

Universidade de São Paulo - USP
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
Universidade Estadual Paulista - UNESP

**Desenvolvimento de uma estrutura conceitual (ontologia)
para a área de Nanociência e Nanotecnologia**

Profa. Dra. Sandra Maria Aluísio NILC/ICMC– USP

Prof. Dr. Osvaldo Novais de Oliveira Jr. NILC/IFSC/USP

Profa. Dra. Gladis Maria de Barcelos Almeida NILC/Letras/UFSCar

Profa. Dra. Maria das Graças Volpe Nunes NILC/ICMC/USP

MSc. Leandro Henrique Mendonça de Oliveira NILC/ICMC/USP

MSc. Ariani Di Felippo NILC/UNESP

Lucas Antiqueira NILC/ICMC/USP

Luiz Carlos Genoves Jr. NILC/ICMC/USP

Dr. Luciano Caseli IFSC/USP

Dr. Valtencir Zucolotto IFSC/USP

Dr. David Sotero dos Santos Jr. IFSC/USP

NILC-TR-06-05

Maio 2006

Série de Relatórios do Núcleo Interinstitucional de Linguística Computacional
NILC - ICMC-USP, Caixa Postal 668, 13560-970 São Carlos, SP, Brasil

Índice

DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRUTURA CONCEITUAL (ONTOLOGIA) PARA A ÁREA DE NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA..... 1

RESUMO.....	4
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. PROJETO PARA A CRIAÇÃO DE ONTOLOGIA DE NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA.....	8
2.1 EQUIPE.....	8
2.2 METODOLOGIA.....	9
2.3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS	12
2.3.1 COMPILAÇÃO E MANIPULAÇÃO DO CÓRPUS PRINCIPAL DO PROJETO	12
2.3.1.1 Compilação.....	12
2.3.1.1.1 Dados gerais sobre o cópuz	13
2.3.1.1.2 Fontes e critérios de compilação dos textos.....	14
2.3.1.2 Manipulação	15
2.3.1.2.1 Conversão manual dos arquivos.....	15
2.3.1.2.2 Limpeza e anotação manuais dos textos	15
2.3.2 COLETA DE CÓRPUS ESPECÍFICOS DA WEB E EXTRAÇÃO DE TERMOS COM O CORPÓGRAFO	16
2.3.3 COMPILAÇÃO DE OUTRAS FONTES DE CONSULTA	17
2.3.4 APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS	19
2.3.4.1 Extração Automática de termos com métodos estatísticos	19
2.3.4.1.1 Método Estatístico baseado na Frequência – usando o pacote NSP.....	20
2.3.4.1.2 Método Estatístico baseado no Log odds ratio – usando o BootCat	26
2.3.4.1.3 Método para extração de multi-palavras do Bootcat	28
2.3.4.2 Extração de Keywords – usando o WordSmith	31
2.3.4.3 Criação de ferramentas de Suporte.....	32
2.3.5 PESQUISAS COM REDES COMPLEXAS PARA EXTRAÇÃO DE TERMOS E DEFINIÇÃO DA ONTOLOGIA	35
2.3.6 INTERFACE WEB DE BUSCA E VISUALIZAÇÃO HIPERBÓLICA	43
2.3.6.1 – O Ambiente de Trabalho do OntoEditor	45
2.3.6.1.1 – Descrição das Funções dos Menus	47
2.3.6.1.1.1 – Menu: Nova Ontologia	47
2.3.6.1.1.2 – Menu: Abrir Ontologia	49
2.3.6.1.1.3 – Menu: Excluir Ontologia	53
2.3.6.1.1.4 – Menu: Visualizar Ontologia.....	54
2.3.6.2 – Recursos e Padrões Utilizados	59
2.3.6.3 – O Modelo de Dados.....	60
2.3.6.4 – Conjunto de Arquivos.....	62
2.3.6.5 – Conclusão e Melhoramentos.....	64
2.4 RESULTADOS OBTIDOS.....	65
REFERÊNCIAS.....	67
APÊNDICE 1 – VERSÃO FINAL DA ONTOLOGIA PARA A NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA	70
APÊNDICE 2 – APRESENTAÇÃO DA VERSÃO FINAL DA ONTOLOGIA PARA A NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA COM A INTERFACE WEB DE BUSCA E VISUALIZAÇÃO HIPERBÓLICA.....	124
APÊNDICE 3 – APRESENTAÇÃO DA VERSÃO 4 DA ONTOLOGIA PARA A NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA COM INDICAÇÃO DA FREQUÊNCIA E GRAU DE CONECTIVIDADE DOS TERMOS NO CÓRPUS PRINCIPAL DO PROJETO.....	137
APÊNDICE 4 - PROJETOS DE GRADUAÇÃO DE LUCAS ANTIQUEIRA E LUIZ CARLOS GENOVÊS JR. ...	176
PROJETO DE LUCAS ANTIQUEIRA	176
PROJETO DE LUIZ CARLOS GENOVÊS JR.....	176

APÊNDICE 5 - AMBIENTE WEB COLABORATIVO DO PROJETO EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE TERMOS E ELABORAÇÃO COLABORATIVA DE TERMINOLOGIAS PARA O INTERCÂMBIO DE CONHECIMENTO ESPECIALIZADO	177
APÊNDICE 6 - LISTA DE SEMENTES UTILIZADAS POR 5 GRUPOS DE ESTUDANTES PARA A MONTAGEM DE CÓRPUS COM O BOOTCAT A PARTIR DE TEXTOS NA WEB	179
ANEXO I – MODELO DE DADOS FÍSICO	182
ANEXO II – MODELO DE DADOS RELACIONAL	182

Resumo

Este projeto visou à produção de uma ontologia para a área de Nanociência e Nanotecnologia (N&N). A primeira versão, apresentada nos Apêndices 1 e 2 (neste último, a ontologia é mostrada com a interface de visualização hiperbólica), foi baseada num corpus volumoso de artigos, livros, e resumos de fontes variadas, e em inglês. Embora o objetivo inicial tenha sido a de produzir uma ontologia em português, optamos por apresentar a primeira versão em inglês, e num trabalho futuro, após o refinamento da ontologia a partir de feedback de especialistas da área, será feita a tradução dos termos. Uma outra razão para fazer a versão inicial em inglês foi a disponibilidade de material bibliográfico específico da área, muito mais abundante em inglês, além de praticamente não haver ontologias detalhadas para Nanociência e Nanotecnologia. O relatório traz detalhes dos estudos, compilação de corpus, e ferramentas computacionais desenvolvidas e utilizadas para a extração e definição dos termos que constam da ontologia.

1. Introdução

Os estudos iniciais para a concepção do Portal da Rede de Nanotecnologia da USP¹ apontaram uma grande variedade de possíveis tópicos e atividades, ligados à pesquisa acadêmica e aplicações industriais, que podem ser adotados no **mapa conceitual** do Portal. De fato, um levantamento de portais e páginas da Internet dedicados à nanotecnologia, em inglês, português e espanhol, mostrou que as divisões variam enormemente, dependendo dos interesses específicos da Instituição ou indivíduos que produziram o portal. Por exemplo, há páginas em que a cobertura se restringe à bionanotecnologia, enquanto outras se concentram na fabricação de nanomáquinas e nanorobôs. Mencione-se, também, a quase completa inexistência de glossários abrangentes, pelo menos online. Os glossários de nanotecnologia encontrados são limitados, em abrangência e profundidade, sendo praticamente todos em inglês. Isso não é surpreendente, haja vista a natureza inter- e multidisciplinar dessa área que ainda está se consolidando.

A partir das constatações mencionadas acima, decidimos realizar um estudo sobre **terminologia** para estabelecer uma **estrutura conceitual (ontologia)** para a nanotecnologia, que possa não apenas fornecer subsídios para produzir um Portal de alta qualidade e abrangente, mas também guiar a busca de oportunidades de mercado e oferta de tecnologias. Para este último objetivo, é importante dispor de ferramentas de processamento da informação para permitir integração universidade-empresa, principalmente nas áreas em que a terminologia específica possa variar do ambiente acadêmico para o industrial e empresarial.

