SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito: 09.12.2002

Assinatura: *Maria da Graça Campos Pimentel*

Investigando abordagens para a criação automática de ligações entre repositórios web¹

José Antonio Camacho Guerrero

Orientadora: *Profa. Dra. Maria da Graça Campos Pimentel*

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Computação e Matemática Computacional.

USP – São Carlos
Dezembro/2002

¹ Trabalho realizado com o apoio financeiro da FAPESP (00/14103-6)

A Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Maria da Graça Campos Pimentel

Profa. Dra. Maria das Graças Volpe Nunes

Prof. Dr. Wagner Meira Junior

Dedicatória

Dedico a minhas famílias, mexicana e brasileira, que contribuíram fortemente em meu "crescimento", e a minha esposa, Alessandra, o principal motivo pelo qual estou neste ponto da minha vida.

Agradecimentos

Inicialmente agradeço a Deus, por toda proteção e força.

À minha orientadora, Graça Pimentel, por seus ensinamentos, críticas e sugestões que muito me ajudaram no desenvolvimento do trabalho.

Aos professores Renata Fortes e Dorival Leão, pelas dúvidas esclarecidas e pelas valiosas sugestões.

À FAPESP (00/14103-6) pelo apoio financeiro.

Àqueles que participaram dos experimentos de Relevance Feedback.

Aos amigos do Laboratório Intermídia, Juninho, Renato, Renan, Andrya, Claudia, Laércio, Dilean, Débora e Elaine.

Às secretárias da Pós-Graduação, Belh, Laura e Ana Paula, e Tatiana, do Departamento Financeiro.

À minhas famílias pelo apoio, carinho e amor eternos.

Agradeço a minha esposa o amor, a confiança, a compreensão, a ajuda e a infinita paciência dedicados a mim todos esses dias.

Resumo

Muitas de nossas experiências cotidianas são apoiadas pela troca de informações a qual pode ser capturada de modo a suportar a geração automática de hiperdocumentos que correspondem às experiências capturadas. O Projeto eClass do *Georgia Institute of Technology* utiliza computação ubíqua para a captura de informações em ambientes de sala de aula a fim de permitir a produção automática de documentos hipermídia que refletem o conteúdo capturado. Ambientes como os do Projeto eClass permitem a autoria automática de ligações hipertexto a partir da interação do usuário com o ambiente ubíquo. Serviços de criação automática de ligações entre repositórios Web podem explorar técnica de Recuperação de Informação, como demonstram trabalhos que vêm sendo desenvolvidos pelo grupo de pesquisa no qual este trabalho está inserido. No entanto, tais técnicas normalmente permitem a identificação de ligações que não deveriam ser geradas (ligações imprecisas), ao mesmo tempo que não permitem identificar todas as ligações que deveriam ter sido geradas (ligações relevantes). Esses fatos motivaram o trabalho apresentado, que tem como objetivo aprimorar a precisão dos resultados obtidos pelos serviços de criação automática de ligações e, conseqüentemente, aproximar as ligações criadas àquelas esperadas pelos usuários. Para alcançar esse objetivo, foram utilizadas abordagens de Recuperação de Informação e de Sistemas Hipermídia Abertos para armazenamento das ligações criadas. Através das investigações, foi possível a verificação e a seleção de informações que representam melhor o conteúdo das coleções de informações manipuladas no sentido de prover ligações mais precisas. Como resultado, foram definidos procedimentos, que deram origem a um serviço configurável de criação automática de ligações.

Abstract

Many everyday experiences are based on the exchange of information which can be captured to support the automatic generation of multimedia hyperdocuments corresponding to those experiences. The eClass Project, developed at the *Georgia Institute of Technology*, exploits ubiquitous computing technologies to capture information in classrooms towards allowing the automatic generation of hypermedia documents corresponding to live lectures. Such environments allow the automatic generation of hypertext links from the interaction between users and their ubiquitous computing environments. When the documents generated are made available in the Web, there is a demand for services that support the automatic identification of hypertext links among the documents themselves or among those documents and other web-based material; such services can make use of Information Retrieval techniques. However, Information Retrieval techniques usually lead to the identification of relationships that should not have been generated (generating non-relevant links) at the same time that fail to identify all relevant relationships (poor recall). The aim of this work is to build upon automatic linking services in order to further investigate information retrieval techniques towards improving the quality of the relationships identified. The investigations have used a collection of documents from online Brazilian Newspapers and the Cystic Fibrosis Collection. The relationships identified have been used to generate links among the repositories investigated, while the links have been stored in an open hypermedia linkbase to allow their use by any applications. The positive results of the investigations have defined the requirements for a configurable automatic linking service made available as a contribution of this work.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Considerações Iniciais	1
1.2	Contextualização	2
1.3	Problema	3
1.4	Objetivo	4
1.5	Metodologia	4
1.6	Resultados	4
1.7	Estrutura do Texto	5
2	Recuperação de Informação	6
2.1	Considerações Iniciais	6
2.2	Modelos Clássicos	7
2.2.1	Análise da Semântica Latente	8
2.3	Esquemas Clássicos de Atribuição de Pesos	11
2.4	Consultas	13
2.4.1	Consultas Baseadas em Palavras	14
2.4.2	Expansão de Consultas	15

2.5	Medidas Clássicas de Avaliação	18
2.6	Considerações Finais	19
3	Sistemas Hipermedia Abertos	20
3.1	Considerações Iniciais	20
3.2	Características de Sistemas Hipermedia Abertos	21
3.3	Requisitos de Sistemas Hipermedia Abertos	22
3.4	Protocolo Hipermedia Aberto e o Padrão XML	23
3.5	Estudo de Caso de SHA: Web Linkbase Service	25
3.5.1	Requisitos do WLS	25
3.5.2	Modelagem do WLS	26
3.5.3	A Arquitetura do WLS	27
3.6	Considerações Finais	28
4	Criação Automática de Ligações	29
4.1	Considerações Iniciais	29
4.2	Serviço de Criação Automática de Ligações Semânticas	31
4.2.1	Contexto	31
4.2.2	Motivação	31
4.2.3	Infra-estrutura	32
4.2.4	Implementação	33
4.2.5	Experimentos	34

4.3	Serviço Aberto de Criação Automática de Ligações Semânticas	36
4.3.1	Motivação	36
4.3.2	Infra-estrutura	37
4.3.3	Implementação	38
4.3.4	LinkDigger	39
4.3.5	Experimento	40
4.4	Considerações Finais	41
5	Investigando abordagens de IR para a criação automática de ligações entre repositórios	42
5.1	Considerações Iniciais	42
5.2	Definição dos Experimentos	43
5.2.1	Ambiente operacional	43
5.2.2	Descrição das informações manipuladas	43
5.2.3	Medidas de avaliação	44
5.3	Variação de Esquemas de Atribuição de Pesos e de Limiares de Similaridade	45
5.3.1	Procedimento	46
5.3.2	Resultados	47
5.4	Redução Baseada em Distribuições Matemáticas	49
5.4.1	Procedimento	50
5.4.2	Resultados	52
5.5	Inclusão de Feedback de Usuários	53
5.5.1	Procedimento	55

5.5.2	Resultados	57
5.6	Definição de um Serviço Configurável	58
5.6.1	Procedimento	60
5.7	Considerações Finais	62
6	Conclusões	64

Lista de Figuras

3.1	Modelo conceitual do WLS (Bulcão Neto, 2001)	26
3.2	Arquitetura do WLS (Bulcão Neto, 2001)	28
4.1	Infra-estrutura para a geração automática de ligações baseadas nos conceitos de Análise da Semântica Latente (Macedo et al., 2001)	33
4.2	Ligações manuais (preto), ligações lexicais automáticas (branco) e ligações semânticas automáticas (cinza), separadas nas 18 aulas de um curso de seminário capturado pelo eClass e documentado na CoWeb (Macedo et al., 2001)	35
4.3	Infra-estrutura para representação da geração automática de ligações semânticas abertas Web (Macedo et al., 2002b)	37
4.4	Procedimento “OpenLatentSemanticLinking” (Macedo et al., 2002b)	38
4.5	(a) Interface de ativação do LinkDigger e (b) Interface de resultados	40
5.1	Procedimento “computeWeight”	46
5.2	Índices de revocação (linhas claras) e de precisão (linhas escuras) das ligações identificadas na coleção JB utilizando os três esquemas de atribuição de pesos dos termos com a variação dos limiares de similaridade de 50 a 100%	48

5.3	Índices de revocação (linhas claras) e de precisão (linhas escuras) das ligações identificadas na coleção CF utilizando os três esquemas de atribuição de pesos dos termos com a variação dos limiares de similaridade de 50 a 100%	49
5.4	Distribuições Matemáticas para representar os esquemas de atribuição de pesos a termos da coleção JB. (a) <i>Esquema 1</i> , (b) <i>Esquema 2</i> e (c) <i>Esquema 3</i>	50
5.5	Distribuições Matemáticas para representar os esquemas de atribuição de pesos a termos da coleção CF. (a) <i>Esquema 1</i> , (b) <i>Esquema 2</i> e (c) <i>Esquema 3</i>	51
5.6	Procedimento “MathematicReductionProcedure”	51
5.7	Variação dos índices de precisão e de revocação de acordo com a variação da porcentagem de termos eliminados da coleção JB de documentos. Nesse experimento foram considerados o Esquema 1 de atribuição de pesos e 90% de limiar de similaridade	53
5.8	Variação dos índices de precisão e de revocação de acordo com a variação da porcentagem de termos eliminados da coleção CF de documentos. Nesse experimento foram considerados o Esquema 1 de atribuição de pesos e 90% de limiar de similaridade	54
5.9	Infra-estrutura para geração de ligações semânticas entre repositórios Web com a participação do usuário através do método de <i>relevance feedback</i> (Macedo et al., 2002a)	55
5.10	Procedimento “Uso de <i>Relevance Feedback</i> ”	56
5.11	Infra-estrutura configurável para a geração automática de ligações Web	59
5.12	Procedimento “FlexibleServiceLinking”	61
5.13	Interface do LinkDigger para configuração dos parâmetros	62

Lista de Tabelas

2.1	Esquemas de atribuição de pesos (adaptada de (Salton and Buckley, 1988))	12
3.1	Parâmetros das mensagens do OHP (Grønbaek et al., 1999)	24
5.1	Características das coleções de documentos utilizadas nos experimentos	44
5.2	Informações obtidas a partir do experimento com LinkDigger considerando <i>relevance feedback</i>	58

Capítulo 1

Introdução

1.1 Considerações Iniciais

Nossas experiências diárias são apoiadas pela troca de informações que, se capturadas, podem suportar a geração automática de documentos hipernúdia os quais podem, por sua vez, ser armazenados, recuperados, relacionados e visualizados ao longo do tempo.

Sistemas que suportam a captura e a apresentação automática de experiências ao vivo eliminam o trabalho humano nas atividades de registro dessas experiências e, conseqüentemente, eliminam a sobrecarga cognitiva despendida para tal tarefa. Vários trabalhos relacionados a esse tema têm sido apresentados em (Aragão et al., 2001). XCapture (Hindus and Schmandt, 1992) captura informações de áudio de conversações telefônicas e provê um meio de acessar seu conteúdo. Os sistemas Tivoli (Pedersen et al., 1993) e LiveBoard (Elrod et al., 1992) suportam o registro de reuniões. Em geral, os artefatos produzidos durante a reunião são marcados em relação ao tempo (*timestamped*). Essa marcação temporal é utilizada posteriormente à captura para indexar os registros de áudio e de vídeo. Esquema semelhante é suportado pelo Authoring on the Fly (Ottman and Becher, 1995) e pelo Lecture Browser (Mukhopadhyaya and Smith, 1999). Já o XLibris (Price et al., 1998) é um ambiente que apresenta informações utilizando a metáfora de “escrita sobre folha de papel” e permite que usuários criem e relacionem as anotações sobre “folhas de papel” eletrônicas.

O Projeto eClass, desenvolvido no Georgia Institute of Technology (GATECH), investiga a utilização de computação ubíqua para a captura de informações em ambientes de

sala de aula convencionais, de modo a permitir a produção automática de documentos hipernúdia que refletem o conteúdo capturado e a apresentação desse material por meio da Web (Abowd, 1999) (Abowd et al., 1998a) (Abowd et al., 1998b) (Brotherton and Abowd, 1998) (Brotherton et al., 1998). Esses hiperdocumentos são baseados em ligações hipertexto criadas a partir da interação do usuário com o ambiente ubíquo (Pimentel et al., 2000).

A partir das experiências adquiridas com o Projeto eClass, uma parceria de cooperação internacional entre o grupo do GATECH, financiado pelo NSF/EUA no GATECH, e o grupo de pesquisa da orientadora desta dissertação, financiado pelo ProTeM-CC/CNPq/Brasil, tem como objetivos:

- desenvolver a infra-estrutura InCA (*Infrastructure for Capture and Access*), que deve prover serviços para captura e acesso de informações associadas a experiências diárias para vários domínios. Além de uma estrutura para aplicações que dêem suporte à captura de atividades realizadas ao vivo, a InCA deve suportar um modelo de informação extensível para a captura de experiências que podem ser utilizadas para integrar as atividades que ocorrem fora da sessão de captura;
- desenvolver a infra-estrutura SERVE (*Infrastructure for Store, Extend, Retrieve and Visualize of Evolutionary Information*), que deve suportar serviços de armazenamento, extensão, recuperação e visualização das informações hipernúdia evolucionárias capturadas pela InCA;
- utilizar as infra-estruturas InCA-SERVE na construção de aplicações de suporte a atividades de ensino nos ambientes do ICMC-USP e do GATECH.

O presente trabalho se insere no projeto de desenvolvimento das infra-estruturas InCA-SERVE (Pimentel and Abowd, 1999).

1.2 Contextualização

Os ambientes XCapture, Tivoli, LiveBoard, Authoring on the Fly, Lecture Browser, XLibris e eClass são centrados na captura de experiências públicas individuais ou em grupo, e permitem a definição, ou autoria, de ligações hipertexto a partir da interação do usuário com o ambiente ubíquo. Entretanto, a criação automática de ligações sem

qualquer intervenção de usuário diminui a sobrecarga cognitiva despendida nessa tarefa e por isso, torna-se uma importante ferramenta de auxílio à autoria de hiperdocumentos.

Serviços de criação automática de ligações entre repositórios Web contendo informações homogêneas foram trabalhos desenvolvidos em conjunto pelo autor junto ao grupo de pesquisa no qual está inscrito (Pimentel et al., 2001b) (Macedo et al., 2001) (Macedo et al., 2002b).

A primeira abordagem investigada pelo grupo foi a de comparações lexicais para integrar dois repositórios complementares de informações associadas a um mesmo curso de pós-graduação (Pimentel et al., 2001b). Contudo, essas comparações lexicais ocasionavam problemas para relacionar, por exemplo, palavras sinônimas com grafias distintas. Uma segunda abordagem definiu uma infra-estrutura para a geração automática de ligações baseadas em estruturas semânticas extraídas de repositórios Web (Macedo et al., 2001). A necessidade de inclusão de marcações (*tags*) em documentos para a definição de ligações pode ser um obstáculo para os serviços automáticos. Na tentativa de explorar as contribuições de Sistemas Hiperímídia Abertos sobre repositórios Web, foi proposta uma infra-estrutura aberta para a criação de ligações hiperímídia a partir de estruturas semânticas implícitas entre repositórios homogêneos Web (Macedo et al., 2002b).

Para verificar a utilidade das infra-estruturas propostas, foram realizados experimentos, apresentados em (Pimentel et al., 2001b) (Macedo et al., 2001) (Macedo et al., 2002b), que demonstram grandes variações de precisão na definição automática de ligações.

1.3 Problema

Através da utilização de serviços que automaticamente criam ligações, usuários são capazes de identificar relacionamentos entre documentos armazenados em repositórios Web sem ter que formular consultas apropriadas ou navegar através de todo o espaço de informação. Porém, existem situações em que esses serviços oferecem grandes variações de precisão na definição dos relacionamentos. Por esse motivo, torna-se importante a investigação de abordagens que permitam aprimorar a precisão dos resultados obtidos por serviços de criação automática de ligações.

1.4 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo aprimorar a precisão dos resultados obtidos pelos serviços de criação automática de ligações desenvolvidos pelo grupo e criar maneiras de adequar esses serviços às necessidades dos usuários.

1.5 Metodologia

Para alcançar o objetivo proposto, foram investigadas abordagens de recuperação de informação (Information Retrieval - IR) para criação de ligações mais precisas e conceitos de Sistemas Hipermídia Abertos para armazenamento das ligações criadas. As abordagens de IR investigadas foram:

- variação de esquemas de atribuição de pesos dos índices dos documentos a serem relacionados;
- variação de limiares de similaridade durante verificações de similaridades entre documentos candidatos a definição de ligações hipertexto;
- definição de distribuições matemáticas dos resultados definidos pelos serviços; e
- inclusão da participação de usuários no processo de criação de ligações entre documentos (*relevance feedback*).

Para a realização das investigações citadas e para comparações de resultados, foram definidos diversos experimentos com as mesmas coleções de documentos e realizadas extensões aos serviços de criação automática de ligações.

1.6 Resultados

A partir da investigação das abordagens de IR citadas, foi possível verificar um aprimoramento de precisão dos resultados obtidos com os serviços de criação automática de ligações. Explorando esse resultado positivo, foi definido um serviço configurável de criação automática de ligações, o qual permite a especificação, automática ou manual, de parâmetros a serem utilizados pelos serviços de criação automática de ligações. Os

parâmetros configurados automaticamente são adequados ao contexto no qual o serviço é aplicado, enquanto que os parâmetros de configuração manual permitem ajustes dos resultados segundo as expectativas dos usuários.

