreen18	/jussikarlgren/pan18/

Fonte: Classificações obtidas de PAN (2018), e repositórios encontrados pelo autor.

Tabela 6 – Soluções encontradas de participantes da competição DB_HYPERPARTISAN.

Posição	Equipe	Repositório de código no site < https://github.com/ >
1	bertha-von-suttner	/GateNLP/semEval2019-hyperpartisan-bertha-von-suttner/
4	tom-jumbo-grumbo	/chialun-yeh/SemEval2019/
10	clint-buchanan	/hmc-cs159-fall2018/final-project-team-mvp-10000/
13	paparazzo	/ngannlt/semEval2019-hyperpartisan-paparazzo/
17	spider-jerusalem	/amal994/hyperpartisan-detection-task/
19	doris-martin	/ixa-ehu/ixa-pipe-doc/

Fonte: (PAN, 2019a).

medidas de desempenho de classificador (ver a Subseção 3.4.2). Em seguida, será executado o processo completo da metodologia apresentada na Figura 8, para mensurar o desempenho computacional das ferramentas de armazenamento e indexação, e o desempenho do classificador com os atributos de RI.

3.2 ARMAZENAMENTO E INDEXAÇÃO

Para armazenar e indexar os corpus das tarefas de Mineração de Textos em bancos de dados, possibilitando o cálculo da função BM25 para que sejam gerados os atributos sugeridos na Seção 3.3 para cada exemplo, serão utilizadas as seguintes tecnologias que fazem implementações do BM25:

- **TOOL_ELASTIC:** Elasticsearch 7.2 é o mecanismo distribuído de análise e busca baseado no Apache Lucene⁵, desenvolvido em Java, e possui código aberto sob diversas licenças sendo a principal a Licença Apache⁶ (ELASTIC, 2019a; ELASTIC, 2019b).

O Elasticsearch possui diversas APIs que possibilitam sua integração fácil com variadas linguagens de programação (ELASTIC, 2019a), e tenta deixar todas suas funcionalidades disponíveis via sua API JSON pois internamente é no formato

⁵ Biblioteca de software livre e de código aberto para ferramentas de buscas em texto, escrita originalmente em Java (LUCENE, 2019).

⁶ Licença de software livre permissiva de autoria da Apache Software Foundation (ASF) (NEW MEDIA RIGHTS, 2015).

JSON⁷ que o Elasticsearch guarda os dados. Suporta também requisições GET em tempo real, o que o torna apropriado para armazenamento como um banco de dados NoSQL (Peter - Karussel, 2011; YAZıCı, 2018).

Dentre suas funções de indexação, o Elasticsearch possui um módulo de similaridade (*similarity module*) que é responsável pela implantação de funções para ranqueamento de documentos. Este módulo realiza uma implementação da função BM25 como sua função padrão para cálculo de similaridade sobre o nome de *BM25 similarity* (ELASTIC, 2019c).

- **TOOL_ARANGO:** ArangoDB v3.4.6 é um banco de dados multi-modelo nativo, desenvolvido principalmente em C++ com extensões em JavaScript, que possui código-fonte aberto e possibilita modelos de dados flexíveis, tanto para documentos, gráficos, e valores-chave (ARANGODB INC, 2019b; ARANGODB INC, 2019a).

Utiliza da linguagem de consulta AQL (*ArangoDB Query Language*) para recuperar e modificar dados, que, por meio das *views*⁸ do tipo arangosearch, introduz uma camada de integração com a biblioteca IResearch⁹. Assim, por meio da AQL integrada ao IResearch, o ArangoDB fornece funções de ordenação de documentos mediante uma consulta, e, dentre elas, a função BM25() faz uma implementação do algoritmo da função de ranqueamento BM25 (ARANGODB INC, 2019c).

- **TOOL_ZETTAIR:** Zettair v0.9.3 é um mecanismo de busca de código-fonte aberto escrito na linguagem C, projetado para ser compacto e pesquisar rapidamente em texto, desenvolvido pelo Grupo de Mecanismos de Busca do Instituto Real de Tecnologia de Melbourne em 2009 (RMIT University, 2009a). O Zettair permite que coleções no formato HTML ou TREC sejam indexadas para busca, e possui como característica principal a habilidade de lidar com grandes quantidades de texto, ele constrói índices invertidos por meio da análise feita no seu modo de construção de index (RMIT University, 2009b).