O desenvolvimento da ontologia seguiu os preceitos definidos em pesquisas recentes em terminologia aplicada a setores da indústria, como a de cerâmica (Almeida, 2003). São duas vertentes de atividades. A primeira, centrada em lingüística, lexicografia, e terminologia, abordando tópicos específicos para ontologias. A segunda é relacionada à aplicação de tecnologias da informação, com ênfase tanto no uso de ferramentas de software para extração automática de termos a partir de *cópus*² (Teline, 2004, Teline et al, 2003) como em conceitos da área de redes complexas (ALBERT and BARABÁSI, 2002; NEWMAN, 2003) para auxiliar também na extração automática de termos e na definição da própria ontologia.

¹ <http://www.usp.br/prp/nanotecnologia/>

² Neste trabalho, utilizamos o portuguêsamento da palavra *corpus* (plural *corpora*) tendo a mesma ortografia para o plural e singular.

A estrutura conceitual constitui uma representação da realidade no âmbito do domínio que se toma como objeto de estudo. Essa representação busca recolher e organizar todas as ramificações que são próprias da referido domínio, refletindo de forma esquematizada a realidade da área em questão. Para a organização conceitual que aqui se propõe, tomou-se como base os pressupostos da pesquisa Terminológica de natureza descritiva, que se tem mostrado eficaz para sistematizar as linguagens de especialidade (Almeida, 2003). Segundo essa perspectiva teórica, a organização conceitual de uma área de especialidade pressupõe a realização das seguintes atividades de natureza teórico-metodológicas: (1) delimitação da área de conhecimento (área-objeto); (2) identificação das instituições, associações e/ ou demais organismos que representam e/ ou fazem parte dos setores envolvidos com a área-objeto; (3) identificação dos representantes de cada um dos setores acima mencionados (especialistas-interlocutores); (4) seleção do *cópus-fonte* (textos escritos, textos digitais, fontes orais, etc.); (5) extração automática (do *cópus-fonte*) de “termos candidatos” para auxiliar a proposição de uma estrutura conceitual para a área em questão; (6) edição e gerenciamento da *estrutura conceitual* de maneira semi-automática, utilizando ferramentas computacionais (inclusive via Web); e (7) verificação manual da *estrutura conceitual* gerada e seu aprimoramento.

A importância de se obter uma organização conceitual (ou ontológica) para uma área emergente é que tal organização propicia, por exemplo, (i) a comunicação mais eficaz entre os especialistas (disseminação de conhecimento) e (ii) a confecção de glossários ou vocabulários (Cabré, 1999). Esses **produtos** podem ser criados por terminólogos (com a ajuda de especialistas) através de um sistema colaborativo de extração e elaboração de terminologias como, por exemplo, o que será gerado pelo projeto *Extração automática de termos e elaboração colaborativa de terminologias para o intercâmbio de conhecimento especializado*. Esse projeto (processo FAPESP nº. 2003/06569-3) está sendo desenvolvido sob a coordenação da Profa. Dra. Gladis Maria de Barcellos Almeida do Departamento de Letras (DL) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Profa Sandra Maria Aluísio do ICMC-USP e doutorado de Leandro Henrique Mendonça de Oliveira (ICMC-USP) que trata do mesmo tema e é orientado pelas mesmas pesquisadoras. O Apêndice 5 traz a arquitetura do ambiente e suas ferramentas de Processamento de Língua Natural associadas.

Outro produto de interesse seria uma enciclopédia privilegiando os termos da ontologia que poderia ser criada através da edição colaborativa, mas monitorada, de conceitos, como faz a

nCyclopedia³, que é uma enciclopédia Wiki da nanoTITAN. Essa enciclopédia sobre nanotecnologia e nanociência seria compilada de forma semelhante à Wikipedia⁴, mas circunscrita aos membros da rede de nanotecnologia da USP, podendo servir de material de consulta e ensino para pesquisadores novatos da área. Outra forma de se usar uma ontologia no cenário do Portal da Rede de Nanotecnologia da USP é na sugestão de palavras-chaves pertencentes à ontologia e que estão relacionadas a uma consulta feita por um usuário em uma máquina de busca específica para a área e também na categorização e visualização de documentos recuperados de tal máquina de busca. Seguindo essa linha de aplicações de uma ontologia em portais de conhecimento (Staab and Maedche, 2001), existe uma máquina de busca específica para o domínio da nanociência e nanotecnologia – a NanoPort⁵ (Chau et al, 2002, Quin et al, 2004, Quin et al, 2003) – que merece ser analisada para trabalhos futuros sobre as funcionalidades desejadas para o Portal de Nanotecnologia da USP. Desenvolvida pela Universidade do Arizona, a máquina inclui mais de 700.000 páginas de documentos de qualidade certificada e mais de 170.000 sites. Funciona como um meta-buscador que envia consultas para 3 motores de busca específicos da área (o próprio Nanoport, o NanoSpot e Scirus), base de dados (MedLine, SciceDirect, Matweb, Radius, Molecular Expressions), base de patentes (US Patent, WO, EPO, JPO) e revistas online (Science, MIT Technology Review, PNAS), organiza os resultados em tópicos (baseando-se em palavras-chaves e expressões nos documentos retornados, tendo sua frequência mostrada) e fornece uma visualização dos resultados com a ajuda de SOM (Self-Organizing Map⁶). Poderia se propor um trabalho conjunto com os desenvolvedores do NanoPort, pois embora a base de conceitos (*Concept Space*) seja bastante grande (1.711.740 termos) os autores reportam que ela cobre principalmente os campos da medicina e biologia e poucos da engenharia. Já a ontologia criada neste projeto de pesquisa contém 6 grandes entradas (Synthesis, Processing and Fabrication; Materials; Properties and Characterization techniques; Machines and Devices; Theories and Computational methods and Applications) além de uma outra que apresenta alguns tópicos principais em nanociência e nanotecnologia que agrupam 1907 termos das áreas Ciências dos Materiais, Biociências, Física e Química Teóricas, Engenharia Eletrônica e Ciência da Computação.

³ <http://nanotitan.net:8084/nCyclopedia/>

⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

⁵ <http://nanoport.org/>

⁶ <http://liinwww.ira.uka.de/bibliography/Neural/SOM.LVQ.html#browse>

Este relatório descreve as atividades e resultados obtidos nos seis primeiros meses de 2005, período estipulado para essa pesquisa inicial para a criação de uma ontologia em nanociência e nanotecnologia. A metodologia comentada acima foi adaptada e está descrita na Seção 2.2 e a equipe apresentada na Seção 2.1.

2. Projeto para a criação de Ontologia de Nanociência e Nanotecnologia

Para a criação de uma ontologia para a área de nanociência e nanotecnologia utilizamos uma abordagem iterativa com a geração de versões do produto desejado. As várias versões, num total de cinco, foram compostas de fontes variadas de dados, detalhadas nas Seções 2.3.1 a 2.3.3. A primeira versão foi construída com fontes criadas logo no início do projeto – a) resumos, títulos e palavras-chaves de artigos; e b) lista de tópicos de livros –, nas quais foi aplicado o método de extração automática de termos descrito na Seção 2.3.4.1.1. A segunda foi amparada por uma taxonomia utilizada na ferramenta de consulta de artigos e patentes *Derwent's Web of Nanotechnology*⁷. Já a terceira se beneficiou da extração de termos com todos os métodos descritos na Seção 2.3.4.1 que foram aplicados no cópulus completo (Seção 2.3.1). A quarta foi a que utilizou mais fontes: os termos extraídos dos cópulus de especialidade criados a partir de textos da Web (Seção 2.3.2), as fontes citadas na Seção 2.3.3, e os termos resultantes da aplicação de métodos em de redes complexas (Seção 2.3.5). Para a criação da última versão, foram utilizadas as informações de frequência e de grau de conectividade dos nós da rede complexa associada aos termos do cópulus completo. Para essa versão, foi dado um passo inicial para a criação de uma outra forma de classificação, mais tradicional, por áreas de pesquisa, mas este trabalho ainda não está completo.