Os resultados obtidos com este trabalho têm contribuído para o avanço das pesquisas do projeto InCA-SERVE, principalmente em relação à infra-estrutura SERVE, sendo que o trabalho proporciona mecanismos de recuperação, integração, armazenamento e visualização de informações contidas em repositórios Web.

1.7 Estrutura do Texto

Este capítulo apresenta o contexto no qual se insere este trabalho, a motivação para seu desenvolvimento, os objetivos propostos e os resultados alcançados. No Capítulo 2 são apresentados conceitos fundamentais de recuperação de informação com foco em modelos clássicos de representação de informação, em esquemas de atribuição de pesos a termos, em consultas e em medidas de avaliação. No Capítulo 3 são apresentadas características, requisitos, protocolos e um estudo de caso de Sistemas Hipermídia Abertos. No Capítulo 4 são apresentados os serviços de criação automática de ligações que motivaram este trabalho e, no Capítulo 5, são apresentados os experimentos realizados para suportar as investigações propostas de abordagens de IR e o serviço configurável de criação automática de ligações criado durante as investigações. Por fim, no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões, as contribuições e os trabalhos futuros.

Capítulo 2

Recuperação de Informação

2.1 Considerações Iniciais

Com o crescimento da Web e a conseqüente disponibilidade de coleções de documentos *online*, tornou-se fundamental a investigação de mecanismos rápidos e eficientes para busca e recuperação de informações. Assim, a área de Recuperação de Informação (Information Retrieval - IR), que há tempos vem realizando estudos de técnicas e de mecanismos para a recuperação de informação, teve grande impulso em suas pesquisas. Antes do surgimento da Web, a maioria das aplicações de recuperação de informação manipulava principalmente base de dados bibliográficos com grande volume de informação. Essas aplicações geralmente utilizavam lógica booleana para a realização de consultas em seus repositórios.

Indexação é um procedimento para a transformação de documentos em estruturas de dados digitalizadas, que representam conceitos lógicos dos documentos. Porém, o conteúdo original do documento certamente continua sendo a melhor representação conceitual do documento. Alguns desafios para os pesquisadores de IR estão relacionados à representação completa dos documentos a fim de gerar representações mais compactas sem perdas de conteúdo. Modelos de representação de informações e esquemas eficientes de atribuição de pesos procuram aprimorar o processo de indexação facilitando a recuperação de documentos relevantes e reduzindo tempo de computação e espaço em memória de sistemas de IR. A relevância dos documentos recuperados pode ser avaliada, por exemplo, por um conjunto de medidas clássicas denominadas índices de precisão e de revocação. Alguns pesquisadores propõem novas medidas (Jin et al., 2001) e metodologias (Soboroff

et al., 2001) para avaliar o desempenho de sistemas de IR, contudo índices de precisão e de revocação continuam sendo os mais utilizados (Baeza-Yates and Ribeiro-Neto, 1999).

Neste capítulo, são apresentados conceitos fundamentais de IR com foco em modelos clássicos de representação de informação, em esquemas de atribuição de pesos a termos, em consultas e em medidas de avaliação. Abordagens de IR motivaram o trabalho apresentado nesta dissertação no sentido de buscar soluções na literatura e de explorá-las para melhorar o desempenho de serviços de criação automática de ligações entre repositórios Web. Pretende-se utilizar esses serviços sobre informações de captura de experiências de salas de aulas suportadas pelo Projeto InCA-SERVE e informações distribuídas pela Web com material didático daqueles cursos capturados.

2.2 Modelos Clássicos

Os modelos clássicos em IR consideram que cada documento é descrito por um conjunto de palavras-chave chamadas índices. Existem três modelos clássicos – booleano, probabilístico e vetorial – os quais utilizam esses índices para calcular o grau de correlação entre os documentos (Baeza-Yates and Ribeiro-Neto, 1999).

O *Modelo Booleano* representa documentos com base na teoria de conjuntos e na álgebra booleana com a qual os documentos são representados por um conjunto de índices. A esses índices podem ser atribuídos pesos binários, isto é, “1” se o índice existir no conteúdo do documento ou “0” caso contrário.

O *Modelo Probabilístico* é baseado na estimativa das probabilidades que usuários têm de encontrar documentos relevantes à consulta. Esse modelo assume que, dada uma consulta, existe um conjunto resposta ideal e o processo de busca está baseado na tentativa de encontrar as propriedades desse conjunto (Robertson and Jones, 1976).

Utilizando esse modelo, usuários interagem com interfaces de busca para indicar os documentos relevantes. Após algumas interações, as descrições probabilísticas do conjunto resposta devem estar próximas às descrições do conjunto resposta ideal.

O maior problema enfrentado por esse modelo é que o processo inicial de modelagem é baseada em suposições de probabilidades para os termos da coleção de documentos.

No *Modelo Vetorial*, cada documento é representado por um vetor numérico no qual

cada elemento representa um termo, e para cada um desses termos são atribuídos pesos parciais. Esses pesos indicam a relevância parcial de cada termo (índice) dentro do documento (Salton and Lesk, 1968), e são utilizados para calcular o grau de similaridade entre documentos e consultas. Esquemas de atribuição de pesos a índices são apresentados na próxima seção. Para encontrar a similaridade, assume-se que documentos e consultas são vetores em um espaço t – *dimensional* com pesos, onde t representa o número de termos de cada documento. Assim, documentos e consultas podem ser comparados através do cálculo da distância entre os vetores que os representam.

Os principais problemas encontrados nesse modelo são a independência linear do conjunto de índices e o não-casamento dos termos (*term mismatch*). Esse último problema ocorre porque palavras com mesmo significado e ortografias distintas são consideradas diferentes. O problema do não-casamento de termos pode ser tratado por técnicas de redução de dimensão do problema (técnicas que procuram diminuir as chances de consultas e de documentos referenciarem o mesmo conceito utilizando diferentes termos), e por técnicas de expansão de consultas (Crestani, 2000).

Através de aperfeiçoamentos e extensões desses modelos, surgiram novos modelos e técnicas de recuperação de informação. O Modelo Booleano clássico foi estendido pelo Modelo Booleano Estendido e pelo Modelo de Conjuntos Difusos, enquanto que o Modelo Probabilístico possui extensões através do uso de Redes Bayesianas e de Redes de Inferência. O Modelo Vetorial foi estendido pelo Modelo Vetorial Generalizado, pela técnica de Análise da Semântica Latente (Latent Semantic Analysis - LSA) e pelo uso de Redes Neurais. A técnica de LSA, discutida a seguir, foi utilizada pelo autor no desenvolvimento dos trabalhos reportados nesta dissertação.

Em termos de desempenho computacional, o modelo vetorial comporta-se de maneira linear em relação ao número de documentos da coleção. Sua complexidade é de $O(tN)$ com t sendo o tamanho do vocabulário da coleção e N como o número de documentos da coleção.

2.2.1 Análise da Semântica Latente

Análise da Semântica Latente (Latent Semantic Analysis - LSA) é uma técnica de recuperação de informação que procura abstrair a semântica latente das informações manipuladas utilizando conceitos de álgebra linear a fim de prover um mecanismo para organização de informações textuais em estruturas semântica (Furnas et al., 1988). Essa técnica pode

ser utilizada para recuperação de informações e para navegação.

O modelo algébrico de Decomposição de Valores Singulares (Singular Value Decomposition - SVD) é utilizado para representação da estrutura semântica manipulada pela técnica de LSA.

Decomposição de Valores Singulares

O modelo algébrico de Decomposição de Valores Singulares, SVD, é uma técnica popular e poderosa utilizada para decompor uma matriz em suas matrizes componentes as quais extraem propriedades importantes da matriz original (Golub and Loan, 1983). Essa técnica, além de estar sendo utilizada em aplicações de recuperação de informação textual, também é considerada em aplicações de análise estatísticas, reconhecimento de padrões, de modo geral, e reconhecimento de faces, em particular.

Ao considerar um grupo de pontos representados em uma matriz X de tamanho $m \times n$, essa matriz pode ser representada da seguinte forma:

$$X = T \times S \times D^t \quad (2.1)$$

onde T é uma matriz ortogonal $m \times n$, D é uma matriz ortogonal $n \times n$ e S é uma matriz diagonal $n \times n$. Os valores da matriz S são chamados valores singulares (*singular values*) da matriz X e, as matrizes T e D são chamadas de vetores singulares (*singular vectors*) da direita e da esquerda respectivamente.

Por exemplo, da matriz :

$$X = \begin{bmatrix} 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 2.00 & 2.00 & 2.00 & 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 5.00 & 5.00 & 5.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 2.00 & 2.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 3.00 & 3.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

pode-se extrair, através do modelo SVD, as matrizes componentes:

$$X = \begin{bmatrix} 0.18 & 0.00 & 0.59 & 0.23 & 0.68 \\ 0.36 & 0.00 & 0.62 & 0.07 & 0.69 \\ 0.18 & 0.00 & 0.31 & 0.54 & 0.21 \\ 0.90 & 0.00 & 0.43 & 0.03 & 0.09 \\ 0.90 & 0.53 & 0.03 & 0.57 & 0.00 \\ 0.00 & 0.80 & 0.00 & 0.48 & 0.00 \\ 0.00 & 0.27 & 0.00 & 0.29 & 0.00 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 9.65 & & & & \\ & 5.29 & & & \\ & & 0.00 & & \\ & & & 0.00 & \\ & & & & 0.00 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.58 & 0.58 & 0.58 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.71 & 0.71 \\ 0.82 & 0.41 & 0.41 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.90 & 0.00 & 0.71 & 0.71 \\ 0.00 & 0.71 & 0.71 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

Pode-se observar na matriz S que os valores da diagonal são armazenados em ordem decrescente. O primeiro valor da diagonal representa a melhor direção de projeção dos pontos da matriz, o segundo representa a segunda melhor direção e assim por diante.

Geometricamente, S indica as dimensões, D indica as respectivas direções, e $T \times S$ indica as localizações dos pontos nessas dimensões.

A matriz S possui valores pequenos que podem ser considerados ruídos, portanto, esses valores podem ser desconsiderados. Ao considerar apenas os k maiores valores singulares da matriz S e as correspondentes colunas das matrizes T e D , é obtida a matriz mais próxima à matriz original que contém só os k maiores componentes linearmente independentes da matriz original. A matriz $\hat{X}$, apresentada a seguir, captura a maior estrutura de associação da informação, considerando $k = 2$, e elimina parte da informação irrelevante referente ao exemplo apresentado anteriormente.

$$X = \begin{matrix} & T_k & \\ \begin{bmatrix} 3.18 & 0.60 \\ 3.36 & 0.60 \\ 3.18 & 0.90 \\ 3.90 & 0.90 \\ 3.00 & 0.53 \\ 3.00 & 0.80 \\ 0.00 & 0.27 \end{bmatrix} & \times & \begin{matrix} S_k \\ \begin{bmatrix} 9.04 & & \\ & 3.29 & \end{bmatrix} \end{matrix} & \times & \begin{matrix} D_k^T \\ \begin{bmatrix} 0.58 & 0.58 & 0.58 & 0.30 & 0.30 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.71 & 0.71 \end{bmatrix} \end{matrix} \end{matrix}$$

Na técnica de LSA, a expressão de consulta formulada por usuários deve ser considerada como mais um documento da coleção de documentos manipulados. Assim, a busca é transformada no vetor V_q que contém a frequência dos termos da consulta de acordo com os índices apresentados nas linhas da matriz X . O vetor V_q é transformado no vetor aproximado de consulta (V_{rq}) através da seguinte equação:

$$V_{rq} = T_k T_k^T V_q \quad (2.2)$$

O grau de similaridade entre os documentos e o vetor aproximado de consulta V_{rq} pode ser calculado através do co-seno entre o vetor de consulta e cada vetor da matriz $\hat{X}$.

O modelo algébrico SVD, manipulando matrizes esparsas, apresenta complexidade da ordem de $O(mnc)$ sendo m e n as dimensões da matriz de termos por documentos e c o número de elementos diferentes de zero em cada linha da matriz.

2.3 Esquemas Clássicos de Atribuição de Pesos

Esquemas de atribuição de pesos a índices de documentos procuram aprimorar o desempenho da recuperação de informação auxiliando na distinção dos termos que representem melhor o conteúdo dos documentos.

Em 1968, esquemas simples de atribuição de pesos a termos modelados em vetores foram introduzidos por Salton e Lesk (Salton and Lesk, 1968). Esses esquemas normalmente representam termos de acordo com o número de vezes que eles ocorrem em um dado documento - o fator *tf*. Posteriormente em 1972, Sparck Jones introduziu um novo elemento aos esquemas de atribuição de pesos, o fator *idf*, que desfavorece termos presentes na maioria dos documentos da coleção. Esse fator representa o inverso do número de ocorrências de um determinado termo na coleção de documentos (Jones, 1972). Assim, *idf* varia inversamente com o número de documentos n para o qual um termo está relacionado na coleção de N documentos. Um valor típico para *idf* é $\log(\frac{N}{n})$. Os mais conhecidos esquemas de atribuição de pesos exploram o par de medidas *tf* e *idf* para cada termo de um documento. Em 1973, alguns pesquisadores em (Salton and Yang, 1973) discutiram a efetividade dessas medidas na recuperação de informação, como discutido a seguir.

Os melhores índices para identificação de documentos são aqueles capazes de distinguir documentos individualmente da coleção de documentos. Isso implica que termos discriminantes devem ter alta frequência no documento, *tf*, e baixa frequência na coleção, *idf*. Uma medida razoável de importância de termos pode ser obtida utilizando o produto da frequência dos termos pela frequência inversa dos termos ($tf \times idf$). Esquemas de atribuição baseados em $tf \times idf$ sofrem críticas devido ao fato de não serem sustentados por propriedades teóricas como no caso de esquemas de atribuição de pesos para modelos probabilísticos, os quais consideram as propriedades de relevância dos documentos.

Um terceiro fator de esquemas de atribuição de pesos é utilizado para controlar a existência de vetores de tamanhos diferentes na representação de documentos. Normalmente, documentos com poucas palavras tendem a ser representados por vetores pequenos e documentos longos tendem a ser apresentados em vetores com bastantes elementos. Segundo Salton, quando um conjunto grande de termos é utilizado para a representação de um documento, a chance de um termo ser considerado semelhante com outro documento ou consulta é alta (Salton and Buckley, 1988). Além disso, os documentos mais extensos têm mais chances de serem recuperados que os documentos

mais compactos. Portanto, deve-se cuidar para que o tamanho dos documentos não interfira no processo de recuperação. Assim é sugerido um fator de normalização a ser incorporado na fórmula $tf \times idf$. Assumindo que w represente o peso do termo t calculado utilizando a fórmula original de $tf \times idf$, o peso final normalizado pode ser definido como $\frac{w}{\sum_i w_i}$.

Alguns exemplos de esquemas de atribuição de pesos que utilizam combinações das medidas $tf \times idf$ são apresentados na Tabela 2.1. A segunda coluna da tabela é utilizada para atribuir pesos aos documentos e a terceira às consultas. Cada esquema é composto pela frequência do termo (tf), pela frequência inversa (idf) e pela variável de normalização.

Tabela 2.1: Esquemas de atribuição de pesos (adaptada de (Salton and Buckley, 1988))

Nome do Esquema	Esquemas de atribuição de pesos para:	
	documentos	consultas
Esquema totalmente normalizado	$\frac{tf(ij) \cdot \log(\frac{N}{n_i})}{\sqrt{\sum_{vector} (tf(kj)^2 \cdot \log(\frac{N}{n_k})^2)}}$	$(0,5 + (\frac{0,5 \cdot tf(ij)}{\max tf(ij)})) \cdot \log(\frac{N}{n_i})$
Esquema probabilístico	$0,5 + (\frac{0,5 \cdot tf(ij)}{\max tf(ij)})$	$\log(\frac{N - n_i}{n_i})$
Esquema clássico idf	$\log(\frac{N}{n_i})$	$\log(\frac{N}{n_i})$
Esquema de independência de termo binário	1	$\log(\frac{N - n_i}{n_i})$
Esquema de peso padrão tf	$\frac{tf(ij)}{\sqrt{\sum_{vector} tf(kj)^2}}$	$tf(ij)$

No modelo vetorial, índices são considerados mutuamente independentes e essa asserção implica em funções lineares de atribuição de pesos. Entretanto, o trabalho de van Rijsbergen (van Rijsbergen, 1977) define um modelo probabilístico que incorpora dependência entre índices; resultados experimentais desse trabalho são apresentados em (Harper and van Rijsbergen, 1978). A dependência dos termos é derivada da distribuição de co-ocorrências em toda a coleção de documentos ou dos conjuntos de documentos relevantes ou não-relevantes, e conduz a uma função de atribuição de pesos não-linear.

Diferentes abordagens para calcular co-ocorrências entre termos durante o processo de recuperação de informações têm sido propostas. Raghavan e Yu (Raghavan and Yu, 1979) utilizam análises estatísticas para relacionar um conjunto de consultas com documentos relevantes e não-relevantes e, assim estabelecer correlações positivas e negativas entre os índices. Dessa maneira esses pesquisadores pretendem resolver problemas de divisão por zero em cálculos de similaridades. Póssas et al. definem um novo esquema de atribuição de pesos que utiliza técnicas de mineração de dados e regras associativas para atribuir

pesos a índices (Pôssas et al., 2002).

Esquemas de atribuição de pesos podem também ser aplicados a modelos e consultas booleanas.