Os arquivos de índices invertidos construídos pelo Zettair podem então ser consultados utilizando duas medidas diferentes (RMIT University, 2009c):

- **–cosine:** Uma implementação da medida da similaridade do cosseno vista na Subsubseção 2.1.2.1; e
- **–okapi:** Implementação da função BM25, também chamada de Okapi BM25, como apresentada na Subsubseção 2.1.2.2.

⁷ *JavaScript Object Notation*, formato de objeto utilizado pela linguagem de programação JavaScript.

⁸ “Uma *view* (visão) em terminologia SQL é uma única tabela que é derivada de outras tabelas [...] é considerada uma tabela virtual” (ELMASRI; NAVATHE, 2010, p. 88).

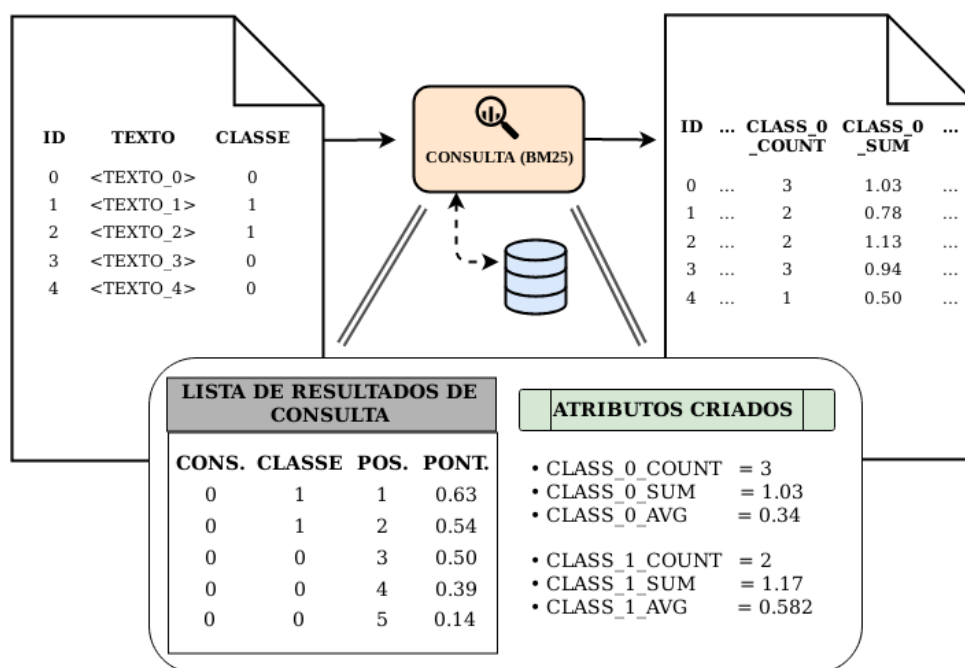
⁹ Biblioteca de mecanismo de busca orientada a documentos, multiplataforma, e de alto desempenho, escrita inteiramente em C++, com o foco em uma conectividade de diferentes modelos de ranqueamento/similaridade (IRESEARCH, 2019).

3.3 ATRIBUTOS DE RI SUGERIDOS

Os atributos baseados em Recuperação de Informação sugeridos para a presente pesquisa são fundamentados na investigação de Weren (2014), derivada de seus trabalhos anteriores (WEREN; MOREIRA; OLIVEIRA, 2014; WEREN et al., 2014), os quais mostram resultados positivos da utilização de atributos derivados de RI numa tarefa de Mineração de Texto. Nesses trabalhos, para identificação de perfis de autoria, são utilizados grupos de atributos derivados de RI, os quais representam a seguinte hipótese: os autores de um mesmo grupo de gênero ou idade tendem a usar termos semelhantes, e que a distribuição desses termos difere entre os grupos (WEREN, 2014, p. 20).

Esse mesmo pressuposto, da investigação feita por Weren (2014), é assumido aqui, sendo generalizado para outras classes de identificação de autoria, como por exemplo que autores de artigos hiperpartidários tendem a usar termos semelhantes, e a distribuição desses termos difere de autores não hiperpartidários.

Figura 9 – Metodologia de consulta aos BD para geração dos atributos sugeridos, exemplificação da lista de resultados para uma única consulta.



Fonte: O autor.