2.1 Equipe

O projeto “Desenvolvimento de uma estrutura conceitual (ontologia) para a área de Nanotecnologia”, lotado no ICMC/USP, foi coordenado pela Profa. Sandra Maria Aluísio, desse instituto. Foi necessária a criação de uma equipe multidisciplinar que tratasse das duas vertentes do projeto citadas na Introdução. Além disso, houve a necessidade de contarmos com especialistas do domínio para trabalharem na análise dos candidatos a termos que foram gerados

⁷ <http://www.thomsonscientific.com/forms/dw/instofnano>

automaticamente. Os especialistas foram o professor Osvaldo Novais de Oliveira Jr. do IFSC-USP e os pós-doutorandos Luciano Caseli, Valtencir Zucolotto e David Sotero dos Santos Jr., todos do IFSC/USP. Duas outras professoras colaboraram nesse trabalho: Maria das Graças Volpes Nunes do ICMC-USP e Gladis Maria de Barcellos Almeida do Departamento de Letras da UFSCar.

A parte computacional (métodos de extração automática e criação do visualizador da ontologia) foi realizada pelo aluno de doutorado Leandro Henrique Mendonça de Oliveira que desenvolve seu doutorado no NILC/ICMC/USP. A parte lingüística (criação e manipulação do córpus principal do projeto, análise lingüística de termos) foi realizada pela aluna Ariani Di Felippo, que está fazendo doutorado na FCLAR/UNESP sob orientação de um dos coordenadores do NILC. A escolha dos dois doutorandos acima para integrarem a equipe se deu pelas razões: a) o aluno Leandro desenvolve seu doutorado na área de Processamento de Línguas Naturais (PLN) e propõe um ambiente colaborativo para extração e edição de terminologias; a aluna Ariani trabalhou com a criação de glossários com a Profa Gladis durante a sua graduação.

Dois alunos da graduação do Bacharelado em Ciências da Computação do ICMC se juntaram a esse projeto, realizando seus Projetos de Graduação dentro do tema do projeto de pesquisa: Luiz Carlos Genovês Jr., orientado pela Professora Sandra Maria Aluísio, e Lucas Antikeira orientado pela Profa. Maria das Graças Volpes Nunes, e co-orientado pelo Prof. Luciano da Fontoura Costa, do IFSC-USP. O aluno Luiz desenvolveu o trabalho reportado nas Seções 2.3.4.1.2 e 2.3.4.1.3 e o aluno Lucas o trabalho descrito na Seção 2.3.5. Suas monografias estão disponíveis no Apêndice 4.

2.2 Metodologia

O primeiro passo foi consultar especialistas e material de referência para estabelecer uma taxonomia sobre a qual desenvolvemos uma ontologia. Entretanto, não há muito material de referência dedicado a esse assunto; os livros (lista de tópicos, índices, etc.) tendem a fornecer apenas uma cobertura parcial. Além disso, devido à natureza multidisciplinar, a perspectiva dos especialistas em N&N é realmente “especializada” em uma parte restrita dessa área de pesquisa. Outra dificuldade é que – ao contrário de áreas bem-estabelecidas como Física, Química,

Biologia, etc. – uma estrutura arbórea pode não servir para representar as várias áreas e subáreas de N&N.

Com essas limitações em mente, planejamos aplicar uma diversidade de atividades estratégicas para conseguir uma primeira visão geral sobre as áreas de N&N. Essas atividades incluem:

1. compilação de cópulas a partir de várias fontes e com características diversas, incluindo:

- títulos e resumos de artigos indexados pelo *ISI Web of Knowledge* (Web of Science) e que resultaram de busca com as palavras-chave “nanoscience or nanotechnology” e “genomics”;
- artigos completos de periódicos dedicados a esse assunto, como *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* (Scientific Publishers) and *Nanotechnology* (IOP);
- títulos e resumos de patentes (em português);
- textos completos de livros relacionados a N&N.

2. Extração de termos a partir do cópulas (acima descrito) por meio de estratégias variadas:

- análise de estatísticas do cópulas no que diz respeito à frequência de unigramas, bigramas e trigramas. As listas dos 5-gramas e 4-gramas praticamente não forneciam informações úteis e, portanto, poderiam ser descartadas. Apesar do procedimento simples, sem qualquer conhecimento embutido para obter as estatísticas, a frequência serviu para verificar se os conceitos e os tópicos importantes não tinham sido contemplados na ontologia.
- utilização do estado-da-arte em processamento automático das línguas naturais para estimar os termos mais prováveis, que são confrontados com a ontologia em construção.

3. Análise de taxonomias existentes para N&N em livros, páginas da Web e programas institucionais e governamentais dedicados a N&N.

Sobre a estratégia para a primeira versão da ontologia

Antes de consultarmos vários recursos, como mencionado acima, concluímos que uma primeira versão da ontologia deveria ter os termos classificados de acordo com diferentes paradigmas. Era sabido, por exemplo, que N&N lidam essencialmente com materiais e, assim, os termos deveriam ser classificados de acordo com as classes de materiais. Para a produção desses materiais, utilizamos, na maioria das vezes, métodos e processos de fabricação, que formam outro paradigma de classificação dos termos. Aos processos de síntese dos materiais, foram incluídos os processos de fabricação de sistemas, dispositivos, máquinas, etc. Os outros 4 modos de classificar os termos foram: Propriedades e Técnicas de Caracterização; Máquinas e Dispositivos; Teorias e Métodos Computacionais; Aplicações. Essas escolhas são auto-explicativas: há várias aplicações diferentes para os materiais, as quais dependem das propriedades dos mesmos; propriedades essas caracterizadas por várias técnicas experimentais e analisadas por meio de métodos teóricos, que também são usados como um paradigma para a classificação dos termos.

Podemos notar que na ontologia apresentada com este relatório, não há referências a seções de áreas científicas estabelecidas. É inevitável, entretanto, que algumas conexões sejam feitas entre os termos em N&N e as áreas estabelecidas. Uma possibilidade seria a associação de termos com as maiores áreas (ou tópicos), de acordo com a ontologia de ciências e tecnologias estabelecidas (por exemplo: Física, Medicina, Engenharia, etc.). Isso permitirá também que estudos do impacto da N&N sejam abordados, à medida que estudos sobre N&N não foram contemplados na primeira versão da ontologia proposta.

Durante a compilação das aplicações e dos materiais, notamos que praticamente todas as aplicações e materiais feitos por humanos podem ser incluídos. Isso significa que a ontologia completa de N&N seria simplesmente uma ontologia para o conhecimento humano nas ciências e tecnologias. Isso também se aplica às áreas de pesquisa envolvidas. Na física, por exemplo, com exceção da cosmologia, teoria de campos e outras poucas áreas, todas as outras áreas na ontologia de física estão associadas a N&N. Mesmo a cosmologia poderia ser incluída se considerarmos que N&N está sendo usada para fornecer instrumentação para vários tipos de medida. Dessa forma, quando listamos os principais tópicos relacionados a N&N, tivemos de decidir se teríamos uma cobertura extensiva (teremos uma ontologia para quase todas as áreas da ciência e tecnologia?) ou limitada dos tópicos mais intimamente relacionados. Definir quais os tópicos intimamente relacionados também pode ser difícil. O termo “Nanotecnologia” foi cunhado por Eric Dressler da década de 1980 para designar dispositivos e máquinas que poderiam ser

construídos, átomo por átomo ou molécula por molécula, de uma forma controlada. O uso desse termo é altamente restritivo e atualmente somente um pequeno grupo de pessoas realmente faz esse tipo de trabalho. Especificamente com a criação do novo termo, Nanociência, uma visão mais ampla da área prevalece atualmente. Na essência, consideramos pertencer à área de N&N toda fabricação de materiais com dimensões (ao menos em uma direção) abaixo de 100 nm. Além disso, também é considerado N&N o estudo das propriedades dos materiais no nível atômico ou molecular. Com tal ampla definição, praticamente todos os tópicos na química e biologia molecular (por exemplo, Genômica) pertencem a N&N.

Pergunta-se se faz algum sentido ter uma nova área (N&N), que praticamente subsume tantas outras áreas. Isso é sinal de que o conhecimento humano está trilhando caminho inverso ao da nossa história, voltando, agora, de áreas mais específicas para uma única área⁸? Deveríamos, então, rearranjar as ontologias da ciência e tecnologia? Enquanto a maioria corretamente advoga que não deveríamos reinventar modos de classificar as coisas, deveríamos ter em mente que N&N é obrigatoriamente de natureza multidisciplinar. Além disso, para lidar com os enormes desafios apresentados por N&N, necessitamos abordar a ciência e tecnologia a partir de uma perspectiva unificada, sem nos preocuparmos com os limites estabelecidos no estudo da Natureza pelos departamentos das Universidades. É nessa perspectiva unificada em que está a mais valiosa característica da N&N. Ao estabelecer uma ontologia para N&N, precisamos capturar essas características. Uma possibilidade seria ter uma classificação de conceitos-chave em N&N, em que limitamos os termos que são mais específicos a N&N e, a partir dos quais, podemos estabelecer ligações a termos mais gerais da ontologia.