2.4 Consultas

O constante crescimento de coleções de documentos disponibilizados em repositórios Web de informações tem sido abordado em diversas áreas e projetos de pesquisas, como é o caso do projeto InCA-SERVE e do trabalho reportado nesta dissertação. Na área de recuperação de informação, pesquisadores investigam maneiras de facilitar a formulação adequada de consultas para uma recuperação eficiente das informações desejadas pelos usuários, que nem sempre conseguem representar suas necessidades através da especificação de consultas. Esse problema acontece devido à dificuldade existente na utilização de diferentes abordagens de consulta que são dependentes do modelo de representação utilizado. Os diferentes tipos de consultas podem ser agrupados, segundo Baeza-Yates (Baeza-Yates and Ribeiro-Neto, 1999), em:

- consultas baseadas em palavras: são consultas compostas por uma única palavra, por frases ou por combinações complexas envolvendo várias palavras e diferentes operadores;
- consultas baseadas em comparações de padrões: são consultas que envolvem o contexto das palavras e as propriedades de documentos. Essas consultas podem recuperar partes de texto que contêm as propriedades específicas nas consultas;
- consultas baseadas em estruturas: são consultas realizadas sobre estruturas de documentos textuais como, por exemplo, estruturas de hiperdocumentos e estruturas hierárquicas.

No Capítulo 4, é apresentado um trabalho (Pimentel et al., 2001b) que utiliza abordagens de consultas baseadas em palavras para a definição de ligações entre repositórios.

2.4.1 Consultas Baseadas em Palavras

A categoria de consultas baseadas em palavras pode ser subdividida em consultas especificadas por uma única palavra, consultas baseadas em contextos e consultas booleanas.

Consultas baseadas em uma única palavra são o tipo de consulta mais utilizado. Segundo pesquisas, 25% dos usuários de *search engines* Web utilizam apenas uma palavra para iniciar o processo de busca de informações (Baeza-Yates and Ribeiro-Neto, 1999). Acredita-se que esse fato seja decorrente da complexidade de se especificar consultas baseadas na combinação de termos.

Consultas baseadas em palavras são adequadas para serem utilizadas sobre modelos que representam documentos como um conjunto de palavras independentes, como é o caso do modelo vetorial. Porém, a existência de palavras compostas nos documentos pode ocasionar problemas de imprecisão na recuperação de documentos. Um tipo de consulta que pode resolver problemas relacionados à comparação de palavras compostas é consulta baseada em contexto.

Consultas baseadas em contextos proporcionam maneiras de buscar palavras que estejam dentro de um contexto e não exclusivamente em palavras. Para realizar esse tipo de tarefa, o sistema de processamento de consultas pode considerar frases ou a distância entre palavras. Ao considerar a distância entre as palavras, o sistema de consulta não considera a ordem de apresentação das palavras, mas sim a proximidade entre elas. Entretanto, essa proximidade nem sempre indica a semântica do contexto e sim a utilização dessas palavras dentro um mesmo parágrafo.

Consultas booleanas são consultas com estrutura formal e eficiente se bem utilizadas. Esse tipo de consulta é formado pela combinação de palavras ou frases concatenados através do uso de operadores booleanos.

Alguns operadores booleanos básicos são: *AND*, que seleciona documentos que satisfazem todas as expressões utilizadas em consultas; *OR*, que concatena os resultados de cada expressão em particular; e *BUT*, que seleciona aqueles documentos que satisfazem apenas a primeira expressão da consulta, mas não a segunda.

As principais desvantagens de consultas booleanas são a inexistência de mecanismos de classificação baseados em comparações parciais de consultas e a dificuldade de formular consultas utilizando operadores booleanos.

Consultas baseadas em linguagem natural combinam características das consultas booleanas nebulosas (*fuzzy*) com características de consultas intuitivas. Esse tipo de consulta permite a recuperação de todos os documentos que são parcialmente similares à consulta. Porém, linguagem natural é um dos desafios de pesquisa da área de inteligência artificial devido à complexidade e irregularidade da linguagem humana. Assim, consultas baseadas em linguagem natural são complexas de serem processadas.

2.4.2 Expansão de Consultas

Técnicas para expansão de consultas surgiram a partir de observações da dificuldade dos usuários em formular consultas e do fato de que os usuários sempre reformulavam a consulta original em uma tentativa de aprimorar os resultados obtidos.

O processo de expansão de consultas envolve dois passos básicos, que podem ser executados várias vezes em sistemas de IR: (1) expansão da consulta com os novos termos e (2) reformulação dos pesos dos termos da consulta expandida.

O primeiro passo do processo de expansão de consulta consiste na interação com usuários ou, na utilização automática de propriedades dos documentos recuperados para expandir a consulta para tentar torná-la mais efetiva. O segundo passo, reformulação dos pesos, é dependente do tipo de modelo utilizado na indexação dos documentos da coleção manipulada e do esquema de atribuição de pesos. Por exemplo, para modelos vetoriais baseados no esquema $tf \times idf$ é necessário recalcular os pesos dos termos armazenados nos vetores que representam os documentos.

São apresentadas respectivamente, a seguir, abordagens de expansão de consultas através de interações com usuários, *relevance feedback*, e através de análises automáticas da coleção de documentos ou somente dos documentos recuperados.

Relevance Feedback e Expansão Automática de Consultas

Relevance feedback é um processo através do qual consultas podem ser seletivamente modificadas na tentativa de recuperar documentos mais relevantes de uma coleção de documentos (Bacza-Yates and Ribeiro-Neto, 1999). A consulta pode ser modificada através de ajustes de pesos de termos da consulta, da inclusão de novos termos ou da combinação das duas abordagens. Essas modificações podem ser efetuadas via interação com usuários

ou através da utilização automática de propriedades dos documentos recuperados.

O cálculo de *relevance feedback* proposto por Rocchio em (Rocchio, 1971), apresentado na Equação 2.3, incorpora à consulta inicial, após análise de relevância realizada por usuários, um conjunto de documentos relevantes. Os pesos dos vetores que modelam os documentos considerados relevantes são somados ($\vec{d}_j$) e os vetores são normalizados em um novo vetor ($|D_r|$) dividindo-se o vetor-soma de documentos relevantes pelo número de documentos relevantes. Um processo similar pode ser realizado para os documentos considerados não-relevantes. Os vetores resultantes podem ser modificados através da multiplicação de valores de ajuste (α , β e γ). Na fórmula original de Rocchio, o valor de α deve ser considerado “1”. Finalmente, o vetor da consulta ($\vec{q}$) original deve ser modificado incluindo-se o novo vetor de documentos relevantes e subtraindo-se o novo vetor de documentos não-relevantes. Todo esse processo pode ser repetido através de múltiplas iterações até o usuário considerar satisfatórios os resultados retornados.

$$\vec{q}_m = \alpha \vec{q} + \frac{\beta}{|D_r|} \sum_{\forall \vec{d}_j \in D_r} \vec{d}_j + \frac{\gamma}{|D_{n-r}|} \sum_{\forall \vec{d}_j \in D_{n-r}} \vec{d}_j \quad (2.3)$$

O trabalho de Ide (Ide, 1971), baseado no trabalho de Rocchio, propõe a eliminação dos vetores normalizados ($|D_r|$ e $|D_{n-r}|$) como apresentado na Equação 2.4. Ide considera $\alpha = \beta = \gamma = 1$ e também propõe a diminuição do valor de ajuste de γ , considerando apenas os documentos não-relevantes mais expressivos como apresentado na Equação 2.5. Algumas vezes, γ pode ser considerado zero ocasionando em uma estratégia de *feedback* totalmente positiva, isto é, baseada apenas no conjunto de documentos relevantes.

$$\vec{q}_m = \alpha \vec{q} + \beta \sum_{\forall \vec{d}_j \in D_r} \vec{d}_j + \gamma \sum_{\forall \vec{d}_j \in D_{n-r}} \vec{d}_j \quad (2.4)$$

$$\vec{q}_m = \alpha \vec{q} + \beta \sum_{\forall \vec{d}_j \in D_r} \vec{d}_j + \gamma \max_{non-relevant}(\vec{d}_j) \quad (2.5)$$

Segundo Bacza-Yates e Ribeiro-Neto, as principais vantagens das técnicas de *relevance feedback*, apresentadas nas Equações 2.3, 2.4 e 2.5, são a simplicidade e os bons resultados obtidos (Bacza-Yates and Ribeiro-Neto, 1999). A simplicidade está relacionada ao fato de que os pesos dos termos modificados são calculados diretamente a partir do conjunto de documentos recuperados. Já os bons resultados estão relacionados ao fato de que o vetor

modificado de consulta ($\vec{q}_m$) procura refletir a consulta semântica pretendida. Porém, a grande desvantagem da utilização do método de *relevance feedback* é a dependência do julgamento de relevância por parte de usuários. Uma solução que tem sido adotada para esse problema é a utilização automática de propriedades de documentos como se elas fossem informação de *feedback* fornecida por usuário.

Harman realizou experimentos comparando o desempenho do método de *relevance feedback* para informações modeladas através do uso de vetores (modelo vetorial) e para informações representadas de acordo com propriedades do conjunto de documentos manipulado (modelo probabilístico) (Harman, 1992). Harman concluiu que *relevance feedback* é mais efetivo para informações representadas através do modelo vetorial, como é o caso da técnica de LSA.

A estratégia de *relevance feedback* é apoiada pelo conhecimento semântico implícito dos usuários durante a análise de relevância dos documentos. Entretanto, essa análise pode ser auxiliada pelo próprio sistema de IR ao incorporar termos para a expansão da consulta original. Para a realização dessa tarefa, o sistema necessita implementar algoritmos que façam a identificação automática dos termos que estão relacionados aos termos da consulta. É nesse tipo de abordagem que os procedimentos de expansão automática de consultas estão baseados. Existem expansões automáticas de consultas que analisam toda a coleção de documentos, análise global, enquanto que outras analisam apenas os documentos recuperados, análise local.

Análise Automática Global. Na abordagem de expansão de consulta utilizando análise global dos documentos, todos os documentos da coleção são utilizados para determinar uma estrutura global que define relacionamentos entre os termos. Essa estrutura é apresentada ao usuário que, então seleciona termos a serem incorporados à consulta expandida.

Análise Automática Local. Na estratégia local de expansão de consultas, os documentos recuperados para uma consulta q são examinados em tempo de execução da consulta para determinar os termos que podem ser utilizados na expansão. Esse processo é similar ao processo de *relevance feedback*, mas pode ser realizado sem a assistência de usuários ou com a participação parcial dos mesmos. As estratégias de análise local mais conhecidas são a análise local baseada em categorias e a análise local baseada em contexto. A primeira é formulada a partir da análise de documentos para identificar a correlação dos termos para a expansão da consulta, e a segunda explora as vantagens de combinar as técnicas de análise global e local.

No trabalho apresentado nesta dissertação, foram utilizadas abordagens de expansão de consultas para o refinamento de ligações automáticas definidas entre repositórios.

2.5 Medidas Clássicas de Avaliação

As medidas tradicionais para avaliar a eficiência de sistemas de IR são o índice de revocação e o índice de precisão. Entretanto, para permitir a avaliação de resultados desses sistemas, em termos de precisão e de revocação, os repositórios de informações manipulados pelo sistema devem ser analisados por usuários conhecedores do conteúdo manipulado com o intuito de criar uma coleção de referência a ser comparada com os resultados obtidos.

O *índice de revocação* é definido como a fração de documentos relevantes que foram recuperados pelo sistema de IR. Esse índice indica o grau de exaustão de execução do sistema e o número de documentos recuperados que o usuário poderia querer. O índice de revocação é definido por:

$$\text{ÍndiceDeRevocacao} = \frac{|Rel \cap Ret|}{|Ret|} \quad (2.6)$$

As variáveis *Rel* e *Ret* são, respectivamente, o conjunto de documentos relevantes recuperados e o conjunto total de documentos recuperados. O melhor índice de revocação é 1.0 (ou 100%) e o pior 0.0.

O *índice de precisão* corresponde à fração de documentos recuperados que são relevantes para o usuário. O índice de precisão mede a especificidade da busca e se todos os documentos recuperados são realmente relevantes. Esse índice é definido por:

$$\text{ÍndiceDePrecisao} = \frac{|Rel \cap Ret|}{|Ret|} \quad (2.7)$$

O melhor índice de precisão é 1.0 e o pior 0.0. O objetivo dos sistemas de IR é obter, simultaneamente, os melhores índices de precisão e de revocação. Esse objetivo é difícil de ser alcançado pois, geralmente, sistemas de IR com baixo índice de precisão possuem alto índice de revocação e vice-versa.

Calcular a eficiência global de um sistema de IR é uma tarefa complicada. Normalmente as medidas de eficiência tendem a correlacionar os índices de precisão e de revocação, que geralmente são inversamente proporcionais. Uma possível solução seria criar uma medida que realizasse uma junção dos dois índices em vez de correlacioná-los. Alguns pesquisadores propõem novas medidas (Jin et al., 2001) e metodologias (Soboroff et al., 2001) para avaliar o desempenho de sistemas de IR. Embora os índices de revocação e de precisão tenham sido desenvolvidos para medir a eficiência dos algoritmos de IR, outros pesquisadores propõem a utilização desses índices para qualificar o desempenho combinado de usuário e sistema de IR (Nielsen, 1990). Por exemplo, Swan e Allan utilizam os índices de precisão e de revocação para comparar a usabilidade de diferentes interfaces de visualização (Swan and Allan, 1998). Entretanto, deve-se considerar possíveis prejuízos uma vez que esses índices foram definidos por pesquisadores de IR com base em experimentos quantitativos.

2.6 Considerações Finais

Para dar suporte ao crescimento do volume de informações disponíveis, indústrias têm trabalhado no desenvolvimento de equipamentos com maior capacidade de processamento e de armazenamento. Já pesquisadores da área de IR estão unindo-se a pesquisadores de outras áreas, como hipermídia, computação gráfica e inteligência artificial, na tentativa de desenvolver mecanismos eficientes que promovam a manipulação das informações disponibilizadas.

Com o intuito de integrar informações contidas em repositórios Web, o grupo de pesquisa do projeto SERVE realiza investigações em diferentes domínios da computação como, por exemplo, recuperação de informação e hipermídia. O trabalho reportado nesta dissertação inclui, além de investigações em IR, pesquisas sobre Sistemas Hipermídia Abertos. No próximo capítulo, são apresentados Sistemas Hipermídia Abertos em relação a definição de formatos de representação de informações e a arquiteturas hipermídia abertas, as quais podem ser utilizadas em sistemas de IR.

Capítulo 3

Sistemas Hipermídia Abertos

3.1 Considerações Iniciais

Na década de 90, com o crescimento da Web, tornaram-se realidade aspectos da manipulação de estruturas hipermídia genéricas e globalmente acessíveis previstas pelos precursores da área de hipermídia. Devido à simplicidade da estrutura de organização de informações na Web pouco suporte à criação dinâmica de ligações é fornecido. Assim, ao longo dos últimos anos, desenvolveram-se pesquisas que visavam estender a infra-estrutura da Web com serviços que armazenam as informações de ligação externamente ao conteúdo de documentos (Gronbaek et al. 1997).

Pesquisadores da área de hipermídia propuseram uma mudança de paradigma de projeto de sistemas hipermídia tradicionais para sistemas hipermídia abertos. Um Sistema Hipermídia Aberto (SHA) corresponde a um *middleware* cujo componente central é o serviço de ligações, que oferece funcionalidades hipermídia a aplicações no ambiente computacional, permitindo a criação de ligações entre documentos gerenciados por essas aplicações, sem alterá-los (Davis et al., 1996).

Ao incorporar os serviços de um sistema hipermídia aberto, aplicações podem se tornar “hipermídia habilitadas”, o que significa que passam a suportar a manipulação de ligações entre seus documentos. Esses sistemas armazenam a estrutura hipertexto, que corresponde às ligações estabelecidas entre informações, separadamente do conteúdo das informações propriamente ditas. A estrutura hipertexto é adicionada ao conteúdo das aplicações “hipermídia habilitados” em tempo de apresentação.

De acordo com Malcon e outros pesquisadores, as principais motivações para o desenvolvimento de SIAs são a redução do esforço de autoria de aplicações hipermídia em grande escala e a necessidade de torná-las mais fáceis de serem manipuladas (Malcon et al., 1991).

3.2 Características de Sistemas Hipermídia Abertos

Apesar do objetivo geral do projeto de SHAs estar centrado no suporte a serviços hipermídia (suporte a navegação, criação, remoção e modificação de ligações), esses sistemas podem ser especificados de diferentes formas, o que faz com que existam variações no tipo de suporte oferecido. Essas variações estão baseadas na existência ou não de algumas características como (Miotto and Fortes, 2000):

- suporte a diferentes protocolos de comunicação com aplicações “hipermídia habilitadas”;
- suporte a diferentes modelos de dados hipermídia que variam de acordo com o número de pontos finais de uma ligação (dois ou mais);
- suporte a diferentes serviços hipermídia. Alguns SHAs suportam apenas os serviços básicos para permitir que âncoras e ligações sejam associadas a informações existentes; outros SHAs suportam características mais avançadas, como suporte à autoria cooperativa de estruturas e de conteúdo hipermídia;
- suporte a diferentes arquiteturas de sistemas hipermídia, desde arquiteturas cliente-servidor centralizada a arquiteturas multi-camadas com serviços de armazenamento múltiplos em diferentes domínios da Internet;
- suporte a diferentes tipos de estruturas além de ligações como, por exemplo, composições (*composites*) e ligações que facilitam a recuperação de informações e a definição de estruturas de classificação;
- suporte a hiperbases abertas e/ou a bibliotecas de ligações que forneçam serviços básicos de ligações hipermídia a um conjunto aberto de aplicações. Entretanto, hiperbases abertas também fornecem serviços de armazenamento hipermídia que podem incluir suporte ao armazenamento de conteúdo no sistema hipermídia aberto e suporte a sessões de autoria cooperativa e multi-usuário sobre estrutura hipertexto e conteúdo.