Cada exemplo do corpus a ser classificado será usado como consulta ao banco de dados NoSQL indexado, e cada uma destas consultas terá como resultado uma lista dos *top-k* exemplos presentes no banco de dados, ordenada por pontuação de similaridade da função BM25, sendo esta pontuação calculada pela ferramenta de armazenamento indexação. Este procedimento está representado na Figura 9.

O cálculo dos novos atributos será feito a partir da lista retornada dos *top-k* exemplos,

onde serão utilizadas as três funções de agregação sugeridas por Weren (2014, p. 21–23): (a) média, (b) soma, e (c) contagem, levando em conta a classe binária da tarefa de classificação. Assim, serão gerados os atributos apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Atributos derivados de RI sugeridos.

Exemplo Agregação	Não faz parte da classe da tarefa	Faz parte da classe da tarefa
Média aritmética das pontuações	CLASS_0_BM25_AVG	CLASS_1_BM25_AVG
Contagem do número de resultados	CLASS_0_BM25_COUNT	CLASS_1_BM25_COUNT
Soma das pontuações	CLASS_0_BM25_SUM	CLASS_1_BM25_SUM

Fonte: O autor.

3.4 MEDIDAS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Serão avaliados (a) o desempenho das ferramentas utilizadas para indexação e consulta, por meio da avaliação temporal do desempenho computacional, e também (b) o ganho de desempenho propiciado pelo uso dos atributos de RI em termos das medidas de classificadores de Mineração de Texto.

3.4.1 Desempenho computacional das ferramentas

Para avaliar o desempenho das ferramentas de armazenamento e indexação serão utilizadas duas medidas temporais:

- **TIME_INDEX**: Tempo de execução para indexar o conjunto de treinamento de cada um dos corpus para avaliação elencados na Seção 3.1. Dadas as quatro diferentes ferramentas de indexação e os dois corpus selecionados, serão computadas 8 TIME_INDEX para comparação;
- **TIME_QUERY**: Tempo para consulta de cada exemplo do conjunto de teste e geração dos atributos sugeridos na Seção 3.3 para o item específico. Dadas os 12 atributos sugeridos para criação distribuídas nos dois banco de dados selecionados, e dadas as 4 ferramentas de indexação, 48 TIME_QUERY serão computadas.

Essas variáveis serão computadas para cada uma das 4 ferramentas selecionadas sendo executadas no mesmo sistema computacional a fim de oferecer maior confiança aos números obtidos. O sistema computacional a ser utilizado para efetuar o experimento ainda não está definido, mas será especificado nos resultados.

3.4.2 Desempenho de classificador

O ganho de desempenho propiciado pelos atributos de RI criados será mensurado por medidas de desempenho de classificadores da literatura de mineração de dados, as mesmas também utilizadas na Mineração de Texto. Nesse estudo serão computadas as seguintes medidas:

- **CLF_ACC**: Acurácia do classificador no conjunto de validação.
- **CLF_F1**: F_1 -score do classificador no conjunto de validação.

A acurácia de um classificador, conforme apresentada na Subseção 2.2.4 definida pela Equação 2.13, é a razão entre o número de exemplos classificados corretamente, e o número total de exemplos, no caso em questão, a variável **CLF_ACC** a ser computada é referente ao conjunto de validação. O F_1 -score é uma medida de classificador que engloba a precisão e revocação (ou sensibilidade), e conforme apresentado na Subseção 2.2.4, é uma boa medida da efetividade de classificadores em termos comparação pois engloba mais informação do que a acurácia. É calculado conforme a definição dada pela Equação 2.12 da Subseção 2.2.4.

3.5 CRONOGRAMA

A Tabela 8 mostra o cronograma de atividades a serem executadas para o Trabalho de Conclusão II (TCC II), com base no calendário do período 2019.2 da UNIVASE, definido pelo Calendário Acadêmico 2019 da instituição.

Tabela 8 – Cronograma das atividades previstas para o TCC II.

Atividade	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Definição e obtenção dos corpus para avaliação	X					
Inspeção e seleção das soluções com código fonte disponível	X					
Instalação e familiarização com as ferramentas de arquivamento e indexação	X	X				
Indexação do conjunto de treinamento dos corpus		X	X			
Adição dos atributos de RI às soluções selecionadas		X	X			
Mineração dos dados por meio da reprodução das soluções selecionadas com/sem adição dos atributos de RI			X	X	X	
Escrita do TCC II	X	X	X	X	X	
Defesa do TCC II					X	

Fonte: O autor.