2.3 Descrição das Atividades Realizadas

2.3.1 Compilação e manipulação do cópulo principal do projeto

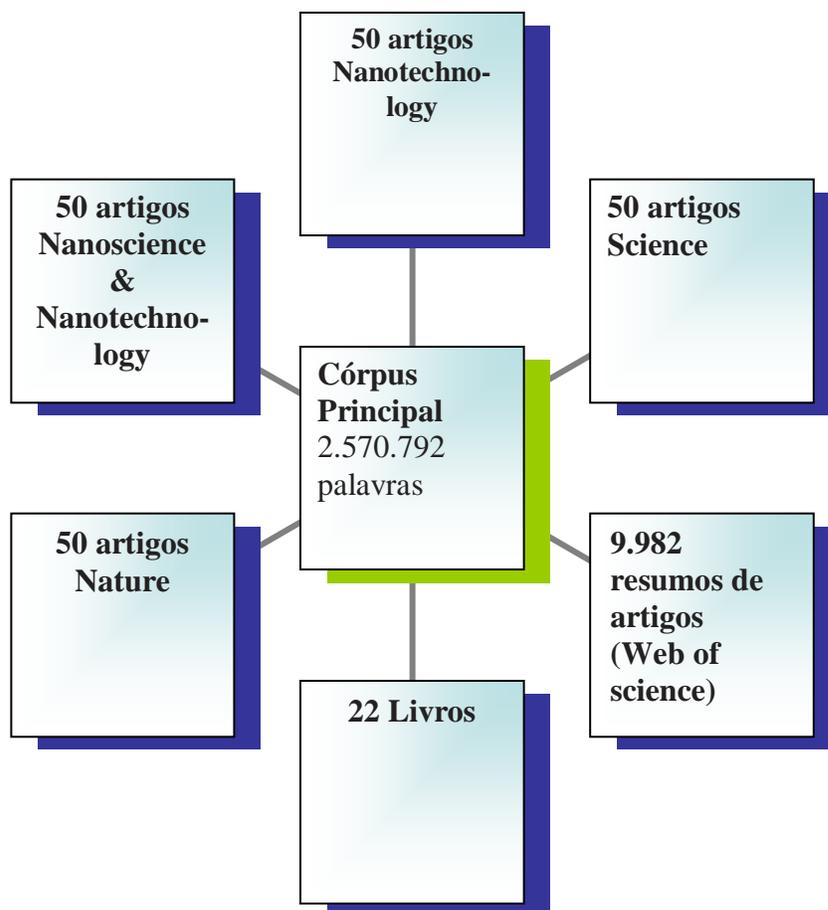
Nesta seção, descrevem-se o cópulo compilado para o projeto e os processos de compilação e manipulação (conversão, limpeza e formatação) do mesmo.

2.3.1.1 Compilação

⁸ Por exemplo, até a Renascença e até um pouco depois, o campo da Filosofia abrangia o que hoje é a Química, Física, Matemática, etc. O século XX testemunhou a proliferação de novas áreas e a divisão de algumas outras. Por exemplo, a maior parte das Ciências Sociais e Humanas do presente foram nomeadas apenas no século XX.

2.3.1.1.1 Dados gerais sobre o corp3s

Para o projeto, foi compilado um corp3s de l3ngua inglesa da 3rea de Nanotecnologia a partir de textos da Web, cuja extens3o 3 de 2.570.792 de palavras (Figura 1). Esse corp3s 3 composto por 22 livros e 200 artigos de revistas, al3m de 9.982 resumos de artigos, com seus respectivos t3tulos, palavras-chave e lista de t3picos (do ingl3s, “subjects”) quando presentes. Os artigos, em especial, foram compilados dos peri3dicos (i) *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*⁹, (ii) *Nanotechnology*¹⁰, (iii) *Nature*¹¹ e (iv) *Science*¹². Os resumos de artigos e suas informa33es correspondentes foram compilados do portal *ISI Web of Knowledge* (Web of Science)¹³ para os t3picos Nanotechnology, Nanoscience, Genomics e Nanobiotechnology.



⁹ <http://www.aspbs.com/html/a0600frm.htm>

¹⁰ <http://www.iop.org/EJ/S/3/451/YfSAujvDHdF2s7uXEE6cyg/journal/Nano>

¹¹ <http://www.nature.com/cgi-taf/DynaPage.taf?file=/nature/journal/v433/n7025/index.html>

¹² <http://www.sciencemag.org/>

¹³ <http://isi02.isiknowledge.com/portal.cgi/>

Figura 1: Fontes do Córpus principal do projeto

2.3.1.1.2 Fontes e critérios de compilação dos textos

Como mencionado, o material que compõe o córpus foi compilado da Web. Alguns livros, no entanto, foram doados por pesquisadores ligados à área de Nanotecnologia. Essa doação facilitou a tarefa de compilação dos livros, posto que estes raramente estão disponíveis integralmente na Web.

Os artigos foram compilados de quatro periódicos específicos (em inglês): *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, *Nanotechnology*, *Nature* e *Science*. A escolha pelos periódicos *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* e *Nanotechnology* pautou-se no critério *especialização*, ou seja, os periódicos são específicos da área de Nanotecnologia e, por isso, refletem a linguagem de especialidade característica dessa área pesquisa. Já a escolha dos periódicos *Nature* e *Science* foi pautada no critério *generalização*, ou seja, os periódicos englobam não só pesquisas da área de Nanotecnologia, mas também de áreas correlatas; característica essa relevante para a montagem do córpus. O critério *generalização*, inclusive, foi também o utilizado para a escolha do portal *ISI Web of Knowledge* (Web of Science) como fonte para a coleta dos resumos. É claro que os critérios *especialização* e *generalização* não foram os únicos fatores responsáveis pela escolha dos quatro periódicos e do referido portal. O fato de essas fontes serem publicações bem conceituadas e “de impacto” na comunidade científica também influenciou para a escolha das mesmas.

Para a compilação dos artigos dos quatro periódicos e dos resumos do referido portal, foram usados os termos “nanotechnology”, “nanoscience”, “genomics” e “nanobiotechnology” como padrões de busca. Assim, todos os artigos que continham pelo menos um desses termos no título foram retornados como resultado da busca e, posteriormente, compilados, sendo que cada artigo foi salvo em um arquivo independente. O mesmo procedimento foi adotado para a compilação dos resumos de artigos (com seus respectivos títulos, palavras-chave e lista de tópicos) do portal *ISI Web of Knowledge* (Web of Science). Quanto ao material coletado desse portal, vale ressaltar a importância das palavras-chave e lista de tópicos para a elaboração da estrutura conceitual (ou ontologia), uma vez que esses dados agregam uma certa organização do conhecimento da área de Nanotecnologia.

2.3.1.2 Manipulação

2.3.1.2.1 Conversão manual dos arquivos

Parte dos textos compilados da Web para a construção do *córpus*, mais especificamente, 22 livros e 100 artigos, ou estava em formato “doc” ou em formato “pdf”. Para a montagem do *córpus*, entretanto, era preciso que os textos estivessem em formato “txt”. Essa necessidade advém do fato de que o processamento computacional para a extração de termos, por exemplo, só pode ser realizado com um *córpus* cujos textos estejam em formato “txt”. Dessa forma, foi preciso converter os 100 artigos (de, em média, 7 páginas) e os 22 livros (de aproximadamente 200 páginas) de “doc” ou “pdf” para o formato “txt”. Os 9.982 resumos de artigos, com seus respectivos títulos, palavras-chave e lista de tópicos foram os únicos arquivos compilados diretamente da Web em formato “txt”.

Para a conversão dos arquivos em formato “pdf” para “txt”, lançou-se mão dos conversores automáticos disponíveis na Web, por exemplo, o *PDFConverterX*¹⁴. No entanto, a conversão automática não foi possível, pois os arquivos em formato “pdf” que compõem o *córpus* apresentam algum tipo de proteção que impede a conversão automática para “txt”. Diante da impossibilidade de conversão automática, foi preciso converter os arquivos manualmente; tarefa essa bastante árdua, tanto do ponto de vista do esforço humano quanto do tempo necessário para a sua realização.