3.3 Requisitos de Sistemas Hipermídia Abertos

Como requisitos de SHAs foram identificados os seguintes itens (Davis et al., 1996):

- SHAs devem suportar ligações a elementos de conteúdo de documentos. Esses elementos podem ser sentenças em arquivos de texto, regiões em imagens, ou objetos em movimento em *streams* de vídeo;
- SHAs devem suportar a integração de diversos aplicativos e documentos. Documentos de dados não precisam ser convertidos a um formato especial para participar de um ambiente hipermídia. Documentos de diferentes origens podem fazer parte da mesma rede hipermídia;
- SHAs devem permitir ligações em termos de semântica da informação, ou seja, ligações entre informações com o mesmo significado devem ser suportadas independentemente da identidade dos documentos que encapsulam essas informações. Tais ligações são chamadas de ligações baseadas em contexto porque conectam significados ou semântica em vez de localizações ou identificadores de arquivos. Foram definidos serviços de criação automática de ligações semânticas, desenvolvidos pelo autor em colaboração com o grupo de pesquisa do projeto InCA-SERVE, baseados na técnica de LSA. Esses serviços são apresentados no Capítulo 4;
- SHAs devem suportar geração automática de ligações. Usuários não precisam criar todas as ligações manualmente. Os sistemas devem ser capazes de ligar itens de informações relacionadas automaticamente quando esses forem definidos no sistema hipermídia. Esse requisito de SHA também foi explorado na definição dos serviços apresentados no Capítulo 4;
- SHAs devem suportar criação de ligações privadas em adição às ligações públicas definidas pelo autor da aplicação;
- SHAs devem suportar dados e processos distribuídos através da rede e através de diferentes plataformas;
- SHAs devem permitir a adição de funcionalidades a sua infra-estrutura, ou seja, novos módulos de programa devem ser inseridos facilmente.

Uma questão importante da pesquisa de Sistemas Hipermídia Abertos é a identificação de arquiteturas ou modelos hipermídia de referência para esse tipo de aplicação.

Várias arquiteturas de referência utilizam princípios do modelo Dexter para projetos de hipermídia aberta (Halasz and Schwartz, 1994). Além do Dexter, existem outros modelos e arquiteturas para SHAs como, por exemplo, a arquitetura em camadas do *Devise Hypermedia Model* (DHM), que serviu como referência para o projeto de um SHA integrado a Web, denominado Webvise (Grønbaek et al., 1994). Nesse contexto, foi proposto o Protocolo Hipermídia Aberto, discutido a seguir.

3.4 Protocolo Hipermídia Aberto e o Padrão XML

Em arquiteturas baseadas no Modelo Dexter (Halasz and Schwartz, 1994), o Protocolo Hipermídia Aberto (Open Hypermedia Protocol - OHP) está localizado na camada de comunicação, que gerencia as interações entre os Processos de Serviços Hipermídia (Hypermedia Service Process - HSP) e as aplicações de usuários. A camada de comunicação especifica uma interface e um protocolo genérico, denominado Protocolo Hipermídia Aberto baseado no Modelo Dexter (Grønbaek and Trigg, 1999). A camada de comunicação e o OHP facilitam a comunicação bidirecional, síncrona ou assíncrona, entre as camadas de apresentação e de aplicação.

OHP é um protocolo de comunicação ponto-a-ponto através do qual aplicações e HSPs podem receber e enviar mensagens. Implementações simples do OHP utilizam mensagem textual que pode ser trocada através de um meio de comunicação, e pode ser interpretado tanto por HSPs quanto por aplicações. Essas mensagens são compostas por operações e listas de parâmetros. Os tipos de parâmetros codificados nas mensagens do OHP são descritos na Tabela 3.1. Por exemplo, a utilização do parâmetro `applicationID` em mensagens do protocolo OHP indica um identificador de uma instância da aplicação em execução durante a comunicação com Processos de Serviços Hipermídia.

O sistema DHM (Grønbaek et al., 1994) é um exemplo de SHA que utiliza formato de intercâmbio textual. As mensagens de comunicação são escritas na linguagem XML (Extensible Markup Language) (Bray et al., 1998). Dessa forma, SHAs que utilizem *parsers* padrão para XML podem exportar e importar as estruturas existentes no DHM (Grønbaek et al., 2000).

Basicamente, existem quatro tipos de mensagens ou sub-protocolos do OHP: (a) sub-protocolo para conexão, (b) sub-protocolo de ligação, (c) sub-protocolo para navegação e gerenciamento estendidos e (d) sub-protocolo multi-usuário. As mensagens para

Tabela 3.1: Parâmetros das mensagens do OHP (Grønbaek et al., 1999)

Parâmetro	Descrição
userName	Nome de login de usuário
applicationID	Identificador para uma instância de uma aplicação em execução
hyperSpaceID	Identificador para um objeto hyperSpace
CompID	Identificador para um objeto componente
opCode	Código do comando corrente
accessCode	Determina os direitos de disponibilidade e de acesso para um dado objeto
N	Indica às aplicações e aos HSPs que uma lista de parâmetros de um certo comprimento está no final da mensagem
nodeSpec	Identificador de conteúdo para um componente
docType	Tipo MIME para um documento
locSpec	Especificação de uma localização dentro de um documento
PSpec	Codificação da informação relevante à apresentação de um dado documento ou uma âncora dentro de um documento
direction	Determina a direção de uma extremidade de uma ligação (fonte, destino, ambos, ou nenhum)
linkType	Codifica o tipo de ligação em questão
lockValue	Determina o tipo de bloqueio sobre um dado componente
responseCode	Indica o resultado de uma operação

conexão são responsáveis pelo estabelecimento e liberação de conexões entre aplicações de usuário e HSPs. O sub-protocolo de ligação básico suporta criação, percurso e remoção de ligações a partes ancoradas do conteúdo gerenciado pelas aplicações de usuários que adquirirão funcionalidade hipermídia. O sub-protocolo de navegação e de gerenciamento estendidos é opcional e permite que *browsers* e comandos manipulem estruturas hipermídia diretamente das interfaces com usuários. O sub-protocolo multi-usuário é relevante ao fornecer mecanismos de bloqueio e de notificação de eventos, quando vários usuários estão compartilhando simultaneamente um hiperespaço (Grønbaek and Trigg, 1999).

As mensagens do OHP podem ainda ser divididas em duas categorias: as que são enviadas das aplicações de usuários aos HSPs e as que são enviadas dos HSPs às aplicações de usuários.

3.5 Estudo de Caso de SHA: Web Linkbase Service

O Web Linkbase Service (WLS), desenvolvido por pesquisadores do projeto InCA-SERVE, é um serviço aberto de ligações hipermídia para Web baseado em XML, cuja infra-estrutura foi proposta para atender aos seguintes requisitos (Bulcão Neto et al., 2002): (a) disponibilizar funcionalidades hipermídia a aplicações que desejem se tornar “hipermídia habilitadas”; (b) integrar um conjunto em aberto de aplicações “hipermídia habilitadas”; e (c) disponibilizar o serviço em ambiente Web através da utilização de tecnologias hipermídia atuais.

O WLS foi definido como uma API (Application Programming Interface) para que desenvolvedores possam reutilizar e combinar as operações disponíveis em suas aplicações. Assim, o WLS pode ser reutilizado em diferentes contextos, reduzindo a sobrecarga cognitiva imposta a projetistas de aplicações hipermídia. O WLS é explorado também para armazenar relacionamentos semânticos extraídos de repositórios Web.

3.5.1 Requisitos do WLS

Os autores do serviço de ligações WLS selecionaram alguns requisitos e características de SHAs para apoiar o desenvolvimento desse serviço:

- separação explícita entre conteúdo e estrutura de informações (Davis et al., 1996) (Grønbaek and Trigg, 1999);
- inter-relacionamento de informações com o mesmo significado. O inter-relacionamento deve ser suportado independentemente do documento que contém a informação (Tai, 1996);
- ligações podem referenciar documentos em diferentes formatos (Tai, 1996);
- suporte a bibliotecas de ligações (*linkbases*) públicas e/ou privadas (Davis et al., 1996) (Grønbaek and Trigg, 1999);
- ligações do tipo “from” e “to” para informações *read-only* (Tai, 1996);
- suporte a diferentes tipos de relacionamentos entre documentos como, por exemplo, ligações específicas, bi-directionais, locais e globais (Davis et al., 1996) (Grønbaek and Trigg, 1999).

Esse subconjunto de características e requisitos orientou a modelagem do WLS.

3.5.2 Modelagem do WLS

A arquitetura de referência baseada no Modelo Dexter e suas extensões foram utilizadas como fundamentação teórica para o projeto e a implementação do WLS. Nesse contexto, o gerenciamento da rede de estruturas é de incumbência do WLS, enquanto que o armazenamento e a apresentação de documentos são de responsabilidade das aplicações. O modelo de dados conceitual do WLS, definido segundo o modelo navegacional do OHP, e os relacionamentos entre os objetos das classes especializadas podem ser visualizados na Figura 3.1, que utiliza a notação UML (Unified Modelling Language). Nesse modelo, a classe **Contexto** representa uma coleção de nós, ligações e contextos aninhados (conjunto acíclico de ligações). Essa mesma classe suporta diferentes conjuntos de ligações sobre um mesmo conjunto de informações e a reutilização de contextos anteriormente criados.

Figura 3.1: Modelo conceitual do WLS (Bulcão Neto, 2001)

O foco principal do modelo conceitual do WLS é apresentado através do relacionamento entre as classes **Âncora**, **Ponto Final** e **Ligação**. Segundo os relacionamentos dessas classes, uma âncora pode estar associada a vários pontos finais de ligações. Essa abordagem de projeto é relevante uma vez que esses tipos de ligações são suportados pelos principais serviços de ligações.

A classe **Âncora** define uma localização interna no conteúdo de um nó hipermídia sobre o qual uma ligação é criada. Uma vez que o serviço WLS visa fornecer estruturas

hipermídia a aplicações XML, seu modelo de ancoragem utiliza a especificação XPointer (DeRose et al., 2001). A propriedade **expressão** armazena a localização de âncoras na sintaxe XPointer.

A classe **Ligação** permite identificar associações existentes entre várias instâncias da classe **Ponto Final**, cada uma correspondente a uma extremidade de uma ligação com sua respectiva direção (fonte, destino ou bidirecional).

Outra característica interessante do modelo conceitual do WLS é a presença da classe **Semântica**. Essa classe pretende prover explicitamente relacionamentos semânticos entre ligações **Ponto Final**. WLS provê alguns tipos de ligações semânticas pré-definidas: explicação, exemplo, conselho, e etc. Alguns desses tipos também fazem parte dos tipos de anotações do servidor Annotea (Kahan et al., 2001).

3.5.3 A Arquitetura do WLS

A API do WLS implementa um conjunto de operações para cada classe do modelo conceitual do WLS. Utilizando essas operações, aplicações podem se tornar “hipermídia habilitadas”.

A arquitetura do WLS é apresentada na Figura 3.2. Os passos de 1 a 11, descritos nessa arquitetura, indicam como aplicações XML que não são hipermídia podem trocar mensagens XML com o WLS utilizando operações WLS, tal como criar e seguir ligações. Como integração é o ponto principal da abordagem de SHAs adotada pelo WLS, aplicações interessadas em utilizar o WLS devem:

- prover a localização de seus documentos;
- identificar e codificar âncoras na sintaxe de XPointer;
- fornecer e receber informações utilizando mensagens XML;
- validar os parâmetros associados a cada operação definida pela API WLS;
- prover funcionalidade hipermídia através de suas interfaces.

Figura 3.2: Arquitetura do WLS (Bulcão Neto, 2001)

3.6 Considerações Finais

O Web Linkbase Service (WLS) foi utilizado em algumas etapas do trabalho apresentado nesta dissertação devido principalmente aos seguintes requisitos presentes nesse serviço:

- SHAs devem permitir ligações em termos de semântica da informação, ou seja, ligações a informações com o mesmo significado devem ser suportadas independentemente da identidade dos documentos que encapsulam essas informações;
- SHAs devem suportar geração automática de ligações. Usuários não devem precisar criar todas as ligações manualmente.

Seguindo esses requisitos e uma das palavras-chave da área de SHA, integração, o trabalho apresentado nesta dissertação explorou aspectos de Sistemas Hipermídia Abertos através do serviço WLS. Nesse contexto, alguns trabalhos foram realizados e impulsionaram a pesquisa apresentada nesta dissertação. Os trabalhos realizados com a utilização do WLS são apresentados no próximo capítulo.

Capítulo 4

Criação Automática de Ligações

4.1 Considerações Iniciais

A utilização conjunta de resultados das áreas de Recuperação de Informação (IR) e de Hipermídia pode apresentar soluções para problemas de criação automática de ligações a fim de integrar diferentes repositórios Web.

Salton foi um pioneiro em explorar aspectos de sistemas de recuperação de informação textual sobre coleções de documentos em linguagem natural para definir relações de termos entre documentos. Ele propôs um processo básico para criar indexação automática baseada em técnicas de IR como, por exemplo, truncamento de termos, remoção de *stopwords* e atribuição de pesos a termos (Salton, 1981) (Salton, 1986).

As abordagens propostas por Salton têm sido exploradas por diversos pesquisadores tanto da área de recuperação de informação como da área de hipermídia. Por exemplo, a geração automática de ligações hipertexto tem sido explorada por Salton e Allan em (Salton and Allan, 1993), Allan em (Allan, 1996), Golovchinsky em (Golovchinsky, 1997), Price em (Price et al., 1998) e Green em (Green, 1999).

Muitas dessas pesquisas dependem de comparações lexicais para a definição das ligações hipertexto. Entretanto, simples comparações lexicais podem omitir relacionamentos entre termos devido à variabilidade de palavras para descrever um mesmo objeto (sinonímia), ou mesmo, definir relacionamentos equivocados devido à utilização de uma mesma palavra para nomear diferentes objetos (polissemia). A técnica de Análise da Semântica Latente (LSA), apresentada no Capítulo 2, tenta superar esses problemas or-

ganizando objetos textuais em estruturas semânticas mais apropriadas para comparações de palavras, pois considera seus contextos. Com o intuito de explorar essa funcionalidade da técnica de LSA na definição automática de ligações hipertexto entre repositório Web, foi definida uma infra-estrutura e um serviço para a criação automática de ligações semânticas (Macedo et al., 2001).

Pesquisas recentes combinam técnicas tradicionais de recuperação de informação com conhecimentos abstraídos a partir de hiperdocumentos para aprimorar os resultados das buscas realizadas através de *search engines* disponíveis na Web (Henzinger et al., 1999) (Silva et al., 2000) (Ng et al., 2001) (Henzinger, 2001).

Em sistemas hipermídia abertos, apresentados no Capítulo 3, ligações hipertexto são manipuladas e armazenadas em bases de dados especiais, denominadas biblioteca de ligações (*linkbases*). A inovação desse tipo de abordagem consiste em abstrair ligações de documentos e armazená-las separadamente. Funcionalidades hipermídia podem ser incorporadas a qualquer documento sem modificar o formato do documento original, ou podem adicionar especificações dentro do conteúdo de documentos para criação de ligações.

Com o intuito de continuar explorando as contribuições de LSA e incorporar características de sistemas hipermídia abertos sobre repositórios Web, foi definida uma segunda infra-estrutura para a criação automática de ligações semânticas (Macedo et al., 2002b). Para demonstrar a utilidade dessa infra-estrutura foi construído o primeiro protótipo da ferramenta LinkDigger que é apresentada neste capítulo.

O objetivo deste capítulo é apresentar os primeiros resultados obtidos em relação à criação automática de ligações hipertexto. É importante mencionar que os trabalhos apresentados foram realizados em conjunto com a doutoranda Alessandra Alaniz Macedo e Maria da Graça Campos Pimentel, orientadora.

4.2 Serviço de Criação Automática de Ligações Semânticas

4.2.1 Contexto

O eClass é um ambiente instrumentado — com lousa eletrônica, projetores, câmeras de vídeo, e microfones — que automaticamente captura experiências ao vivo de salas de aula convencionais e gera hiperdocumentos que posteriormente são disponibilizados na Web (Abowd, 1999) (Pimentel et al., 2001a). Esse ambiente tem sido utilizado por diversas turmas de estudantes do GATECH (Georgia Tech Institute) e de outras universidades americanas com êxito (Abowd, 1999), e vem sendo implantado no ICMC-USP sob a coordenação da professora Maria da Graça Campos Pimentel.

A CoWeb (Collaborative Website) é uma ferramenta computacional hipernúdia, originalmente desenvolvida no GATECH, que permite a autoria colaborativa de páginas Web sem que o usuário necessite de conhecimento prévio de quaisquer tecnologias relacionadas, como comunicação cliente-servidor, linguagens de marcação e de *scripts* (Guzdial, 1999).

A fim de prover a professores e a alunos um espaço para troca de informações que fosse colaborativo, extensível e persistente, foi integrada ao eClass a ferramenta CoWeb. Essa integração foi baseada em um serviço de criação manual de ligação bidirecional entre informações capturadas pelo eClass e páginas criadas na CoWeb (Abowd et al., 1999).

Outra alternativa de integração dos ambientes CoWeb e eClass investigada foi a criação automática de ligações entre o conteúdo dos cursos capturado pelo eClass e o título de páginas CoWeb (Pimentel et al., 2001b). Essa abordagem explora a homogeneidade do conteúdo dos repositórios utilizando apenas comparações lexicais de palavras em vez de técnicas elaboradas de recuperação de informação.

4.2.2 Motivação

O autor desta dissertação colaborou na construção de um Serviço de Criação Automática de Ligações Semânticas na parte de implementação e avaliação dos resultados. A construção desse serviço foi motivada pelo fato de que ligações hipertexto criadas via comparações lexicais simples impede a criação de ligações entre termos com mesmo significado, mas com ortografias diferentes. Além disso, comparações lexicais podem levar à definição

de ligações para termos com a mesma ortografia, mas com significados distintos (Macedo et al., 2001).