REFERÊNCIAS

- AGGARWAL, C. C. **Data Mining: The Textbook**. New York, NY, USA: Springer, 2015. 734 p. ISBN 9783319141411. Disponível em: <<https://www.springer.com/gp/book/9783319141411>>. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 27.
- AGGARWAL, C. C.; ZHAI, C. **Mining Text Data**. New York, NY, USA: Springer, 2012. 522 p. ISBN 9781461432227. Disponível em: <<https://www.springer.com/gp/book/9781461432227>>. Citado na página 8.
- ARANGODB INC. **ArangoDB - GitHub - arangodb/arangodb at 3.4.2**. 2019. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190712211053/https://github.com/arangodb/arangodb/tree/3.4.2>>. Citado na página 36.
- ARANGODB INC. **ArangoDB v3.4.6 Documentation: Introduction to ArangoDB Documentation**. 2019. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190712211033/https://www.arangodb.com/docs/3.4/index.html>>. Citado na página 36.
- ARANGODB INC. **ArangoSearch Views in AQL**. 2019. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190712211727/https://www.arangodb.com/docs/3.4/aql/views-arango-search.html#bm25>>. Citado na página 36.
- BAEZA-YATES, R.; RIBEIRO-NETO, B. **Modern Information Retrieval**. 1. ed. Essex, England: Addison-Wesley, 1999. 499 p. ISBN 978-0-201-39829-8. Citado na página 11.
- BAEZA-YATES, R.; RIBEIRO-NETO, B. **Modern Information Retrieval: The Concepts and Technology Behind Search**. 2. ed. Essex, England: Addison-Wesley, 2011. 913 p. ISBN 978-0-321-41691-9. Citado 5 vezes nas páginas 9, 12, 13, 16 e 17.
- BERRY, M. W.; KOGAN, J. **Text Mining: Applications and Theory**. 1. ed. Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons, 2010. 207 p. ISBN 9780470749821. Disponível em: <<https://www.wiley.com/en-br/Text+Mining:+Applications+and+Theory-p-9780470749821>>. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 31.
- BUSH, V. As We May Think. **SIGPC Note.**, ACM, New York, NY, USA, v. 1, n. 4, p. 36–44, abr. 1979. ISSN 0163-5816. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1113634.1113638>>. Citado na página 12.
- CAPPELLATO, L. et al. (Ed.). **Working Notes for CLEF 2014 Conference**, v. 1180, n. 1180 de **CEUR Workshop Proceedings**, (CEUR Workshop Proceedings, 1180). Aachen: [s.n.], 2014. ISSN 1613-0073. Disponível em: <<http://ceur-ws.org/Vol-1180>>.
- CHASKI, C. E. Author Identification In The Forensic Setting. **The Oxford Handbook of Language and Law**, maio 2012. Disponível em: <<http://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199572120.013.0036>>. Citado na página 8.
- CLEVERDON, C. The Evaluation of Systems Used in Information Retrieval. In: **Proceedings of the International Conference on Scientific Information: Two Volumes**. Washington, DC: The National Academies Press, 1959. p. 687–698. Disponível em: <<https://doi.org/10.17226/10866>>. Citado na página 12.

DONG, G.; LIU, H. **Feature Engineering for Machine Learning and Data Analytics**. 1. ed. Boca Raton, FL, EUA: CRC Press, 2018. 400 p. ISBN 9781315181080. Disponível em: <<https://www.taylorfrancis.com/books/e/9781315181080>>. Citado na página 27.

ELASTIC. **Elasticsearch: A Distributed RESTful Search Engine - GitHub - elastic/elasticsearch at 7.2**. 2019. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190712125715/https://github.com/elastic/elasticsearch/tree/7.2>>. Citado na página 35.

ELASTIC. **Elasticsearch Reference [7.2] » Elasticsearch introduction**. 2019. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190712125432/https://www.elastic.co/guide/en/elasticsearch/reference/7.2/elasticsearch-intro.html>>. Citado na página 35.

ELASTIC. **Elasticsearch Reference [7.2] » Index modules » Similarity module**. 2019. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190712131555/https://www.elastic.co/guide/en/elasticsearch/reference/current/index-modules-similarity.html>>. Citado na página 36.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. **Sistemas de Banco de Dados**. 6. ed. São Paulo, Brasil: Pearson Education do Brasil, 2010. 788 p. ISBN 9788579360855. Citado na página 36.