2.3.1.2.2 Limpeza e anotação manuais dos textos

A conversão dos arquivos de “doc” ou “pdf” para “txt” causou alguns problemas para os pesquisadores. Nesse processo de conversão, algumas informações dos arquivos-fonte (doc ou pdf) são perdidas ou corrompidas quando transformadas em “txt”. Os operadores matemáticos (por exemplo: ∂ , Σ) são exemplos paradigmáticos de informações corrompidas no processo de conversão dos textos para “txt”. Diante disso, foi preciso verificar todos os arquivos transformados em “txt” com o objetivo de extrair essas informações corrompidas. Nessa verificação, decidiu-se por extrair manualmente não só as *equações* e *fórmulas matemáticas* corrompidas, mas também as *tabelas*, *figuras*, *quadros* e *paginação*. Mais especificamente,

¹⁴ <https://secure.bcentralhost.com/softinterface.com/Convert-File-Programs/Document-Conversion.HTM>

decidiu-se por excluir as tabelas, quadros e figuras porque esses recursos gráficos não podem ser processados por um extrator automático de termos, por exemplo. Já as informações referentes à paginação foram excluídas porque são irrelevantes para o processo de extração automática de termos. As *legendas* das tabelas, figuras e quadros, por sua vez, foram mantidas nos arquivos em formato “txt”, pois são fontes importantes para a extração de termos.

Vale ressaltar que as informações sobre *autoria*, *filiação* e *referências bibliográficas* foram anotadas com etiquetas que indicam o início e o fim de cada informação. Os trechos de texto que indicam autoria e filiação foram anotados com as etiquetas <autoria>, de início, e </autoria>, de fim. As referências bibliográficas foram anotadas com as etiquetas <ref>, de início, e </ref>, de fim. Uma anotação desse tipo permite que os cientistas da computação retirem automaticamente essas informações quando necessário. Após a conversão para “txt”, a limpeza das informações corrompidas e a anotação, o cópulus estava pronto para ser manipulado computacionalmente.

2.3.2 Coleta de cópulus específicos da Web e extração de termos com o Corpógrafo

Uma das atividades do curso de pós-graduação do ICMC-USP *SCE5819-2 Tópicos em Inteligência Artificial* foi a criação de cópulus de especialidade a partir de textos da Web com a ajuda de ferramentas de software para esse fim. A ferramenta escolhida foi o *BootCat* (Baroni and Bernardini, 2004) que utiliza sementes (termos do domínio de especialidade) para realizar a busca. Uma restrição do *BootCat* é a limitação aos tipos de textos capturados da Web. Arquivos “pdf” e “doc” não são processados; páginas com frames e com redirecionamentos também não são processadas corretamente; e ainda pode haver *links* repetidos entre os obtidos na busca. Mesmo com essa limitação havia uma questão de pesquisa a ser analisada com esse exercício que era a contribuição de tais cópulus para o trabalho de extração de termos de uma dada área.

A classe foi dividida em 5 grupos que utilizaram como sementes os termos da versão 2 da Ontologia (Apêndice 6) para as entradas: **1. Synthesis, Processing and Fabrication; 3. Properties and Characterization techniques; 4. Machines and Devices; 5. Theories and Computational methods; Major Topics Related to N&N.** Duas entradas da ontologia não foram privilegiadas por estarem melhor preenchidas com seus termos relacionados.

Essa atividade precedeu uma outra que avaliou os métodos de extração de termos do Ambiente Corpógrafo¹⁵ (Maia & Sarmiento, 2003; Sarmiento, Maia & Santos, 2004). Especificamente, um método do Corpógrafo foi avaliado com os corpúsculos gerados pelos grupos: “estudo de n-gramas com restrição sobre o termo e contexto” que considera somente n-gramas começando e terminando por um substantivo ou um adjetivo, atributos fornecidos por um dicionário do português. Além disso, o método faz uma filtragem interior com ajuda de uma *stoplist* e uma filtragem exterior baseada na palavra anterior e posterior ao n-grama. Foram geradas listas de uni, bi e trigramas com o método acima e essas listas foram analisadas para eliminação de termos da língua geral que não fazem parte do repertório terminológico da área de nanociência e nanotecnologia e, posteriormente, entregues aos 4 especialistas da área para avaliação e inserção na ontologia.

2.3.3 Compilação de outras fontes de consulta

Além do uso dos termos gerados por vários métodos de extração automática de terminologia (Seções 2.3.4.1 e 2.3.5), foram utilizadas várias fontes como glossários, dicionários, taxonomias, lista de palavras-chaves, entre outros, para a criação das várias versões da ontologia. Abaixo, listamos 13 fontes, juntamente com suas URLs, que podem ser melhor visualizadas na Figura 2:

- 1) Taxonomia de conceitos da ferramenta Derwent Web of Nanotechnology que nos foi cedida por 15 dias para visitação gratuita (<http://www.thomsonisi.com/>)
- 2) Encyclopedia Nanotech <http://www.nanoword.net/pages/encyclopedia.php> (a partir do site <http://www.nanoword.net/>)
- 3) Wikipedia (<http://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology> e <http://en.wikipedia.org/wiki/Nanoscience>)
- 4) PACS numbers
- 5) Dicionário de Bionanotecnología / Nanobiotecnología (<http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/diccionario/bionanotecnologia.htm>)

¹⁵ <http://www.linguateca.pt/Corpografo/>

- 6) Glossário de Nanomedicina (<http://www.nanomedicine.com/NMIIA/Glossary.htm>)
- 7) Glossario de NanoBiotechnologia (<http://www.jpk.com/glossary/>)
- 8) Glossário de Nanociência & miniaturização do site CHI's Genomics Glossaries & Taxonomies (http://www.genomicglossaries.com/content/miniaturization_glossary.asp)
- 9) Lista com com 256 Keywords retiradas do cópús principal com a ajuda da ferramenta Keywords do pacote WordSmith
- 10) Glossário sobre Scanning Probe Microscopy (<http://www.nanoworld.org/spmglossary/glossindex.htm>)
- 11) A-Z List of 419 Review Chapters in Volume 1-10 da Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology, Edited by Hari Singh Nalwa (ISBN: 1-58883-001-2) (<http://www.aspbs.com/enna-z.html>)
- 12) AZoNanoTM.com – The A to Z of Nanotechnology (<http://www.azonano.com/>) com termos separados por materiais, aplicações e indústria:
 - Nanotechnology information by Material - <http://www.azonano.com/materials.asp>
 - Nanotechnology information by Application - <http://www.azonano.com/Applications.asp>
 - Nanotechnology information by Industry - <http://www.azonano.com/Industries.asp>
- 13) Glossário do site Nanotechnology Now (<http://www.nanotech-now.com/>)