O serviço criado baseia-se na extração de estruturas semânticas de repositórios Web homogêneos¹ através da utilização da técnica de LSA. É importante salientar que a criação de ligações, via esse serviço, não necessariamente define todas as ligações identificadas via comparação lexical. Portanto, o serviço de criação de ligações semânticas não substituiria o serviço de criação de ligações lexicais definido anteriormente em (Pimentel et al., 2001a).

O Serviço de Criação Automática de Ligações Semânticas foi construído e experimentado sobre os repositórios eClass e CoWeb, como detalhado nas próximas seções.

4.2.3 Infra-estrutura

A Figura 4.1 apresenta a infra-estrutura para a geração automática de ligações semânticas entre repositórios homogêneos na Web: A e B. O processamento de criação automática de ligações semânticas implícito à infra-estrutura está baseado nas seguintes etapas:

1. os repositórios A e B são indexados respectivamente em 1(a) e 1(b). O mecanismo de indexação considera a natureza e o tamanho dos repositórios;
2. os índices resultantes do processo 1(a) são normalmente associados aos repositórios com maior número de palavras. Esses índices são utilizados para gerar a matriz X de termos por documentos;
3. os índices resultantes do processo 1(b) são transformados no vetor de consulta;
4. a matriz X , produzida no passo 2, é decomposta nas matrizes componentes T , S e D , conforme os conceitos da técnica de LSA, cujo T é a matriz de termos, S é a matriz de valores singulares e D é a matriz de documentos;
5. as matrizes T , S e D são reduzidas considerando $k=2$ de acordo com (Furnas et al., 1988), que considera essa redução suficiente em termos de precisão para contexto de comparações textuais;
6. cada consulta é considerada um pseudo-documento para SVD. Para esse tipo de documento, os termos similares são definidos através da multiplicação do vetor de consulta pela matriz T reduzida e pela transposta da matriz T reduzida:

¹No contexto deste trabalho, repositórios homogêneos contêm informações de uma mesma categoria, por exemplo, jornais *online* nas seções de notícias esportivas.

7. a matriz X reduzida é gerada através da multiplicação das matrizes T , S e D^t também reduzidas;
8. a matriz semântica é finalmente gerada através do cálculo de co-seno entre as colunas da matriz X e o vetor de consulta;
9. dada a matriz semântica gerada no passo anterior, relacionamentos entre os repositórios são identificados considerando as células da matriz que têm os mais altos valores de similaridade. Relacionamentos semânticos dentro de um mesmo repositório podem ser identificados através do cálculo do co-seno entre as colunas da matriz semântica para o caso do Repositório A, e entre as linhas da mesma matriz para o Repositório B.

Figura 4.1: Infra-estrutura para a geração automática de ligações baseadas nos conceitos de Análise da Semântica Latente (Macedo et al., 2001)

4.2.4 Implementação

Uma instância da infra-estrutura apresentada na Figura 4.1 foi implementada utilizando os repositórios de um curso capturado pelo ambiente eClass e o seu repositório correspondente na CoWeb, curso esse capturado em 1999 no GATECH. As aulas do curso que haviam sido ministradas por dois professores a 31 alunos, duas vezes por semana, totalizando 18 aulas que fizeram uso de 318 *slides*. Durante o curso, o uso da CoWeb foi requerido para a criação de páginas de resumos de leituras e páginas de identificação pessoal, resultando em 303 páginas criadas (Abowd et al., 1999).

Em relação ao serviço que explora LSA, a indexação do eClass foi realizada utilizando um dos módulos da ferramenta mmoGoSearch², que foi modificado nos seguintes aspectos: o dicionário de *stopwords* da ferramenta foi adaptado com palavras utilizadas no contexto do repositório eClass, e o código do módulo de indexação foi alterado a fim de permitir extração de palavras a partir de páginas Web ativadas via JavaScript.

O processo de indexação gerou 1904 termos (índices) em 616 documentos correspondentes às 18 aulas que continham esses termos. Do conjunto de índices produzido, foi gerada a matriz X da técnica de LSA com dimensões de 1904 linhas por 616 colunas. Em seguida, foi aplicado o modelo SVD para decompor a matriz X em suas matrizes componentes T , S e D . Foi utilizado $k = 2$ para reduzir as dimensões do espaço semântico manipulado.

O conjunto de índices do repositório CoWeb foi criado considerando apenas os títulos das páginas Web criadas para apoiar o curso capturado pelo eClass. Títulos são considerados relevantes sendo, normalmente, palavras-chave que indicam o conteúdo da página. Embora cada página na CoWeb tenha maior quantidade de informação textual que um *slide* no eClass, a indexação baseada apenas nos títulos das páginas gerou uma filtragem na informação a ser manipulada. Essa abordagem já havia sido adotada com sucesso na implementação do serviço de criação automática de ligações lexicais (Pimentel et al., 2001b). Todos os índices da CoWeb = 305 títulos de páginas = foram transformados em vetores de consulta.

Finalmente, um procedimento combinou as matrizes componentes reduzidas de X e os vetores de consulta calculando o co-seno entre cada linha e coluna da matriz semântica por cada vetor de consulta. Foi utilizada a porcentagem de 99% para filtrar a similaridade e gerar a matriz semântica.

4.2.5 Experimentos

Ligações semânticas automáticas inter-repositórios

O processo de criação automática de ligações semânticas baseadas em LSA entre os repositórios eClass e CoWeb com grau de 99% de similaridade identificou 789 ligações — uma média de 43,8 ligações por aula. A distribuição dessas ligações por aula é apresentada na Figura 4.2.

²Disponível em <http://www.mnogosearch.ru>

Figura 4.2: Ligações manuais (preto), ligações lexicais automáticas (branco) e ligações semânticas automáticas (cinza), separadas nas 18 aulas de um curso de seminário capturado pelo eClass e documentado na CoWeb (Macedo et al., 2001)

Em termos de quantidades de ligações identificadas, a média de 43.8 ligações pode ser considerada um resultado positivo quando comparado ao antigo processo de criação de ligações baseado em comparações lexicais de palavras — média de 6.2 ligações por aula. Esse resultado é indicado na Figura 4.2, que apresenta sete aulas com até 19 ligações, oito aulas entre 20 e 53 ligações e três aulas com mais de 120 ligações identificadas. O serviço criado identificou um grande número de ligações para as aulas 17 e 18. Esse fato foi decorrente de essas aulas terem conteúdo extremamente similar ao material criado na CoWeb. Contudo, o antigo serviço de criação de ligações (baseado em similaridade lexical) não tinha identificado essa similaridade de conteúdo. Assim, algumas das limitações de comparações lexicais de palavras foram superadas com o serviço de criação automática de ligações semânticas.

Ligações semânticas automáticas intra-repositórios

A matriz semântica de similaridade, correspondente à etapa 8 apresentada na Figura 4.1, foi explorada na identificação de ligações internas aos repositórios CoWeb e eClass indexados. Essas ligações foram criadas a partir do cálculo de co-seno entre as colunas da matriz semântica, correspondentes a cada um dos repositórios, para definição de ligações internas ao eClass e à CoWeb.

Ligações internas ao repositório eClass. Nesse experimento, os cálculos de co-seno entre as colunas da matriz semântica definiram uma média de 15 ligações entre as 18 aulas. Esses valores eram esperados, pois as aulas correspondem a um único curso. Uma média baixa iria contra a hipótese inicial do experimento que considerava os repositórios

eClass e CoWeb homogêneos.

Ligações internas ao repositório CoWeb. Ao calcular o co-seno entre as colunas da matriz semântica, foi possível identificar relacionamentos entre páginas armazenadas no repositório CoWeb. Como resultado de tal computação, uma matriz de valores entre 0 e 7 foi criada. A média do número de ligações criadas entre essas páginas foi de 0,7. Esse resultado alcançou os objetivos do experimento, uma vez que a indexação da CoWeb foi baseada apenas nos títulos das páginas os quais são relevantes apenas para a própria página.

Após esse experimento, foi identificado que quando uma ligação é definida entre duas páginas CoWeb, as aulas capturadas pelo eClass relacionadas com essas páginas também podem ser interligadas. Isto aumentaria o número de relacionamentos entre documentos que não foram identificados pelo serviço.

4.3 Serviço Aberto de Criação Automática de Ligações Semânticas

4.3.1 Motivação

Como uma abordagem geral para criar ligações sobre qualquer repositório Web requer a inclusão das ligações nos documentos, permissões de escrita tornam-se um obstáculo para os serviços automáticos. Em sistemas hipermídia abertos, as ligações hipertexto são manipuladas via interface Web independente e armazenadas em bases de dados especiais, denominadas *linkbases*.

A construção de um Serviço Aberto de Criação Automática de Ligações Semânticas foi motivada pelos resultados obtidos no trabalho discutido na seção anterior e pela necessidade de:

- identificar ligações semânticas entre repositórios sem a necessidade de criar um conjunto de vetores de consulta, isto é, sem utilizar palavras-chave ou frases como consulta. Assim, todo o conteúdo de informações dos repositórios manipulados pode ser indexado e relacionado semanticamente;
- armazenar os relacionamentos das ligações identificadas em uma biblioteca de li-

gações que possa ser utilizada por outras aplicações, hipermídia ou não. Esse requisito também faz parte da idéia de querer estender o serviço a qualquer tipo de repositório Web. Para armazenar as ligações identificadas separadamente do conteúdo dos documentos, o WLS (Web Linkbase Service), apresentado no Capítulo 3, foi utilizado.

4.3.2 Infra-estrutura

A infra-estrutura apresentada na Figura 4.1 foi modificada e estendida para incorporar os novos requisitos definidos para o serviço aberto de criação automática de ligações semânticas. Essa nova infra-estrutura é apresentada na Figura 4.3.

Figura 4.3: Infra-estrutura para representação da geração automática de ligações semânticas abertas Web (Macedo et al., 2002b)

A área em destaque à esquerda da Figura 4.3 indica que o nível de estruturação (*structural level*) da infra-estrutura definida é composto por parte da infra-estrutura da Figura 4.1. Foram realizadas modificações por não existir mais a necessidade da definição de consultas com palavras-chave para definir relacionamentos semânticos entre repositórios Web. Todos os repositórios a serem indexados são manipulados pela mesma sequência de procedimentos. Contudo, o conteúdo inicial dos repositórios é manipulado separadamente, e posteriormente inter-relacionado no passo que define a matriz semântica. No nível de estruturação, a infra-estrutura manipula componentes de conteúdo e de estrutura, tais como nós e ligações semânticas.

O nível de armazenamento (*storage level*) é composto pela biblioteca de armazenamento de ligações do WLS. A comunicação entre o nível de armazenamento e o nível de estruturação é realizada através de procedimentos existentes no nível de ancoragem (*anchoring level*).

Os três níveis — *structural level*, *storage level* e *anchoring level* — correspondem aos níveis homônimos da arquitetura de Referência Dexter de Sistemas Hipermissão Abertos (Halasz and Schwartz, 1994).

O nível de apresentação (*request interface*) é composto por interfaces como as apresentadas na Figura 4.5 que suportam funcionalidades de interação. Através desse nível, usuários podem fazer requisições de serviços e visualizar as ligações criadas no nível de estruturação e armazenadas no nível de armazenamento.

4.3.3 Implementação

Foi abstraído um algoritmo, apresentado na Figura 4.4, para implementação da infra-estrutura do Serviço Aberto de Criação Automática de Ligações Semânticas. Nesse algoritmo estão apresentados módulos de processamento dos níveis de estruturação e de ancoragem da infra-estrutura. O nível de apresentação não foi inserido nesse procedimento, pois sua implementação depende do contexto no qual o serviço é utilizado. Já o nível de armazenamento é tratado pelo serviço de ligações WLS.

```

Procedure OpenLatentSemanticLinking
Begin
  varchar(50) URLs[];
  URLs[]:=URLs /*URLs to be indexed*/
  For (i:=1 to length(URLs);i++) do
    /*Indexing method calls the indexing engine*/
    tbTerms, tbURLs:=indexing(URLs[i]);
    matrix_X[N][Z]:=generateTermsByDocuments(tbTerms, tbURLs);
    matrix_T[N][K],matrix_S[K][K],matrix_D[K][Z]:=ComputeSVD(matrix_X,K);
    matrixReduced_X[N][Z]:=matrix_T[N][K]*matrix_S[K][K]*
      transpose(matrix_D[K][Z]);
    /*computeSimilarity() is equivalent to*/
    For (i:=1 to Z;i++) do
      matrixSimilarity[i]:=co-seno(matrixSimilarity[1..N][i],
        matrixSimilarity[1..N][i+1]);
    if (matrixSimilarity[i] >= Similarity_Threshold) then
      WLS_NewLink(matrixSimilarity[1..N][i], matrixSimilarity[1..N][i+1]);
  End.

```

Figura 4.4: Procedimento “OpenLatentSemanticLinking” (Macedo et al., 2002b)

Os procedimentos e as funções do procedimento `OpenLatentSemanticLinking` foram implementados utilizando as linguagens de programação C++, PHP, HTML e OX³ para definição de um serviço apresentado a seguir. OX, uma linguagem criada especialmente para a manipulação de matrizes, inclui o procedimento `ComputeSVD` como parte de sua biblioteca de funções.

4.3.4 LinkDigger

Para demonstrar a utilidade da infra-estrutura da Figura 4.3 definida foi construído o primeiro protótipo do serviço aberto de criação automática de ligações — LinkDigger que permite:

- a indexação de até cinco repositórios Web;
- a identificação de relacionamentos semânticos entre os repositórios indexados. Caso apenas uma URL seja informada à aplicação, a criação de ligações é interna ao repositório;
- a criação das ligações semânticas identificadas através da utilização do WLS;
- o acesso aos resultados através de uma interface Web referenciando as páginas relacionadas pelo LinkDigger com os repositórios indexados.

A interface de entrada de informações do LinkDigger, apresentada na Figura 4.5(a), é composta por um formulário com campos do tipo texto e um campo de seleção de número de repositórios a serem manipulados. Através dessa interface, usuários podem iniciar o processo de relacionamento semântico entre repositórios Web seguindo os seguintes passos: (1) seleccionar o número de repositórios a serem relacionados; (2) disponibilizar um *e-mail* de contato para a ferramenta anunciar quando o processamento estiver finalizado; e (3) ativar a execução de processamento. É necessário o fornecimento de um *e-mail* de contato, pois todo o processamento realizado pela ferramenta é realizado em *background*. Esse artifício foi utilizado em uma tentativa de suportar a criação automática de ligações em repositórios com grande quantidade de informação.

Após a chegada do *e-mail* de aviso da finalização do processamento do serviço LinkDigger, usuários podem acessar os resultados através de uma interface Web que apresenta

³Disponível em <http://www.timberlake.co.uk>

os relacionamentos criados como ligações distribuídas hierarquicamente. Um exemplo de apresentação de resultados é apresentado na Figura 4.5(b).

Figura 4.5: (a) Interface de ativação do LinkDigger e (b) Interface de resultados

4.3.5 Experimento

Em um experimento inicial, o LinkDigger relacionou páginas com notícias *online* de dois jornais norte-americanos — o The New York Times (NYT) e o New York Post (NYP). Esse experimento considerou apenas páginas referentes a notícias internacionais publicadas pelos dois jornais em 13 de janeiro de 2002: 16 notícias do jornal NYT e 9 notícias do jornal NYP.

O LinkDigger identificou e criou 174 ligações semânticas latentes entre as páginas dos dois jornais — média de 7 ligações por páginas. As ligações identificadas foram armazenadas na biblioteca de ligações do WLS.

A página com o maior número de ligações identificadas foi a página inicial para notícias internacionais do NYT — 14 ligações. Esse fato era esperado, pois esse tipo de página tem contexto relacionado a todas as páginas indexadas. Entretanto, 6 das 14 ligações dessa página eram para páginas do NYP.

Outro fato que chamou atenção foi que a página principal de notícias internacionais do NYT foi relacionada aos dois jornais, enquanto que a página principal do NYP foi relacionada exclusivamente ao próprio jornal. Essa constatação pode ser explicada pelo fato de o jornal NYT ter um maior número de notícias manipuladas além de uma maior variedade de informação.

4.4 Considerações Finais

Os serviços de criação automática de ligações para integração de repositórios Web correspondem à etapa inicial do trabalho apresentado nesta dissertação.

Na continuidade deste trabalho, foram pesquisadas novas técnicas de indexação, tecnologias e estratégias de recuperação de informação para obter melhores resultados dos serviços de criação automática de ligações definidos. Através da utilização das novas abordagens foi possível aprimorar a precisão dos resultados apresentados pelo LinkDigger. Esse trabalho de investigação é reportado no próximo capítulo.

Capítulo 5

Investigando abordagens de IR para a criação automática de ligações entre repositórios

5.1 Considerações Iniciais

Nos trabalhos apresentados no capítulo anterior, foram obtidos resultados positivos em termos da quantidade de ligações definidas. No entanto, foram identificadas ligações imprecisas, ao mesmo tempo que ligações relevantes não criadas. Por essas razões, tornou-se necessário investigar abordagens de recuperação de informação (Information Retrieval - IR) na tentativa de aprimorar os serviços criados e, conseqüentemente, obter uma melhor aproximação das ligações criadas em relação às expectativas dos usuários.

Inicialmente foi investigado como as variações de limiar de similaridade e de esquemas de atribuição de pesos a termos em coleções de documentos podem afetar a precisão dos serviços de criação automática de ligações. A partir dos resultados dos experimentos iniciais, foi definida uma segunda etapa de investigações para verificar a possibilidade da eliminação de termos não-representativos da coleção. Essa eliminação foi realizada a partir da utilização de diferentes funções matemáticas que representam o comportamento dos pesos dos termos dentro da coleção de documentos. Na última etapa de investigações, foi analisada a contribuição de usuários no processo de criação de ligações a fim de definir ligações mais precisas. Como resultado, foram obtidos aprimoramentos de precisão para os serviços de criação automática de ligações entre os documentos das coleções manipuladas.