FELDMAN, R.; DAGAN, I. Knowledge Discovery in Textual databases (KDT). In: FAYYAD, U.; UTHURUSAMY, R. (Ed.). **Proceedings of the First International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining**. AAAI Press, 1995. (KDD'95), p. 112–117. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=3001335.3001354>>. Citado na página 21.

FELDMAN, R.; SANGER, J. **Text Mining Handbook: Advanced Approaches in Analyzing Unstructured Data**. 1. ed. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2006. 410 p. ISBN 0521836573, 9780521836579. Citado 8 vezes nas páginas 8, 9, 21, 22, 23, 25, 27 e 28.

GROSSMAN, D. A.; FRIEDER, O. **Information Retrieval: Algorithms and Heuristics**. 2. ed. Chicago, IL, USA: Springer, 2004. 332 p. (The Kluwer International Series of Information Retrieval). ISBN 9781402030048. Citado na página 11.

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. **Data Mining: Concepts and Techniques**. 3rd. ed. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2011. 703 p. ISBN 0123814790, 9780123814791. Citado 7 vezes nas páginas 8, 21, 22, 25, 30, 31 e 32.

IRESEARCH. **IRearch search engine: Version 1.0 - GitHub - iresearch-toolkit/iresearch at arangodb-3.4**. 2019. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190712233055/https://github.com/iresearch-toolkit/iresearch/tree/arangodb-3.4>>. Citado na página 36.

JO, T. **Text Mining: Concepts, Implementation, and Big Data Challenge**. 1. ed. Springer International Publishing, 2018. 373 p. (Studies in Big Data, 45). ISBN 9783319918143. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/978-3-319-91815-0>>. Citado 7 vezes nas páginas 8, 9, 21, 22, 23, 24 e 27.

JONES, K. S. **Information Retrieval Experiment**. Newton, MA, USA: Butterworth-Heinemann, 1981. ISBN 0408106484. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=539571>>. Citado na página 16.

KIESEL, J. et al. **Data for PAN at SemEval 2019 Task 4: Hyperpartisan News Detection**. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.5281/zenodo.1489920>>. Citado na página 34.

KODRATOFF, Y. Knowledge Discovery in Texts: A Definition, and Applications. In: **Proceedings of the 11th International Symposium on Foundations of Intelligent Systems**. Londres, Reino Unido: Springer-Verlag, 1999. (ISMIS '99), p. 16–29. ISBN 3-540-65965-X. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=646358.689959>>. Citado na página 21.

KOWALSKI, G. **Information Retrieval Architecture and Algorithms**. 1. ed. Ashburn, VA, USA: Springer, 2010. 305 p. ISBN 9781441977151. Citado na página 9.

KWARTLER, T. **Text Mining in Practice With R**. 1. ed. Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons, 2017. 307 p. ISBN 9781119282013. Disponível em: <<https://www.wiley.com/en-us/Text+Mining+in+Practice+with+R-p-9781119282013>>. Citado na página 24.

LAROSE, D. T.; LAROSE, C. D. **Discovering Knowledge in data: An Introduction to Data Mining**. Hoboken, New Jersey, EUA: Wiley, 2014. 316 p. ISBN 9780470908747. Disponível em: <<https://www.wiley.com/en-br/Discovering+Knowledge+in+Data:+An+Introduction+to+Data+Mining,+2nd+Edition-p-9780470908747>>. Citado na página 25.

LINUX MINT. **xed - GitHub - linuxmint/xed**. 2019. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190506095954/https://github.com/linuxmint/xed>>. Citado na página 23.

LUCENE. **Apache Lucene™ 8.1.1 Documentation**. 2019. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20190712130658/https://lucene.apache.org/core/8_1_1/index.html>. Citado na página 35.

LYMAN, P.; VARIAN, H. R. How much information 2003? <http://www.sims.berkeley.edu/research/projects/how-much-info-2003/>, 2003. Disponível em: <<http://www2.sims.berkeley.edu/research/projects/how-much-info-2003/>>. Citado na página 8.