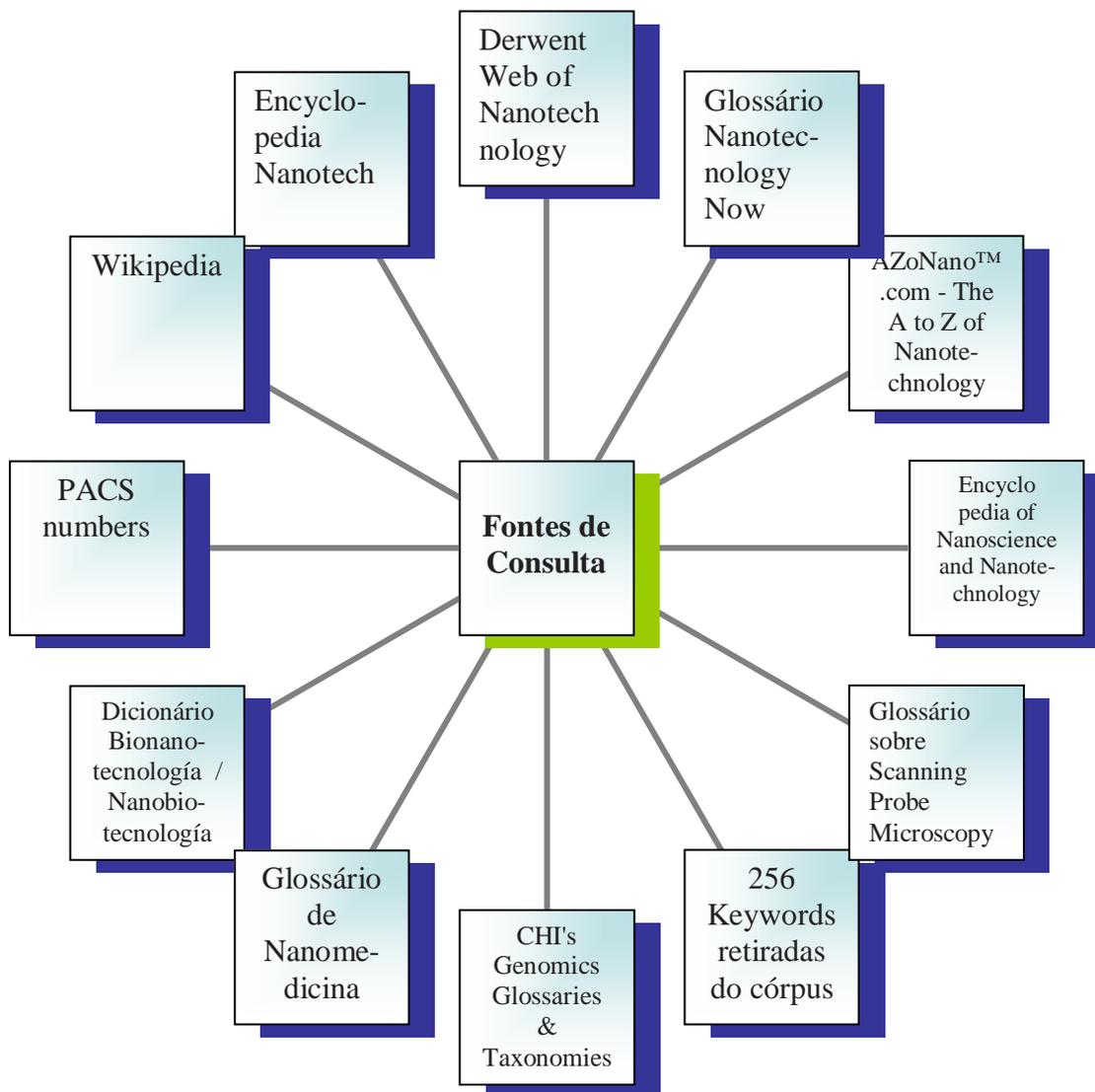


Figura 2: Fontes de Consultas para a criação da ontologia

2.3.4 Aplicação de Ferramentas computacionais

2.3.4.1 Extração Automática de termos com métodos estatísticos

Como o desenvolvimento de terminologias é um trabalho difícil quando realizado manualmente, lingüistas computacionais, lingüistas aplicados, tradutores, intérpretes, jornalistas científicos têm se interessado pela extração automática de terminologias de textos. A extração automática de termos ou de terminologias (EAT) tem sido de grande interesse para todos os tipos

de aplicações do PLN que trabalham com domínios especializados e que, conseqüentemente, necessitam de um vocabulário especial.

O gargalo da EAT é a sua avaliação, pois exige a opinião de especialistas, sendo esse processo caro e demorado. Por outro lado, contar com recursos como glossários ou dicionários, isto é, com listas de referências para avaliar os métodos, também traz seus riscos, uma vez que tais recursos são incompletos, dada a constante produção de novos termos. Neste projeto utilizamos 4 especialistas para a avaliação dos métodos de extração, indicados na Seção 2.1.

A avaliação do processo de extração de informação no geral e da extração de termos no particular utiliza métricas clássicas da área de processamento de sinais, como a Precisão e a Revocação (Recall). **Precisão** é a razão das respostas corretas recuperadas pelo sistema e todas as respostas recuperadas e **Revocação** é a razão de respostas corretas e todas as respostas corretas possíveis.

Uma das abordagens para a realização da tarefa de extração de termos usa estatísticas — são os Sistemas baseados em estatística. Outra abordagem encontrada na literatura é a lingüística em que os sistemas detectam padrões recorrentes de unidades terminológicas complexas, tais como “substantivo–adjetivo” e “substantivo–preposição–substantivo”, por exemplo; e a híbrida em que os sistemas começam a detectar algumas estruturas lingüísticas básicas, tal como expressões nominais, e depois de os termos candidatos terem sido identificados, uma estatística relevante é usada para decidir se eles correspondem a um termo. O inverso também é possível, começando-se com uma lista de candidatos levantados estatisticamente, sendo que a informação lingüística, neste caso, é usada para filtrar termos válidos desta lista. Neste projeto utilizamos abordagens estatísticas e focamos na extração de uni, bi e trigramas, isto é, termos com 1, 2 e 3 palavras dado que são os mais pervasivos na área.

2.3.4.1.1 Método Estatístico baseado na Freqüência – usando o pacote NSP

O método estatístico utilizado foi aplicado com o uso de scripts do pacote NSP (N-gram Statistics Package)¹⁶, escrito em Perl. O pacote NSP foi implementado por Ted Pedersen, Satanjeev Banerjee e Amruta Purandare na Universidade de Minnesota, Duluth. Ele é constituído por um conjunto de programas que auxilia na análise de n-gramas em arquivos texto. No pacote, um n-grama é definido como uma seqüência de ‘n’ *tokens* que ocorrem dentro de uma janela de

¹⁶ <http://www.d.umn.edu/~tpederse/nsp.html>

pelo menos ‘n’ *tokens* no texto. Esse pacote é encontrado em diversas versões, e a versão utilizada nesse trabalho foi a 0.57, contando com dois programas principais: ‘count.pl’ e ‘statistic.pl’, cujas funções serão apresentadas nesta seção. Essa versão proporciona dez medidas de associação para bigramas e 2 para trigramas. Para bigramas foram utilizadas a Informação Mútua, *Log-likelihood* e Coeficiente *Dice* e para trigramas foram utilizadas a Informação Mútua e *Log-likelihood*. Para unigramas, a única medida proporcionada por essa versão do pacote NSP é a frequência.

O comando necessário para produzir unigramas, bigramas e trigramas junto com suas frequências é:

```
count.pl [opções] arquivo_de_saída.txt arquivo_de_entrada.txt
```

Em “opções” pode-se especificar o n-grama, caso ele seja diferente de 2 em razão de esse ser o padrão. Por exemplo, para produzir unigramas utiliza-se “--ngram 1”. Também em “opções” pode-se especificar o arquivo com a regra de formação de *tokens* (“--token nome_do_arquivo.pl”), o arquivo que contém a *stoplist* (“--stop nome_do_arquivo.pl”), limitar a lista de n-gramas utilizando-se somente aqueles que apresentam frequência equivalente ou superior a um determinado valor especificado (“--remove N”). Além dessas opções, existem outras no pacote NSP que não serão descritas por não terem sido utilizadas.

Considere que o conteúdo apresentado a seguir pertença ao arquivo texto de entrada “entrada.txt”, por exemplo:

```
primeira linha de texto
segunda linha
e uma terceira linha de texto
```

Ao utilizar a linha de comando “count.pl saída.txt entrada.txt”, a seguinte saída é produzida (arquivo “saída.txt”):

Quadro 1: Saída do programa count.pl

```
11
linha<>de<>2 3 2
de<>texto<>2 2 2
```

```
terceira<>linha<>1 1 3
linha<>e<>1 3 1
texto<>segunda<>1 1 1
primeira<>linha<>1 1 3
e<>uma<>1 1 1
uma<>terceira<>1 1 1
segunda<>linha<>1 1 3
```

O número 11 na primeira linha indica que o arquivo de entrada “entrada.txt” apresenta um total de 11 bigramas. Nas próximas linhas, esses bigramas foram listados, considerando que cada *token* é separado pelo sinal “<>”. Depois do último “<>” em cada linha encontram-se 3 números, sendo que o primeiro representa o número de vezes que o bigrama ocorre no arquivo texto de entrada. Dessa forma, o bigrama “linha<>de<>” ocorre 2 vezes no texto de entrada. O segundo número está relacionado ao número de bigramas em que o *token* “linha” ocorre do lado esquerdo. Assim, “linha” ocorre no lado esquerdo de 3 bigramas. E, finalmente, o terceiro número representa o número de bigramas em que o *token* “de” ocorre do lado direito.