Para a realização das investigações citadas e para comparações de resultados, foram definidos diversos experimentos com as mesmas coleções de documentos e realizadas extensões aos serviços de criação automática de ligações apresentados no capítulo anterior. Esse conjunto de extensões possibilitou a definição de um serviço configurável para a criação de ligações hipertexto entre repositórios Web. Os experimentos realizados e o serviço configurável de criação de ligações são apresentados neste capítulo.

5.2 Definição dos Experimentos

5.2.1 Ambiente operacional

Os experimentos foram realizados em um computador com processador Intel Pentium III de 1.0 GHz, com 128 MBytes de memória RAM e com sistema operacional Linux.

As linguagens C++, PHP e XML, e as ferramentas MySQL, mmoGoSearch, OX e MatLab foram utilizadas no desenvolvimento dos serviços de suporte às investigações das abordagens de IR.

5.2.2 Descrição das informações manipuladas

Para realizar os experimentos com as abordagens de IR citadas, foram utilizadas duas coleções de documentos.

A primeira coleção de documentos em português, referenciada neste texto por JB (Jornais Brasileiros), foi definida a partir da indexação de páginas Web de dois jornais *online* brasileiros. Para definir essa coleção, foi utilizada a ferramenta mmoGoSearch na extração de informações publicadas nas seções de *Esporte* e de *Economia* dos jornais CNN (<http://www.cnn.com.br>) e *O Estado de São Paulo* (<http://www.estadao.com.br> - OESP). As informações contidas nesses repositórios para cada categoria são consideradas homogêneas, no contexto deste trabalho, por tratarem de um mesmo assunto (Esporte e Economia), em um mesmo lugar (no Brasil) e em um mesmo espaço de tempo (no dia 21 de maio de 2002). Nesse contexto, o jornal OESP contava com 97 documentos (59 de *Esportes* e 38 de *Economia*) e o jornal CNN possuía 24 documentos (15 de *Esportes* e 9 de *Economia*). Os repositórios da coleção JB foram analisados por dois usuários conhecedores do conteúdo publicado com o intuito de criar uma coleção de referência a

ser utilizada para a avaliação dos resultados dos experimentos.

A segunda coleção de documentos, Cystic Fibrosis (CF), é formada por 1239 documentos em inglês obtidos da base de dados MEDLINE da National Library of Medicine e por um conjunto de 100 consultas com indicações de suas relevâncias para cada documento da coleção (Shaw et al., 1991). As 100 consultas da coleção foram consideradas como um segundo conjunto de documentos que são possíveis âncoras de ligações determinadas para os 1239 documentos da coleção. As indicações de relevância de cada consulta para cada documento fazem parte da coleção e foram definidas por quatro usuários especialistas na área de *cystic fibrosis*. Essas informações possibilitaram a definição da coleção de referência a ser utilizada para a avaliação dos resultados.

Para indexação da coleção JB, foram considerados um conjunto de *stopwords*, em português, com 169 palavras e um dicionário de 43669 palavras com 263 regras aplicáveis aos termos para extrair seus radicais e permitir a recuperação de documentos contendo variações sintáticas desses termos. Já para a coleção CF foi considerado um dicionário de 85557 com 42 regras e um conjunto de 731 *stopwords*, ambos em inglês.

A Tabela 5.1 apresenta as principais características das coleções manipuladas nos experimentos descritos nas próximas seções.

Tabela 5.1: Características das coleções de documentos utilizadas nos experimentos

Características	Coleções	
	JB	CF
Número de documentos e consultas	121	1339
Número de termos distintos	4.789	7.410
Número de documentos relevantes gerados pelo usuário	42	4.819
Tamanho da coleção (MB)	2.2	7.9

5.2.3 Medidas de avaliação

Como discutido no Capítulo 2, as medidas tradicionais para avaliar a eficiência de sistemas de IR são índice de revocação e índice de precisão (Baeza-Yates and Ribeiro-Neto, 1999). Para avaliar os experimentos utilizando esses índices, foram utilizadas as coleções de referência correspondentes a cada coleção manipulada, JB e CF.

5.3 Variação de Esquemas de Atribuição de Pesos e de Limiares de Similaridade

Esquemas de atribuição de pesos a índices de documentos procuram aprimorar o desempenho da recuperação de informações auxiliando na distinção dos termos que representam melhor o conteúdo dos documentos. Como apresentado no Capítulo 2, os esquemas de atribuição de pesos mais conhecidos exploram tf e idf para atribuir pesos a todos os termos de um documento, sendo que tf representa o número de vezes que um determinado termo ocorre em um dado documento e idf o número de documentos no qual aquele determinado termo ocorre. Os melhores índices para identificação de documentos são aqueles que têm alta frequência dentro do documento, tf , e baixa frequência na coleção, idf .

Com o intuito de aprimorar os resultados apresentados pelos serviços de criação automática de ligações foram investigados três esquemas de atribuição de pesos:

Esquema 1: $w_{ij} = (\frac{tf(ij)}{\max tf(ij)}) \times (\log(\frac{N}{n_i}))$;

Esquema 2: $w_{ij} = (1 + \log(tf(ij))) \times \log(\frac{N}{n_i})$;

Esquema 3: $w_{ij} = \frac{tf(ij) \times \log(\frac{N}{n_i})}{\sqrt{\sum_{k=1}^T (tf(kj))^2 \times (\log(\frac{N}{n_k}))^2}}$.

Para os três esquemas de atribuição de pesos, o fator idf é calculado como $\log(\frac{N}{n_i})$, sendo N o número total de documentos da coleção e n_i o número de documentos que contém o termo k_i . Ou seja, termos que ocorrem em todos os documentos têm peso menor, já que idf fica próximo a zero. Portanto, o diferencial das fórmulas está na normalização do número de vezes que o termo ocorre no documento, tf . No *Esquema 1*, a normalização é calculada como a porcentagem que representa o termo dentro do documento, ou seja, termos que ocorrem muitas vezes dentro de um documento têm peso maior já que tf será próximo a 1. No *Esquema 2*, a normalização é obtida usando a função $\log$ sobre o tf do termo e somando o valor 1 para evitar que termos tenham peso com valor zero. Finalmente, no *Esquema 3*, a normalização é calculado o valor médio dos pesos.

Após a atribuição de pesos, a matriz X , da técnica de LSA, é construída. Ao final das operações do modelo algébrico SVD, o co-seno entre as colunas da matriz semântica, $\hat{X}$, deve ser calculado para definir a similaridade entre os documentos do repositório

manipulado. O co-seno, que fornece o valor de limiar de similaridade, é obtido da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} Sim(d_i, d_j) &= \frac{\vec{d_i} \cdot \vec{d_j}}{|\vec{d_i}| \times |\vec{d_j}|} \\ &= \frac{\sum_{k=1}^t w_{k,i} \times w_{k,j}}{\sqrt{\sum_{k=1}^t w_{k,i}^2} \times \sqrt{\sum_{k=1}^t w_{k,j}^2}} \end{aligned} \quad (5.1)$$

onde d_i representa o documento i que será comparado com o documento j , d_j . Os pesos do termo k dentro dos documentos i e j são representados, respectivamente, por $w_{k,i}$ e $w_{k,j}$. O valor de limiar de similaridade é utilizado para filtrar a matriz semântica.

5.3.1 Procedimento

Para realizar experimentos com os esquemas de atribuição de pesos investigados, o algoritmo codificado em “computeWeight”, na Figura 5.1, foi definido, implementado e testado.

```

Procedure computeWeight
Begin
  varchar(10) Schema;
  /* Seleciona todos os documentos da coleção */
  For (j:=1 to length(tbURLs);i++) do
    /* Para cada termo do documento é calculado o peso */
    For (i:=1 to length(tbTerms);i++) do
      /* Calcula “tf” para o termo “i” de acordo ao esquema selecionado */
      tf=calculatf(tbTerms[ i ],tbURLs[ j ],Scheme);
      /* Calcula “idf” para o termo “i” */
      idf=calculaidf(tbTerms[ i ],tbURLs,Scheme);
      /* Atribui o peso ao termo “i” */
      tbTerms[i]=atribuiPeso(tf,idf);
    End.
  End.

```

Figura 5.1: Procedimento “computeWeight”

O procedimento “computeWeight” executa os seguintes módulos:

- “calculatf” - utiliza um esquema de atribuição de pesos, que é recebido como parâmetro, para calcular a representação do termo i no documento j :

- “calculaidf” - calcula a co-relação que existe entre o termo i e toda a coleção de documentos para o esquema de atribuição de pesos utilizado;
- “atribuiPeso” - armazena o valor do peso no termo i do vetor que representa o documento j . Esse valor é calculado como $tf \times idf$.

O serviço Web LinkDigger de (Camacho-Guerrero et al., 2002b), apresentado na Seção 5.6, foi estendido para suportar a seleção de métodos de atribuição de pesos a serem explorados durante a criação e a apresentação das ligações definidas e criadas pelo serviço.

5.3.2 Resultados

As Figuras 5.2 e 5.3 apresentam os diferentes esquemas de atribuição de pesos investigados variando de acordo com os diferentes limiares de similaridade (eixo horizontal) e com os termos de índices de avaliação, revocação e precisão (eixo vertical). Cada esquema de atribuição de pesos é representado por duas linhas. As linhas de cor cinza representam o índice de revocação e as linhas de cor preta representam o índice de precisão das ligações geradas.

A análise do comportamento dos esquemas, apresentados na Figura 5.2, é inicializada com o limiar de similaridade de 50%. Entre 50 e 70%, relacionamentos semânticos definidos entre os repositórios de informações da coleção JB, utilizando o *Esquema 3*, são mais precisos que os outros esquemas; depois de 70%, o *Esquema 3* é superado pelos outros esquemas no número de ligações semânticas relevantes criadas. Em relação ao índice de revocação, o *Esquema 3* apresenta um declínio de valores com um pequeno aumento entre os limiares de 60 e 70%.

Na Figura 5.2, o *Esquema 2* apresenta um menor índice de precisão se comparado ao *Esquema 3* e, praticamente, mantém esse índice até o limiar de 90%. Entretanto após 90%, esse esquema o índice de precisão reduzido rapidamente como ocorreu com o *Esquema 3*. O índice de revocação do *Esquema 2* apresenta uma queda quase constante de seu valor desde 50 a 90% de limiar de similaridade.

Finalmente, o *Esquema 1*, apesar de possuir o menor índice de precisão se comparado com os outros esquemas entre 50 e 80%, apresenta um crescimento constante do seu índice de precisão. Inclusive, esse esquema possui o valor mais alto, 24%, para o índice de precisão. Em relação ao índice de revocação, esse esquema também se comporta de

maneira satisfatória, uma vez que a diminuição desse índice é pequena se comparada a diminuição do mesmo índice nos outros esquemas. Esse fato indica que ao utilizar o *Esquema 1* para atribuição de pesos aos termos da coleção JB no limiar de similaridade de 90%, o serviço de criação automática de ligações obtém o melhor índice de precisão com a menor perda de ligações relevantes.

Figura 5.2: Índices de revocação (linhas claras) e de precisão (linhas escuras) das ligações identificadas na coleção JB utilizando os três esquemas de atribuição de pesos dos termos com a variação dos limiares de similaridade de 50 a 100%

Para a coleção CF, os índices de precisão e de revocação, apresentados na Figura 5.3, apresentam-se de maneira similar aos índices da coleção JB, apresentados na Figura 5.2, para limiares de similaridade de 50 a 100%.

Em relação aos índices de precisão, os três esquemas de atribuição de pesos comportam-se praticamente da mesma maneira até o limiar de 90%. A partir desse limiar, o índice de precisão do *Esquema 1* decresce rapidamente chegando a zero em 100%, enquanto que os outros dois esquemas tem os valores de seus índices mantidos por volta de 7%.

Os índices de revocação da coleção CF para os *Esquemas 2* e *3*, ilustrados com linhas claras na Figura 5.3, apresentam pequenas quedas em seus valores até o limiar de 90%, quando as quedas tornam-se bastante acentuadas. Porém, o *Esquema 1* apresenta índices de revocação quase constantes até o limiar de 80%, quando passa a ter valores superiores comparado aos outros dois esquemas.

Como concluído para a coleção JB, os índices de precisão e de revocação da coleção CF apresentam seus melhores valores para o limiar de similaridade de 90% e para o *Esquema 1* de atribuição de pesos a termos das coleções.

Figura 5.3: Índices de revocação (linhas claras) e de precisão (linhas escuras) das ligações identificadas na coleção CF utilizando os três esquemas de atribuição de pesos dos termos com a variação dos limiares de similaridade de 50 a 100%

5.4 Redução Baseada em Distribuições Matemáticas

No modelo vetorial, cada documento é representado por um vetor numérico no qual cada elemento representa um termo, e para cada um desses termos são atribuídos pesos parciais. Esses pesos indicam a relevância parcial de cada termo (índice) dentro do documento (Salton and Lesk, 1968). No entanto, esses vetores são normalmente grandes e esparsos e se torna difícil manipulá-los. Por esse fato, torna-se necessária a seleção dos termos que melhor representam o conteúdo de documentos. Para a eliminação de termos não-representativos da coleção, podem ser realizadas operações de eliminação de *stopwords*, redução de palavras ao seu radical (*stemming*) e seleção de classes de palavras representativas como, por exemplo, substantivos.

Ao analisar as distribuições matemática das Figuras 5.1 e 5.5 para os pesos atribuídos aos termos em relação à frequência dos mesmos dentro das coleções JB e CF, foi observado

que os três esquemas de atribuição de pesos, descritos na seção anterior, têm comportamentos similares. A diferença apresentada acontece devido ao número de termos de cada coleção ser diferente. Porém em ambas coleções, o esquema que mais se assemelha a uma distribuição Weibull é o *Esquema 1*, apresentado no gráfico (a) de cada figura, uma vez que a distribuição de dados para esse esquema obtém o menor valor para o teste de Anderson-Darling¹ (Stephens, 1974).

Figura 5.4: Distribuições Matemáticas para representar os esquemas de atribuição de pesos a termos da coleção JB. (a) *Esquema 1*, (b) *Esquema 2* e (c) *Esquema 3*

Os resultados das análises das distribuições matemáticas confirmaram a indicação do *Esquema 1* na seção anterior, para ser utilizado como esquema de atribuição de pesos aos termos dos documentos das coleções manipuladas. E assim, utilizar a distribuição matemática desse esquema no método de eliminação de termos não-representativos das coleções.

5.4.1 Procedimento

Para a implementação do módulo de eliminação de termos não-significativos, o algoritmo “MathematicReductionProcedure”, apresentado na Figura 5.6, foi desenvolvido.

¹O teste de Anderson Darling é utilizado para verificar se uma amostra de dados advém de uma população com uma distribuição específica.

Figura 5.5: Distribuições Matemáticas para representar os esquemas de atribuição de pesos a termos da coleção CF. (a) *Esquema 1*, (b) *Esquema 2* e (c) *Esquema 3*

```

Procedure MathematicReductionProcedure
Begin
  float reducao;
  /*Analisa as funções matemáticas para obter a porcentagem de
  redução*/
  reducao:=analisaFM(tbDocs);
  /*Elimina os de termos encontrados na porcentagem de
  redução*/
  tbTermos_reduzida:=reduzTermos(tbTermos,reducao);
  /*Gera a matriz de termos X documentos com os termos
  restantes*/
  matriz_reduzida:=criaMatiz(tbTermos_reduzida,tbDocs);
  return (matriz_reduzida);
End.

```

Figura 5.6: Procedimento “MathematicReductionProcedure”

O procedimento “MathematicReductionProcedure” é formado pelos seguintes módulos:

- “analisaFM” - analisa as distribuições matemática dos termos da coleção para seleccionar uma porcentagem de redução a ser aplicada a coleção;
- “reduzTermos” - elimina a porcentagem de termos, de acordo com o valor de redução obtido no processo anterior;

- “criaMatriz” - gera a matriz de termos por documentos utilizando os termos restantes, após a execução do módulo do “reduzTermos”.

Com o intuito de demonstrar a utilidade do método de redução de vetores, isto é, método de eliminação de termos não-representativos da coleção, o serviço LinkDigger de (Camacho-Guerrero et al., 2002b) foi estendido e utilizado para fornecer os resultados apresentados a seguir.

5.4.2 Resultados

Conforme apresentado na Tabela 5.1, o número de termos distintos da coleção JB é de 4789. Ao utilizar o *Esquema 1* para atribuição de pesos e 90% de limiar de similaridade, os índices de precisão e de revocação, para porcentagens de 10 a 90% de eliminação dos 4789 termos da coleção JB, comportam-se como apresentado na Figura 5.7. Analisando essa figura, percebe-se que os melhores índices de precisão e de revocação para a maior porcentagem de eliminação de termos não-significativos da coleção ocorre em 80%. Com essa porcentagem de poda, os serviços de criação automática de ligações manipulariam 1676 termos e, mesmo assim, obteriam, respectivamente, 40 e 35% de revocação e de precisão.

Para exemplificar o desempenho das investigações apresentadas neste trabalho, pode-se observar que com a mesma coleção de documentos (JB), o mesmo esquema de atribuição de pesos (Esquema 1), o mesmo limiar de similaridade (90%) e com uma manipulação de 1676 em vez de 4789 termos distintos, o índice de precisão dos serviços de criação automática de ligações aumentou de 24% para 35%; enquanto que o índice de revocação teve uma pequena redução de 54%, conforme apresentado na Figura 5.2 antes do processo de poda, para 40%.