MA, Y.; TANG, J.; AGGARWAL, C. Feature Engineering for Data Streams. In: DONG, G.; LIU, H. (Ed.). **Feature Engineering for Machine Learning and Data Analytics**. 1. ed. Boca Raton, FL, EUA: CRC Press, 2018. cap. 5, p. 117–143. ISBN 9781315181080. Disponível em: <<https://www.taylorfrancis.com/books/e/9781315181080/chapters/10.1201/9781315181080-5>>. Citado na página 9.

MANNING, C. D.; RAGHAVAN, P.; SCHÜTZE, H. **Introduction to Information Retrieval**. 1. ed. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 2008. 482 p. ISBN 9780511414053. Citado 8 vezes nas páginas 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19 e 20.

MOORE, G. E. **Progress in Digital Integrated Eletronics**. 1975. 11–13 p. Disponível em: <<http://ai.eecs.umich.edu/people/conway/VLSI/BackgroundContext/SMErpt/AppB.pdf>>. Citado na página 12.

NEW MEDIA RIGHTS. **Open Source Licensing Guide**. 2015. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20190712132826/https://www.newmediarights.org/open_source/new_media_rights_open_source_licensing_guide>. Citado na página 35.

PAN. **Author Profiling PAN @ CLEF 2018**. 2018. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190712001219/https://pan.webis.de/clef18/pan18-web/author-profiling.html>>. Citado 3 vezes nas páginas 33, 34 e 35.

PAN. **Hyperpartisan News Detection: Leaderboard - PAN @ SemEval 2019**. 2019. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190803162634/https://pan.webis.de/semeval19/semeval19-web/leaderboard.html>>. Citado na página 35.

PAN. **Hyperpartisan News Detection PAN @ SemEval 2019**. 2019. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190711231940/https://pan.webis.de/semeval19/semeval19-web/index.html>>. Citado na página 34.

PAN'07 Workshop. **International Workshop on Plagiarism Analysis, Authorship Identification, and Near-Duplicate Detection (PAN)**. 2007. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190711212207/https://www.uni-weimar.de/medien/webis/events/pan-07/pan07-web/>>. Citado na página 33.

Peter - Karussel. **Jetslide uses ElasticSearch as Database**. 2011. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190712183200/https://karussell.wordpress.com/2011/07/13/jetslide-uses-elasticsearch-as-database/>>. Citado na página 36.

RANGEL, F. et al. Overview of the 2nd Author Profiling Task at PAN 2014. In: CAPPELLATO, L. et al. (Ed.). **CLEF 2014: CLEF2014 Working Notes**. Aachen: [s.n.], 2014. (CEUR Workshop Proceedings, 1180), p. 989–927. ISSN 1613-0073. Disponível em: <<http://ceur-ws.org/Vol-1180/CLEF2014wn-Pan-RangelEt2014.pdf>>. Citado na página 8.

RANGEL, F. et al. Overview of the 6th Author Profiling Task at PAN 2018: Multimodal Gender Identification in Twitter. **Working Notes Papers of the CLEF**, 2018. Disponível em: <http://ceur-ws.org/Vol-2125/invited_paper_15.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 33.

RANGEL, F. et al. Overview of the 5th Author Profiling Task at PAN 2017: Gender and Language Variety Identification in Twitter. **Working Notes Papers of the CLEF**, 2017. Disponível em: <http://ceur-ws.org/Vol-1866/invited_paper_11.pdf>. Citado na página 34.

RMIT University. **Zettair Homepage: Introduction**. 2009. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190713000005/http://www.seg.rmit.edu.au/zettair/index.html>>. Citado na página 36.

RMIT University. **Zettair Index Build**. 2009. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190713000144/http://www.seg.rmit.edu.au/zettair/doc/Build.html>>. Citado na página 36.

RMIT University. **Zettair User Guide**. 2009. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190713000200/http://www.seg.rmit.edu.au/zettair/doc/Readme.html>>. Citado na página 36.

ROBERTSON, S. The Probabilistic Relevance Framework: BM25 and Beyond. **Foundations and Trends® in Information Retrieval**, v. 3, n. 4, p. 333–389, 2010. ISSN 1554-0669, 1554-0677. Disponível em: <<http://www.nowpublishers.com/product.aspx?product=INR&doi=1500000019>>. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.

ROBERTSON, S. E. et al. Okapi at TREC-3. In: HARMAN, D. K. (Ed.). **Overview of the Third Text REtrieval Conference (TREC-3)**. Washington, DC: [s.n.], 1996. (NIST Special Publication, 500-225), p. 109–126. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190723231216/https://www.computing.dcu.ie/~gjones/Teaching/CA437/city.pdf>>. Citado na página 18.