Para calcular as medidas coeficiente *log-likelihood*, informação mútua e coeficiente *dice* para bigramas, é utilizado o comando:

```
statistic.pl nome_do_arquivo_da_medida
nome_do_arquivo_de_saída.nome_do_arquivo_da_medida arquivo_de_bigramas.txt
```

O mesmo comando é empregado para o cálculo das medidas coeficiente *log-likelihood* e informação mútua para trigramas, adicionando-se a opção “--ngram 3” depois de “statistic.pl”. Um exemplo para o cálculo do coeficiente *dice* é “statistic.pl dice teste.dice bigrama.txt”. O resultado gerado ao se executar essa linha de comando é uma saída similar àquela apresentada anteriormente, acrescentando-se o ranking e o escore dos bigramas antes dos 3 outros números. Dessa forma, os bigramas são classificados de acordo com os escores que apresentam. Considerando como entrada o arquivo de saída gerado no Quadro 1 e utilizando-se a linha de comando:

```
statistic.pl dice saida2.dice saida.txt
```

obtem-se o arquivo “saida2.dice”:

```
11
de<>texto<>1 1.0000 2 2 2
e<>uma<>1 1.0000 1 1 1
uma<>terceira<>1 1.0000 1 1 1
texto<>segunda<>1 1.0000 1 1 1
linha<>de<>2 0.8000 2 3 2
terceira<>linha<>3 0.5000 1 1 3
linha<>e<>3 0.5000 1 3 1
primeira<>linha<>3 0.5000 1 1 3
segunda<>linha<>3 0.5000 1 1 3
```

Comparando-se esse arquivo com o anterior, é possível notar que existem dois números adicionais, sendo que o primeiro representa o ranqueamento do bigrama, que é obtido a partir do segundo número, que representa o escore do bigrama e é calculado utilizando-se, nesse caso, a medida estatística coeficiente *dice*. Dessa forma, os bigramas foram classificados em ordem crescente de seus ranqueamentos. Os três números restantes são os mesmos apresentados anteriormente.

O resultado do cálculo do escore das medidas estatísticas é apresentado com apenas 4 casas decimais, que é o número padrão. Para alterar esse número, utiliza-se a opção “--precision n”, modificando-se a precisão para um determinado número n de casas decimais. Além dessa opção, o pacote apresenta algumas outras para serem utilizadas com o programa “statistic.pl”, que não serão aqui descritas. O pacote NSP, além de produzir todos os unigramas, bigramas e trigramas encontrados no *córpus*, permite que se façam limitações e incrementos quanto ao que se deseja. Por exemplo, quando se geraram as listas de unigramas, bigramas e trigramas utilizando-se apenas a função “count.pl”, as acentuações encontradas no *córpus* não foram reconhecidas, já que a língua padrão do pacote é a língua inglesa, sendo então necessário construir uma regra de formação de token que aceitasse acentuação. Essa regra também foi essencial para a eliminação

de alguns caracteres que não seriam importantes na busca por termos, tais como aspas, números, pontuações, entre outros.

Na construção da regra de formação de *tokens*, foi necessário utilizar a tabela ASCII estendida, já que o pacote apenas reconhece padrões de formação de *tokens* nesse formato. A princípio, palavras hifenizadas também não eram geradas como se encontravam no *córpus* e sim separadas por meio do hífen. Nesse caso, a regra de formação de *tokens* também foi aplicada. A regra de formação do *token* utilizada suporta tanto caracteres para o Português como o Inglês, sendo essa última a língua dos textos do *córpus* principal do projeto:

/([a-zA-Z-])	→ representa caracteres alfabéticos que podem apresentar hífen
[\\w\\xb0]	→ representa o “°” (grau)
[\\w\\xc0-\\xc5]	→ representa a letra “á” maiúscula com as acentuações possíveis
[\\w\\xc7-\\xcf]	→ representa o “ç”, as letras “é” e “í” com acentuações (maiúsculos)
[\\w\\xd1-\\xd6]	→ representa o “ñ” e a letra “ó” com acentuações (maiúsculos)
[\\w\\xd9-\\xdc]	→ representa a letra “ú” maiúscula com acentuações
[\\w\\xdf-\\xe5]	→ representa a letra “ß” e a letra “á” minúscula com acentuações
[\\w\\xe7-\\xef]	→ representa o “ç”, as letras “é” e “í” com acentuações (minúsculos)
[\\w\\xf1-\\xf6]	→ representa o “ñ” e a letra “ó” com acentuações (minúsculos)
[\\w\\xf9-\\xfc)+/	→ representa a letra “u” minúscula com acentuações

Note que o caractere “[”, presente na regra de formação de *tokens*, indica alternância, e o caractere “+” indica que a expressão em questão pode ocorrer uma ou mais vezes.

Após a execução dessas tarefas, o resultado produzido pelas listas de unigramas, bigramas e trigramas ainda não foram satisfatórios, visto que as palavras que apareciam com maior frequência representavam um grupo de palavras funcionais, tais como preposições, artigos, conjunções, e também uma quantidade significativa de advérbios que não apresentam nenhum valor terminológico. Para resolver esse problema, foi construída uma *stoplist* com essas palavras, a fim de obter uma lista menor, apresentando candidatos com maior probabilidade de serem termos. A *stoplist* inteira encontra-se em um dos apêndices da monografia do Projeto de Graduação do aluno Luiz Carlos Genovês Jr. Especificamente para este projeto de pesquisa, os

comandos utilizados para a produção das listas de n-gramas, considerando que n assume os valores 1, 2 e 3, são apresentados a seguir.

```
count.pl --ngram 1 --token tk3.pl --stop FILEOR.pl --remove 22 --recurse unigrama.txt corpus
```

para a geração da lista de unigramas (arquivo unigrama.txt), a partir do diretório corpus, utilizando-se a regra de formação de tokens – isto é, a regra para o processo de tokenização -- (arquivo tk3.pl) e a stoplist (arquivo FILEOR.pl), eliminando os unigramas com frequência inferior a 22 (--remove 22), pois o cópús apresenta 2.570.792 palavras.

```
count.pl --token tk3.pl --stop FILEOR.pl --remove 22 --recurse bigrama.txt corpus
```

para a geração da lista de bigramas, utilizando-se a regra de formação de tokens e a stoplist, e eliminando os bigramas com frequência inferior a 22 (--remove 22)

```
count.pl --ngram 3 --token tk3.pl --stop FILEAND.pl --remove 22 --recurse trigrama.txt corpus
```

para a geração da lista de trigramas, utilizando-se a regra de formação de tokens e a stoplist, e eliminando os trigramas com frequência inferior a 22 (--remove 22).

Na Tabela 1 temos o resultado da comparação entre a Versão 3 da ontologia e os termos obtidos pelo método da frequência. Como veremos nas próximas seções, esse método, apesar de simples, é o que obteve o melhor desempenho.

Tabela 1: Comparação entre os termos obtidos utilizando a frequência e a ontologia

N-grama	Termos na Intersecção	Precisão	Revocação
Unigramas	815	10.66%	60.01%
Bigramas	252	12.89%	11.14%

Trigramas	30	0.93%	1.18%
-----------	----	-------	-------

2.3.4.1.2 Método Estatístico baseado no Log odds ratio – usando o BootCat

O BootCaT¹⁷, extrator automático de córpus e de termos (do inglês “Bootstrapping Corpora and Terms”), propõe a montagem de córpus, de modo iterativo, a partir de textos obtidos na Web. O BootCaT é composto por várias ferramentas escritas em Perl, que foram projetadas para executar pequenas partes do processo de montagem de córpus. Basicamente, o processo de montagem de córpus do BootCaT é composto de 4 passos:

- 1) construir um córpus automaticamente a partir de buscas ao Google¹⁸ utilizando um pequeno conjunto de sementes (seeds);
- 2) extrair novas sementes desse córpus;
- 3) utilizar essas novas sementes para novas buscas ao Google, cujos textos recuperados serão concatenados ao córpus, aumentando-o;
- 4) extrair novas sementes desse córpus complementado, e assim por diante. A montagem de córpus proposta pelo BootCaT segue o diagrama da Figura 3.