Ao utilizar o mesmo contexto do experimento anterior com a coleção CF - *Esquema 1* para atribuição de pesos, 90% para limiar de similaridades e para porcentagens de 10 a 90% de eliminação de termos, observa-se que os índices de precisão e de revocação apresentam um comportamento similar ao da coleção JB, conforme ilustrado na Figura 5.8. Na figura, os melhores índices de precisão e de revocação para a maior porcentagem de eliminação de termos não-representativos da coleção também ocorre em 80%. Com essa porcentagem de redução, os serviços de criação automática de ligações manipulariam 2964 termos em vez de 7410, e obtiveram, respectivamente, 6 e 54% para os índices de revocação e de precisão, enquanto que os índices iniciais eram 5 e 70% respectivamente.

Figura 5.7: Variação dos índices de precisão e de revocação de acordo com a variação da porcentagem de termos eliminados da coleção JB de documentos. Nesse experimento foram considerados o Esquema 1 de atribuição de pesos e 90% de limiar de similaridade

Figura 5.8: Variação dos índices de precisão e de revocação de acordo com a variação da porcentagem de termos eliminados da coleção CF de documentos. Nesse experimento foram considerados o Esquema 1 de atribuição de pesos e 90% de limiar de similaridade

5.5 Inclusão de Feedback de Usuários

Conforme discutido no Capítulo 2, para que sistemas de IR se adequem às necessidades dos usuários, podem ser utilizadas técnicas de expansão de consultas. Tais técnicas exploram a interação com usuários e a utilização automática de propriedades dos documentos.

No sentido de adequar os serviços de criação automática de ligações às expectativas dos usuários e, assim, aprimorar a precisão desses serviços, foi investigado o método de *relevance feedback*, baseado na interação com o usuário, para a expansão do conjunto de ligações relevantes geradas (Macedo et al., 2002a).

A infra-estrutura, apresentada na Figura 5.9, ilustra o suporte a participação de usuários na definição de ligações entre repositórios Web. Essa infra-estrutura foi estendida a partir da infra-estrutura aberta, apresentada na Figura 4.3.

Figura 5.9: Infra-estrutura para geração de ligações semânticas entre repositórios Web com a participação do usuário através do método de *relevance feedback* (Macedo et al., 2002a)

No *nível de estruturação* da infra-estrutura, são definidas as ligações hipertexto entre os repositórios manipulados pelos serviços de criação de ligações e, após a apresentação aos usuários, essas ligações podem ser redefinidas nesse mesmo nível. As extensões nesse nível, devido a inclusão do método *relevance feedback*, são suportadas pelo procedimento “Uso de Relevance Feedback”, detalhado a seguir.

No *nível de apresentação*, diferentes interfaces possibilitam a especificação de infor-

mações para a inicialização do serviço e a apresentação de resultados com possibilidade de interação de usuários.

A interface de ativação do serviço é responsável por habilitar o fornecimento das informações necessárias para execução dos módulos de programa dos outros níveis da infra-estrutura. Já a interface de apresentação de resultados mostra as informações advindas do *nível de armazenamento* e permite que usuários indiquem, dentro do conjunto de ligações retornadas, as ligações que são relevantes. Essa última interface foi definida especialmente para o experimento da abordagem de *relevance feedback*.

5.5.1 Procedimento

O método de *relevance feedback* envolve dois passos básicos: expansão da consulta original com os novos termos e reformulação dos pesos dos termos da consulta expandida. Para a implementação desse método, o procedimento “Uso de Relevance Feedback” foi desenvolvido.

Na Figura 5.9, o processamento (1) indica a interação de usuários no nível de apresentação para seleção das ligações a serem incluídas às ligações originais como se fossem novos termos de uma consulta. Em seguida, as informações armazenadas na matriz semântica são recalculadas incluindo as novas informações (processamento (2)) e, conseqüentemente, os pesos dos termos dos documentos que compreendem as ligações iniciais e as selecionadas por usuários são reformulados (processamento (3)).

Os módulos básicos do procedimento “Uso de Relevance Feedback” são os seguintes:

- “carrega_matriz” - busca a matriz de similaridades semânticas gerada pelo procedimento *OpenLatentSemanticLinking* a ser manipulada, a partir dos *feedbacks* de usuários;
- “calcula_somatorias” - soma todos os vetores de documentos relevantes, após sugestão dos usuários de quais são relevantes ou não.

Para a codificação do procedimento “Uso de Relevance Feedback” apresentado na Figura 5.10, foi utilizada a equação de Ide, apresentada no Capítulo 2, com os seguintes valores para as variáveis de ajuste $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.7$ e $\gamma = 0.1$. Na equação de Ide, as consultas $\vec{q}$ foram consideradas como conjuntos de vetores de termos de um repositório

```

Procedure Uso de Relevance Feedback
Begin
  /* Matriz obtida a partir do procedimento "OpenLatentSemanticLinking" */
  X_Reduced:= carrega_matriz(matrixReduced_X); Dr[]:= Drs;
  /* Conjunto de documentos relevantes a serem processados */
  Dn-r[]:= Dn-rs;
  For (i:=0 to i < length(X_Reduced);i++) do
    /* Soma todos os vetores de documentos relevantes e não-relevantes */
    calcula_somatorias(X_Reduced[i],SumDr,SumDn-r);
    /* Equacao de Ide para relevance feedback */
    X[][q_m]:= alfa*(X[][q_m])+((beta)*SumDr)-(gama*SumDn-r);
  /* Repete os processamentos finais do algoritmo "SemanticServiceLinking" */
  For (i:=1 to Z;i++) do
    matrixSimilarity[i]:= coseno(X_Reduced[1..N][i], X_Reduced[1..N][i+1]);
    If (matrixSimilarity[i] >= Similarity_Threshold) then
      linkbase_WLS(matrixSimilarity[1..N][i], matrixSimilarity[1..N][i+1]);
  End.

```

Figura 5.10: Procedimento "Uso de *Relevance Feedback*"

a ser comparado com outros repositórios. Uma abordagem semelhante foi utilizada na modelagem dos repositórios com o uso da técnica de LSA. A diferença está no fato de que, para modelar os repositórios para gerar ligações usando LSA, todas as informações dos repositórios foram consideradas; no contexto de *relevance feedback*, apenas as informações componentes da matriz semântica, resultante de LSA, são alteradas através da equação de Ide pois essa matriz representa a estrutura semântica da coleção.

Para permitir diversas interações de usuários, indicadas por m , a equação de Ide foi ajustada, conforme apresentado na Equação 5.2.

$$\vec{q}_{m+1} = \alpha \vec{q}_m + \beta \sum_{\forall \vec{d}_j \in D_r} \vec{d}_j - \gamma \sum_{\forall \vec{d}_j \in D_{n-r}} \vec{d}_j \quad (5.2)$$

Devido ao fato do contexto manipulado ser composto por ligações hipertexto bidirecionais, o vetor $\vec{q}_m$ da Equação 5.2 pode ser formado a partir de qualquer documento relacionado a cada uma das âncoras correspondentes às ligações semânticas geradas. Por esse motivo, na reconstrução da matriz semântica no procedimento "Uso de Relevance Feedback", a equação de Ide foi aplicada duas vezes para cada ligação relevante considerada. Variou-se a âncora-origem de acordo com a direção que se desejava atender.

O serviço LinkDigger de (Camacho-Guerrero et al., 2002b) foi adaptado para permitir que usuários participassem na definição de ligações entre repositórios Web. Os resultados desses experimentos são reportados a seguir.

5.5.2 Resultados

O experimento realizado, considerando a infra-estrutura da Figura 5.9 e a coleção de documentos JB apresentada na Seção 5.2.2, resultou nas informações resumidas na Tabela 5.2. A coleção de documentos de *Cystic Fibrosis*, CF, não foi utilizada para a experimentação do método de *relevance feedback* devido ao fato de não se ter acesso a usuários desse domínio para interagir com o serviço LinkDigger.

A coluna “estado inicial” da Tabela 5.2 fornece a quantidade de ligações geradas pelo LinkDigger antes das interações de usuários, isto é, o contexto original. As demais colunas da tabela correspondem a informações geradas pelo LinkDigger após interações de cada um dos cinco participantes do experimento (usuário 1 a usuário 5).

Tabela 5.2: Informações obtidas a partir do experimento com LinkDigger considerando *relevance feedback*

Variáveis de avaliação	estado inicial	usuário 1	usuário 2	usuário 3	usuário 4	usuário 5
(1) Qtde de ligações marcadas como relevantes na interação do usuário	0	5	12	7	8	4
(2) Qtde de ligações relevantes e não relevantes geradas pelo LinkDigger(A)	44	37	12	16	12	9
(3) Qtde de ligações relevantes geradas pelo LinkDigger (Ra)	8	5	7	6	7	2
(4) Qtde de ligações relevantes (R)	27	27	27	27	27	27
(5) Índice de precisão - Ra/A (%)	18,18	13,51	58,33	37,5	58,33	22,22
(6) Índice de revocação - Ra/R (%)	29,63	18,51	25,92	22,22	25,92	7,40

As colunas correspondentes aos usuários na linha (1) indicam as ligações marcadas

como relevantes por cada usuário das 44 ligações geradas pelo LinkDigger após a primeira interação. As linhas (2) e (3) indicam, respectivamente, a quantidade de ligações totais e as consideradas relevantes após a interação do usuário. Na coluna “estado inicial”, os valores 44 e 8 nas linhas (2) e (3) correspondem às quantidades de ligações totais e relevantes geradas inicialmente pelo LinkDigger. Esse valor é apresentado na linha (4) da Tabela 5.2 como (R). Os índices de revocação e de precisão são calculados como $Rev = \frac{R_0}{R}$ e $Prec = \frac{R_0}{A}$ e são apresentados, respectivamente, nas linhas (5) e (6) da tabela.

Analisando os resultados desse experimento, pode-se observar que, após a interação dos usuários através do método IR de *relevance feedback*, os índices de revocação e de precisão foram positivos para todos os usuários. O índice de precisão demonstra um ganho significativo após as interações de usuários, enquanto que o índice de revocação apresenta uma sequência de pequenas quedas de valores se comparados ao contexto inicial de 29.63%. Esses números demonstram a eficiência da abordagem investigada, uma vez que com um bom ganho de precisão, houve pouca geração de informação não-relevante.

Insatisfeito com os resultados da primeira interação, o quinto usuário realizou uma nova interação com o serviço LinkDigger e obteve 77.7% de índice de precisão e 25.9% de índice de revocação. Esses valores indicam um aprimoramento de resultados a cada interação dos usuários na coleção JB.

5.6 Definição de um Serviço Configurável

Procurando suportar as diferentes abordagens de IR investigadas, foi definida uma infra-estrutura e um serviço de criação automática de ligações que são configurados para a criação de ligações entre repositórios Web (Camacho-Guerrero et al., 2002a). Pretende-se permitir a adequação das abordagens exploradas, através da configuração de parâmetros, na definição de ligações e, assim atender de maneira mais satisfatória às necessidades e expectativas de usuários.

A infra-estrutura do serviço configurável é apresentada na Figura 5.11 e detalhada a seguir.

No *nível de estruturação*, são definidas as ligações hipertexto entre os repositórios Web manipulados. Os parâmetros de configuração definidos nesse nível são numerados como (1), (2), (3) e (4) na Figura 5.11 e, respectivamente:

Figura 5.11: Infra-estrutura configurável para a geração automática de ligações Web

- (1) afetam a definição dos repositórios a serem manipulados e a definição dos parâmetros de indexação desses repositórios Web;
- (2) são atribuídos à preparação dos termos a serem utilizados na criação de ligações semânticas. Diferentes versões e combinações de esquemas de atribuição de pesos podem ser consideradas;
- (3) contextualizam a definição de ligações do tipo lexicais como, por exemplo, peso atribuído a cada termo comparado. É importante notar que os processos de geração automática de ligações lexicais e o processo de geração automática de ligações semânticas não são exclusivos;
- (4) finalizam a definição das ligações semânticas. Nessa etapa, diferentes limiares de similaridades podem ser considerados, para determinar as ligações a serem armazenadas. Caso sejam atribuídos pesos aos termos comparados pelo módulo "gera ligações lexicais", pode ser desejável a utilização de parâmetros que especifiquem graus de similaridades.

O módulo "gera links léxicos" permite a definição de ligações do tipo lexicais, explorando apenas comparações de *strings*. Assim, é possível que outros módulos de geração

de diferentes tipos de ligações sejam adicionados à infra-estrutura, demonstrando a propriedade de escalabilidade da infra-estrutura configurável. Outro módulo implementado foi o módulo “calcula peso”, que explora diferentes esquemas de atribuição de pesos para a definição de ligações semânticas.

A comunicação entre os níveis de estruturação e de armazenamento continua sendo suportada por chamadas de funções à API (Application Programming Interface) do WLS (Bulcão Neto et al., 2002) ou por simples comandos de inserção em tabelas de banco de dados. Essas funcionalidades estão disponíveis nos módulos do *nível de ancoragem*.

No *nível de apresentação*, interfaces possibilitam (a) a especificação dos parâmetros configuráveis (habilita o fornecimento das informações necessárias às funcionalidades e às técnicas implementadas nos módulos do nível de estruturação) e (b) a apresentação de resultados (mostra as informações advindas do *nível de armazenamento*, e os parâmetros especificados).

5.6.1 Procedimento

Para a implementação dos módulos da infra-estrutura configurável, apresentados na Figura 5.11, o algoritmo codificado em “FlexibleServiceLinking” da Figura 5.12 foi desenvolvido.

O procedimento da Figura 5.12 executa os seguintes módulos:

- “read” - lê os parâmetros de configuração inseridos pelo usuário;
- “indexing” - indexa cada repositório Web. Esses repositórios são indexados separadamente e armazenados no banco de dados;
- “computeWeight” - atribui pesos a termos utilizando o esquema de atribuição selecionado;
- “generateTermsByDocuments” - gera, das tabelas e dos índices gerados a partir dos repositórios, a matrix de termos por documentos X ;
- “computeSVD” - dada a matrix X gerada e o valor k de redução, executa o análise de SVD gerando as matrizes componentes T , S e D e a dimensão reduzida dessas matrizes de acordo com k ;

```

Procedure FlexibleServiceLinking
Begin
  varchar(50) URLs[];
  URLs[]:=URLs; /* URLs a serem indexadas */
  read(configFile); /* arquivo com os valores dos parametros configuraveis */
  for (i:=1 to length(URLs);i++) do /*indexacao */
    tbTerms, tbURLs:=indexing(URLs[i],configFile.source);
    computeWeight(configFile.method); /*atribui peso utilizando o metodo definido*/
    if (configFile.Semantic) then
      matrix_X[N][Z]:=generateTermsByDocuments(tbTerms,tbURLs);
      matrix_T[N][K],matrix_S[K][K],matrix_D[K][Z]:= ComputeSVD(matrix_X,K);
      matrixReduced_X[N][Z]:=
matrix_T[N][K]*matrix_S[K][K]*transpose(matrix_D[K][Z]);
      for (i:=1 to Z;i++) do
        matrixSimilarity[i]:= coseno(matrixSimilarity[1..N][i],matrixSimilarity[1..N][i+1]);
        if (matrixSimilarity[i]>=configFile.Similarity_Threshold) then
          /*ligacoes identificadas sao armazenadas no parametro definido em
StorageDB*/
            NewLink(configFile.StorageDB,matrixSimilarity[1..N][i],
                    matrixSimilarity[1..N][i+1],configFile.linkType);
        if (configFile.lexical) then
          generateLexicalLinks(configFile.StorageDB,tbTerms,tbURLs,configFile.linkType);
      end.

```

Figura 5.12: Procedimento “FlexibleServiceLinking”

- “computeSimilarity” - utiliza o limiar de similaridade, selecionado na configuração, para gerar a matriz de relevância semantica a qual é usada para identificar o relacionamento entre os repositórios;
- “NewLinking” - faz requisições ao serviço de armazenamento o qual gera e armazena as ligações no WLS ou na tabela de ligações do LinkDigger;
- “generateLexicalLinks” - dada as tabelas de termos e de documentos, gera ligações entre os repositórios comparando palavras contidas em cada documento. Essas ligações são armazenados no WLS ou na tabela de ligações do LinkDigger.

A infra-estrutura configurável foi implementada como extensão ao serviço Web LinkDigger (Camacho-Guerrero et al., 2002b) para suportar a configuração de parametros a serem explorados durante a criação e a apresentação das ligações identificadas e criadas pelo serviço. Os parâmetros de configuração que podem ser habilitados na extensão do LinkDigger, apresentados na Figura 5.13, são: (a) banco de dados utilizado na indexação (nome

Figura 5.13: Interface do LinkDigger para configuração dos parâmetros

do servidor, nome do usuário, senha, porta de conexão e nome da base de dados); (b) tipo de repositório de informação a ser manipulado (website, arquivos e banco de dados); (c) *engine* responsável pela indexação (dicionários de *stopwords*, idioma, afixos/prefixos); (d) tipo de armazenamento das ligações (biblioteca de ligações WLS ou tabela interna); (e) direção das ligações a ser criadas (intra-repositórios e inter-repositórios); (f) tipo das ligações a serem criadas (léxico, semântico); (g) esquema de atribuição de pesos a ser utilizado; (h) limiar de similaridade e (i) apresentação das ligações criadas (ligações criadas, páginas índices e roteiros-guiado).

5.7 Considerações Finais

Neste capítulo, foram apresentados procedimentos, infra-estruturas e experimentos a partir de investigações de abordagens de IR na tentativa de aprimorar a precisão dos resultados obtidos com os serviços de criação automática de ligações, desenvolvidos pelo grupo no qual este trabalho está inserido.