SAMMUT, C.; WEBB, G. I. (Ed.). **Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining**. 2. ed. [S.l.]: Springer Science+Business Media New York, 2017. 1335 p. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 9.

SANDERSON, M.; CROFT, W. B. The History of Information Retrieval Research. **Proceedings of the IEEE**, v. 100, n. Special Centennial Issue, p. 1444–1451, maio 2012. ISSN 0018-9219. Citado 3 vezes nas páginas 11, 12 e 14.

TAN, P.-N.; STEINBACH, M.; KUMAR, V. **Introduction to Data Mining**. Harlow, Essex, Inglaterra: Pearson, 2014. 732 p. ISBN 9781292026152. Disponível em: <<https://www.pearsonelt.ch/HigherEducation/Pearson/EAN/9781292026152/Introduction-to-Data-Mining-Pearson-New-International-Edition>>. Citado 4 vezes nas páginas 25, 26, 27 e 29.

TAUBE, M.; GULL, C. D.; WACHTEL, I. S. Unit terms in coordinate indexing. **Journal of the Association for Information Science and Technology**, v. 3, n. 4, p. 213–218, abr. 1952. Citado na página 12.

TURCHI, M.; MAMMONE, A.; CRISTIANINI, N. Analysis of Text Patterns Using Kernel Methods. In: SRIVASTAVA, A. N.; SAHAMI, M. (Ed.). 1. ed. Chapman & Hall/CRC, 2009, (Chapman & Hall/CRC Data Mining and Knowledge Discovery Series). cap. 1, p. 1–25. ISBN 9781420059403. Disponível em: <<https://www.taylorfrancis.com/books/e/9781315181080/chapters/10.1201/9781315181080-5>>. Citado na página 25.

W3C. **Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition): W3C Recommendation 26 November 2008**. 2008. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190804210831/https://www.w3.org/TR/2008/REC-xml-20081126/>>. Citado na página 24.

WALTER, C. **Kryder's Law**. 2005. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190731213726/https://www.scientificamerican.com/article/kryders-law/>>. Citado na página 12.

WEREN, E. R. D. **Atribuição de Perfis de Autoria**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, BR-RS, novembro 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/108592>>. Citado 5 vezes nas páginas 2, 9, 23, 37 e 38.

WEREN, E. R. D. et al. Examining Multiple Features for Author Profiling. **Journal of Information and Data Management**, v. 5, n. 3, p. 266–279, outubro 2014. ISSN 2178-7107. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/jidm/article/view/282>>. Citado 3 vezes nas páginas 8, 23 e 37.

WEREN, E. R. D.; MOREIRA, V. P.; OLIVEIRA, J. P. M. de. Exploring Information Retrieval features for Author Profiling. In: CAPPELLATO, L. et al. (Ed.). **CLEF 2014: CLEF2014 Working Notes**. Aachen: [s.n.], 2014. (CEUR Workshop Proceedings, 1180), p. 1164–1171. ISSN 1613-0073. Disponível em: <<http://ceur-ws.org/Vol-1180/CLEF2014wn-Pan-WerenEt2014.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 2, 23 e 37.

WIKIPÉDIA. **Portal:Conteúdo destacado**. 2019. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20190505054741/https://pt.wikipedia.org/wiki/Portal:Conte%C3%BAdo_destacado>. Citado na página 24.

YAZICI, V. **Using Elasticsearch as the Primary Data Store**. 2018. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20190712183146/https://vlkan.com/blog/post/2018/11/14/elasticsearch-primary-data-store/>>. Citado na página 36.

ZHAI, C.; MASSUNG, S. **Text Data Management and Analysis: A Practical Introduction to Information Retrieval and Text Mining**. 1. ed. [S.l.]: ACM Books, 2016. 510 p. ISBN 9781970001174. Citado 6 vezes nas páginas 8, 9, 16, 18, 19 e 29.

ZHENG, A.; CASARI, A. **Feature Engineering for Machine Learning**. 1. ed. Sebastopol, CA, EUA: O'Reilly, 2018. 200 p. ISBN 9781491953242. Disponível em: <<http://oreilly.com/catalog/errata.csp?isbn=9781491953242>>. Citado na página 27.