Para cada uma das abordagens investigadas, foram apresentados os resultados positivos obtidos a cada etapa de estudo e de realização de experimentos. Por exemplo, com o procedimento de eliminação de termos não-representativos, foram atingidos índices de precisão mais altos que os índices de precisão anteriores à eliminação, a um custo

computacional menor uma vez que a redução do número de termos foi de 80%. Essa conclusão pode também ser abstraída a partir da análise da complexidade do modelo SVD, utilizado pelos serviços de criação automática de ligações, que é de $O(mnc)$ com m e n sendo as dimensões da matriz de termos por documentos e c o número de elementos diferentes de zero em cada linha da matriz.

Acredita-se que o desempenho dos serviços de criação automática de ligações pode também ser aprimorado através da substituição de tecnologias e técnicas utilizadas como, a linguagem OX e a técnica de LSA.

Capítulo 6

Conclusões

Alguns ambientes centrados na captura de experiências públicas individuais ou em grupo permitem a autoria de ligações hipertexto a partir da interação do usuário com o ambiente ubíquo (Pimentel et al., 2000). A criação automática de ligações sem intervenção de usuário diminui a sobrecarga cognitiva despendida na autoria de hiperdocumentos e assim, torna-se uma importante ferramenta de hipermídia.

Serviços de criação automática de ligações entre repositórios Web contendo informações homogêneas foram investigados pelo autor junto ao grupo de pesquisa no qual está inserido (Pimentel et al., 2001b) (Macedo et al., 2001) (Macedo et al., 2002b).

Dado que os serviços que automaticamente criam ligações oferecem grandes variações de precisão na definição dos relacionamentos, um dos objetivos deste trabalho foi investigar mecanismos para aprimorar a precisão dos resultados obtidos por tais serviços; para isso, foram investigadas técnicas de IR. Outro objetivo foi pesquisar conceitos de Sistemas Hipermídia Abertos para o armazenamento das ligações criadas.

Foram definidos procedimentos e infra-estruturas que permitem a manipulação de informações que representam melhor os documentos das coleções. Um importante procedimento definido foi a inclusão de mecanismos que permitem aos usuários interagirem com os serviços definidos e selecionarem conjuntos de ligações consideradas relevantes para adequar os resultados às suas necessidades. Como resultado foi possível aprimorar a precisão dos resultados obtidos com os serviços de criação automática de ligações hipertexto.

Explorando os resultados obtidos, foi definido um serviço configurável de criação au-

tomática de ligações o qual permite a especificação, automática ou manual, de parâmetros a serem utilizados pelos serviços de criação automática de ligações. Os parâmetros configurados automaticamente são adequados ao contexto no qual o serviço é aplicado, enquanto que os parâmetros de configuração manual permitem ajustes dos resultados segundo as expectativas dos usuários.

Os resultados obtidos com este trabalho têm contribuído para o avanço das pesquisas do projeto InCA-SERVE, principalmente em relação à infra-estrutura SERVE, uma vez que o trabalho proporciona mecanismos de recuperação, integração, armazenamento e visualização de informações contidas em repositórios Web.

A realização dos experimentos finais somente com as coleções JB e CF ocorreu devido ao fato de que não foi possível ter acesso a outras coleções de documentos dedicadas para experimentos da área de IR como, por exemplo, as coleções das conferências TREC (Text REtrieval Conference) organizadas pelo NIST (National Institute of Standards and Technology) (TREC, 2002). Outra limitação encontrada no desenvolvimento deste trabalho foi que a máquina utilizada possuía baixa capacidade de processamento, o que dificultava a manipulação de grandes coleções de documentos.

Em trabalhos futuros, pretende-se realizar os experimentos, apresentados nesta dissertação, com coleções de documentos do tipo TREC. Além disso, têm sido planejados novos experimentos para definir relacionamentos entre informações de diferentes cursos de graduação capturados no GATECH com algumas informações adicionais, armazenadas na Web, sobre assuntos tratados nos cursos. Paralelamente aos testes com novas coleções de documentos, pretende-se investigar outros métodos de eliminação de termos não-representativos da coleção. Máquinas mais robustas como, por exemplo, máquinas com processamento paralelo, poderão ser utilizadas para testes de desempenho dos serviços criados e, assim, possibilitar a verificação do tempo de resposta.

Bibliografia

- Abowd, G. (1999). Classroom 2000: an experience with the instrumentation of a living educational environment. *IBM Systems Journal*, 38:508 – 530.
- Abowd, G. D., Atkeson, C. G., Brotherton, J. A., Enqvist, T., Gully, P. A., and Lemon, J. (1998a). Investigating the capture, integration and access problem of ubiquitous computing in an educational setting. In *Proceedings of the ACM CHI 98*, pages 440 – 447.
- Abowd, G. D., Brotherton, J. A., and Bhalodia, J. (1998b). Classroom 2000: A system for capturing and accessing multimedia classroom experiences. In *Proceedings of CHI 98*, pages 11 – 19.
- Abowd, G. D., Pimentel, M. G. C., Kerimbaev, B., Ishiguro, Y., and Guzdial, M. (1999). Anchoring discussion in lecture: an approach to collaboratively extending classroom digital media. In *Proceedings of the Computer Support for Collaborative Learning (CSCCL) Conference*, pages 11 – 19, Stanford University.
- Allan, J. (1996). Automatic hypertext link typing. In *Proceedings of the Seventh ACM Conference on Hypertext*, pages 42 – 52.
- Aragão, A. L., **Guerrero, J. A. C.**, and Novelli, A. D. P. (2001). Computação ubíqua. In *I SIC - Semana Integrada de Computação*, page 8, Campo Grande/MS.
- Baeza-Yates, R. and Ribeiro-Neto, B. (1999). *Modern Information Retrieval*. Addison Wesley, New York, NY.
- Bray, T., Paoli, J., and Sperberg-McQueen, C. M. (1998). Extensible markup language (XML) 1.0. w3c recommendation. <http://www.w3.org/TR/REC-xml>.
- Brotherton, J. A. and Abowd, G. (1998). Rooms take note: Room takes notes! In *Working Papers of AAAI'98 Spring*, pages 54 – 63.

- Brotherton, J. A., Bhalodia, J., and Abowd, G. D. (1998). Automated capture, integration, and visualization of multiple media streams. In *Proceedings of the IEEE Multimedia'98*, pages 51–63.
- Bulcão Neto, R. F., Izeki, C. A., Pimentel, M. G. C., Pontin, R. P. M., and Truong, K. N. (2002). An open linking service supporting the authoring of web documents. In *Proceedings of the ACM Document Engineering Conference*, pages 66–73, Virginia, USA. ACM Press.
- Bulcão Neto, R. F. (2001). WLS: Um Serviço Aberto de Ligações Hiperfídia para Web baseado em XML. Dissertação, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da USP, São Carlos/SP.
- Camacho-Guerrero, J. A.**, Macedo, A. A., and Fortes, R. P. M. (2002a). Uma infra-estrutura configurável para serviços de criação automática de ligações. In *Anais do VII Brazilian Symposium on Multimedia and Hypermedia System*, pages 298–305, Fortaleza/CE.
- Camacho-Guerrero, J. A.**, Pimentel, M. G., and Bulcão Neto, R. F. (2002b). LinkDigger: um serviço aberto de criação automática de ligações semânticas. In *Anais do VII Brazilian Symposium on Multimedia and Hypermedia System*, pages 407–410, Fortaleza/CE.
- Crestani, F. (2000). Exploiting the similarity of non-matching terms at retrieval time. *Journal of Information Retrieval*, 2:25–45.
- Davis, H., Lewis, A., and Rizk, A. (1996). OHP: a draft proposal for a standard Open Hypermedia Protocol. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Open Hypermedia Systems (Hypertext 1996)*, pages 27–53. ACM Press.
- DeRose, S., Maler, E., and Daniel, R. (2001). XML Pointer Language (XPointer). Last Call Working Draft, online in World Wide Web. <http://www.w3.org/TR/xptr>.
- Elrod, S., Bruce, R., Gold, R., Goldberg, D., Halasz, F., Janssen, W., Lee, D., McCall, K., Pedersen, E., Pier, K., Tang, J., and Welch, B. (1992). Liveboard: a large interactive display supporting group meetings, presentations and remote collaboration. In *Proceedings on Human factors in computing systems*, pages 599–607.
- Furnas, G. W., Deerwester, S., Dumais, S. T., Landauer, T. K., Harshman, R. A., Streeter, L. A., and Lochbaum, K. E. (1988). Information retrieval using a singular value decomposition model of latent semantic structure. In *Proceedings of the Eleventh*

- International Conference on Research & Development in Information Retrieval*, pages 465–480.
- Golovchinsky, G. (1997). What the query told the link: The integrations of hypertext and information retrieval. In *Proceedings of the ACM Conference on Hypertext 1997*, pages 30–39.
- Golub, H. G. and Loan, C. F. V. (1983). *Matrix computations*. Johns Hopkins series in the mathematical sciences. Johns Hopkins University Press. 1a edition.
- Green, S. (1999). Building hypertext links by computing semantic similarity. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 11(5):713–730.
- Gronbæk, K., Hem, J. A., Madsen, O. L., and Sloth, L. (1994). Cooperative hypermedia systems: a Dexter-based architecture. *Communications of the ACM*, 37(2):64–75.
- Gronbæk, K., Sloth, L., and Bouvin, N. O. (2000). Open hypermedia as user controlled meta data for the Web. In *Proceedings of the Ninth International World Wide Web Conference*. Amsterdam, The Netherlands. ACM Press.
- Gronbæk, K., Sloth, L., and Orbæk, P. (1999). Webwise: browser and proxy support for open hypermedia structuring mechanisms on the WWW. In *Proceedings of the Eighth International World Wide Web Conference*, pages 253–267, Toronto, Canada.
- Gronbæk, K. and Trigg, R. (1999). *From Web to Workplace: Designing Open Hypermedia Systems (Digital Communication)*, volume 1. MIT Press, Boston, MA. 386 p.
- Guzdial, M. (1999). Supporting learners as users. *The Journal of Computer Documentation*, 23(2):3–13.
- Halasz, F. and Schwartz, M. (1994). The Dexter Hypertext Reference Model. *Communications of the ACM*, 37(2):30–39.
- Harman, D. (1992). Relevance feedback revisited. In *Proceedings of the Fifteenth Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, pages 21–24.
- Harper, D. J. and van Rijsbergen, C. J. (1978). An evaluation of feedback in document retrieval using co-occurrence data. *Journal of Documentation*, 34(1):189–216.
- Henzinger, M. R. (2001). Hyperlink analysis for the Web. In *IEEE Internet Computing*, pages 45–50.

- Henzinger, M. R., Heydon, A., Mitzenmacher, M., and Najork, M. (1999). Measuring quality using walks on the Web. In *Proceedings of the 8th International World Wide Web Conference*, pages 213 – 225, Toronto/Canada.
- Hindus, D. and Schmandt, C. (1992). Ubiquitous audio: capturing spontaneous collaboration. In *Proceedings on Computer-Supported Cooperative Work (CSCW)*, pages 210 – 217.
- Idé, E. (1971). New experiments in relevance feedback. In Salton, G., editor, *The Smart Retrieval System*, pages 337 – 351, Prentice Hall.
- Jin, R., Faloutsos, C., and Hauptmann, A. (2001). Meta-scoring: Automatically evaluating term weighting schemes in IR without precision-recall. In *Proceedings of the 24th Annual International ACM SIGIR*, pages 83 – 89.
- Jones, K. S. (1972). A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval. *Journal of Documentation*, 28(1):11 – 21.
- Kahan, J., Koivumäki, M., Prud’Hommeaux, E., and Swick, R. R. (2001). Annotec: an open RDF infrastructure for shared web annotations. In *Proceedings of the WWW10 International Conference*, Hong Kong.
- Macedo, A. A., **Camacho-Guerrero, J. A.**, and Pimentel, M. G. C. (2002a). Incluindo abordagens de recuperação de informação em serviços de criação de hiperligações. In *XXVIII Conferência Latinoamericana de Informática*, Montevideo/Uruguai.
- Macedo, A. A., Pimentel, M. G. C., and **Camacho-Guerrero, J. A.** (2002b). An infrastructure for open latent semantic linking. In *Proceedings of ACM Hypertext 2002*, pages 107 – 116, ACM Press.
- Macedo, A. A., Pimentel, M. G. C., and **Guerrero J. A. C.** (2001). Latent semantic linking over homogeneous repositories. In *Proceedings of the ACM Symposium on Document Engineering*, pages 141 – 151, ACM Press.
- Malcom, K. C., Poltrock, S. E., and Schmiderer, D. (1991). Industrial strength hypermedia: Requirements for a large engineering enterprise. In *Proceedings of Hypertext’91: Third ACM Conference on Hypertext*, pages 13 – 24, ACM Press.
- Miotto, A. M. M. and Fortes, R. P. M. (2000). Uma visão geral das características de sistemas hipermedia abertos. Technical Report 124, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC-USP), 22 p.

- Mukhopadhyaya, S. and Smith, B. (1999). Passive capture and structuring of lectures. In *Proceedings of the ACM Conference on Multimedia*, pages 477–487.
- Ng, A. Y., Zheng, A. X., and Jordan, M. (2001). Stable algorithms for link analysis. In *Proceedings of SIGIR 2001*, page 9.
- Nielsen, J. (1990). *Hypertext and Hypermedia*. Academic Press, New York.
- Ottman, T. and Becher, C. (1995). Authoring on the fly. *Journal of Universal Computer Science*, 1(10):706–717.
- Pedersen, E. R., McCall, K., Moran, T., and Halasz, F. (1993). Tivoli: an electronic whiteboard for informal workgroup meetings. In *Proceedings on Human Factors in Computing Systems*, pages 391–398.
- Pimentel, M. G. C., Abowd, G., and Ishiguro, Y. (2000). Linking by interacting: a paradigm for authoring hypertext. In *Proceedings of the ACM on Hypertext and Hypermedia*, pages 39–48, San Antonio-TX/USA.
- Pimentel, M. G. C. and Abowd, G. D. (1999). Development and understanding of automated capture environments to support long-term use. Projeto de Cooperação Internacional:ProTeM-Ce-Cnpq/Brasil e NSF/EUA.
- Pimentel, M. G. C., Kerimbaev, Y. I. B., Abowd, G. D., and Guzdial, M. (2001a). Supporting long-term educational activities through dynamic web interfaces. *Interacting With Computers Journal*, 13:353–374.
- Pimentel, M. G. C., Macedo, A. A., and Abowd, G. D. (2001b). Linking homogeneous web-based repositories. In *Proceedings of International Workshop on Information Integration on the Web*, pages 35–42, Rio de Janeiro-Brazil. <http://www.cos.ufrj.br/wiiw/schedule.html>.
- Price, M. N., Golovchinsky, G., and Schilit, B. N. (1998). Linking by inking: trailblazing in a paper-like hypertext. In *Proceedings of ACM on Hypertext*, pages 30–39.
- Pössas, B., Ziviani, N., Jr., W. M., and Ribeiro-Neto, B. (2002). Set-based model: a new approach for information retrieval. In *Proceedings of the International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, pages 230–237.
- Raghavan, V. V. and Yu, C. T. (1979). Experiments on the determinations of the relationships between terms. *ACM Transactions on Database Systems*, 4:240–260.

- Robertson, S. and Jones, K. (1976). Relevance weighting of search terms. *Journal of the American Society for Information Science*, 27(3):29–146.
- Rocchio, J. J. (1971). Relevance feedback in information retrieval. In Salton, G., editor. *The Smart Retrieval System - Experiments in Automatic Document Processing*.
- Salton, G. (1981). A blueprint for automatic indexing. *ACM SIGIR Forum*, 16(2):22–38.
- Salton, G. (1986). Another look at automatic text-retrieval systems. *Communication ACM* 29, 7:648–656.
- Salton, G. and Allan, J. (1993). Selective text utilization and text transversal. In *Proceedings of the ACM Conference on Hypertext 1993*, pages 131–144.
- Salton, G. and Buckley, C. (1988). Term-weighting approaches in automatic text retrieval. *Information Processing and Management*, 24(5):513–523.
- Salton, G. and Lesk, M. (1968). Computer evaluation of indexing and text processing. *Journal of the Association for Computing Machinery*, 15(1):8–36.
- Salton, G. and Yang, C. S. (1973). On the specification of term values in automatic indexing. *Journal of Documentation*, 29(1):351–372.
- Shaw, W. M., Wood, J. B., and Tibbo, H. R. (1991). The cystic fibrosis database: content and research opportunities. *Library and Information Science Research*, 13:347–366.
- Silva, L., Ribeiro-Neto, B., Calado, P., Moura, E., and Ziviani, N. (2000). Link-based and content-based evidential information in a belief network model. In *Proceedings of ACM SIGIR '00*, pages 96–103.
- Soboroff, I., Nicholas, C., and Caham, P. (2001). Ranking retrieval systems without relevance judgments. In *Proceedings of the 24th Annual International ACM SIGIR*, pages 66–73.
- Stephens, A. M. (1974). Edf statistics for goodness of fit and some comparisons. *Journal of the American Statistical Association*, 69:730–737.
- Swan, R. and Allan, J. (1998). Aspect windows, 3-D visualizations, and indirect comparisons of information retrieval systems. In *Proceedings of the Annual International ACM SIGIR 1998*, pages 66–73, Melbourne-Australia.

- Tai, L. C. (1996). Architecture support for content-based hypermedia. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Open Hypermedia Systems (Hypertext 1996)*, pages 1 – 5. Wahsington D.C., USA, ACM Press.
- TREC (2002). The TREC NIST site. Internet. <http://www.nist.gov>.
- van Rijsbergen, C. J. (1977). A theoretical basis for the use of co-occurrence data in information retrieval. *Journal of Documentation*, 33(1):106 – 119.