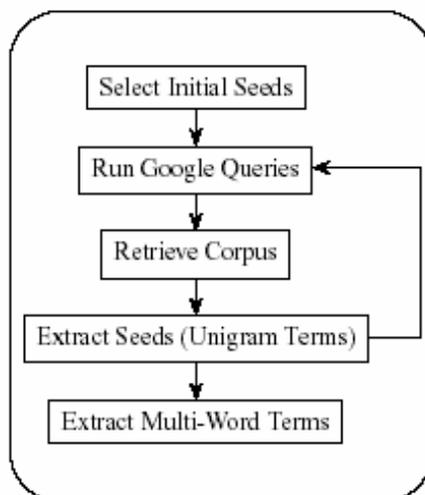


Figura 1: Fluxo de montagem de um córpus no BootCaT (Baroni and Bernardini, 2004)

O primeiro passo é selecionar as sementes iniciais. Isso é feito manualmente, e boas sementes são termos típicos em textos do domínio específico do qual busca-se construir a amostragem. No segundo passo, essas sementes são combinadas entre si e algumas dessas

¹⁷ <http://sslmit.unibo.it/~baroni/bootcat.html>

¹⁸ <http://www.google.com.br/>

combinações (à escolha do usuário) são enviadas como buscas ao Google. No terceiro passo, as URLs retornadas das busca são processadas para obter-se apenas o texto contido nelas, convertendo-as para texto puro e “limpando-os”, quando for possível. São aproveitados somente os formatos (ou linguagem de marcação) HTML e TXT. Nesse momento, um primeiro corpus já está formado. Desse primeiro cópús são extraídos unigramas (termos com apenas uma palavra), e a frequência de cada unigrama obtido no cópús é apurada. Sabendo-se a frequência de cada unigrama, esses podem ser comparados entre si. A relevância de cada unigrama é mensurada utilizando a medida estatística log odds ratio (Baroni and Bernardini, 2004), com o apoio de um cópús de referência na mesma língua. Uma lista de unigramas, ordenada pela relevância calculada pela medida log odds ratio, é então gerada, e os primeiros elementos da lista são considerados bons candidatos a sementes. Caso o cópús obtido até o momento não seja satisfatório (seja pequeno, por exemplo), podemos eleger os primeiros unigramas da lista como novas sementes e repetir o processo, voltando ao segundo passo. Segundo Baroni e Bernardini (Baroni and Bernardini, 2004), cópús representativos podem ser montados com poucas sementes iniciais (entre 5 e 15), e também afirmam que com duas ou três iterações é possível obter um cópús satisfatório.

O BootCaT também dispõe de ferramentas para extração de termos com mais de uma palavra, ou termos multi-palavra. Para tal propósito, precisamos de duas listas, ambas obtidas no cópús de referência: uma de conectores e uma de stopwords. Conectores são compostos por palavras ou bigramas que ocorrem frequentemente entre dois unigramas e stopwords são termos muito frequentes, geralmente formados por palavras de classe fechada de uma língua como os artigos, as conjunções, as preposições e os pronomes que não são conectores. As listas descritas acima não precisam necessariamente ser obtidas pelo BootCaT, podem ser dadas ou obtidas de outras fontes. Com as listas acima é possível definir o que são termos multi-palavra, segundo as restrições abaixo:

- 1) Contém ao menos um unigrama;
- 2) Não contém stopwords;
- 3) Podem ter conectores, desde que esses não estejam nas extremidades do termo e não sejam consecutivos;
- 4) Têm frequência maior que um limiar (threshold), que é relativo ao tamanho do termo;

5) Não podem ser parte de termos multi-palavras maiores com frequência superior a $k \cdot fq$, onde k é uma constante entre 0 e 1 (normalmente k é um valor perto de 1) e fq é a frequência do termo atual;

6) Reciprocamente, não podem conter termos multi-palavras menores com frequência superior a $(1/k) \cdot fq$;

Os termos multi-palavras são procurados recursivamente, inicialmente buscando por bigramas e depois concatenando palavras à esquerda e à direita, na busca de um $(n+1)$ grama. Parâmetros como a frequência mínima para bigramas (utilizado para calcular o limiar da restrição 4) e o valor de k das restrições 5 e 6 devem ser informados pelo usuário.

A geração de uni, bi e trigramas com o BootCat foi realizada pelo aluno Luiz Genovês Jr. em seu Projeto de Graduação. Para a geração de unigramas com o BootCat, inicialmente o córpus foi tokenizado, que consiste em separar cada palavra do córpus, e foi gerado um arquivo de córpus tokenizado com uma palavra por linha. Este córpus também foi transformado para minúsculo, para não discriminar maiúsculas de minúsculas. Com o córpus tokenizado, a frequência de cada palavra distinta do córpus foi calculada, no qual cada linha contém a palavra seguida da sua frequência no córpus, ordenada decrescentemente pela frequência.

O próximo passo foi calcular a medida estatística *log odd ratio* para cada palavra da lista de frequência. Nesta tarefa, precisamos da lista de frequência de um córpus de referência, e escolhemos o córpus Brown¹⁹. Para calcularmos a medida *log odd ratio* precisamos de um arquivo com a frequência de cada palavra do córpus ao lado da frequência dessa palavra no córpus de referência +1 (mais um). Calculamos o *log odd ratio* de cada palavra e selecionamos os 10% melhores unigramas classificados pela medida, gerando uma lista com 7343 unigramas. Dessa lista foram removidos os unigramas que também estavam na lista de *stopwords*, resultando numa lista final com 7297 unigramas.

2.3.4.1.3 Método para extração de multi-palavras do Bootcat

Para a extração de bigramas e trigramas, precisamos da lista de unigramas cuja obtenção foi apresentada na Seção 2.3.4.1.2. Então extraímos conectores de uma e duas palavras, e escolhemos os 10% primeiros de uma palavra e os 5% primeiros de duas palavras. Como vimos na Seção 2.3.4.1.2, a extração de termos multi-palavras começa com a extração de bigramas. A

¹⁹ www.essex.ac.uk/w3c/corpus_ling/content/corpora/list/private/brown/brown.html

partir dos bigramas é que podemos extrair trigramas inspecionando o unigrama que sucede ou precede o bigrama, e assim por diante. Foram extraídos 6,5% dos possíveis bigramas contidos no cópulo do projeto, para que o número de bigramas retornados se equiparasse com o número extraído pelo método da frequência. Com esses bigramas, partimos para a extração de trigramas, que consiste em tentar eleger bigramas que são partes de trigramas. A extração de trigramas baseia-se nas regras de formação de termos multi-palavras, descritas na Seção 2.3.4.1.2. Da lista dos 6,5% bigramas de maior frequência escolhidos, a menor frequência é 5. O valor que escolhemos para k foi de 0.75, o mesmo usado no trabalho dos autores do BootCat, e para um trigrama X que contém o bigrama Y ser classificado com trigrama, a frequência de X deve ser superior a $k \cdot (\text{frequência de } Y)$.

A Tabela 2 mostra alguns bigramas, e suas respectivas frequências no cópulo, que estão contidos nos trigramas da Tabela 3. Os termos em negrito são os termos que estão nas listas finais de bigramas e trigramas obtidas pelo BootCaT.

Tabela 2: Candidatos a bigramas

Bigramas	Frequência
biochemical research	495
research methods	494
scanning probe	123

Tabela 3: Candidatos a trigramas

Trigrama	Frequência
scanning probe microscopy	51
scanning probe microscope	23
scanning probe microscopes	15
Biochemical research methods	490

O trígama “scanning probe microscopy” não foi incluído na lista de trigramas, pois sua frequência é menor que a mínima exigida:

$$\text{Frequência mínima} = k * (\text{frequência de “scanning probe”}) = 0.75 * 123 \approx 93$$

embora seja um termo da área. Se o cópua fosse maior ou se sofresse um processo de singularização a frequência de “scanning probe microscopy” seria maior e ele seria escolhido.

Já o trígama “biochemical research methods” foi incluído na lista final de trigramas, excluindo portanto os bigramas “biochemical research” “research methods” da lista de bigramas, pois sua frequência é maior que a frequência mínima:

$$\text{Frequência mínima} = k * (\text{frequência de “biochemical research”}) = 0.75 * 495 \approx 372$$

A frequência mínima exigida para trigramas é a frequência do menor bigrama (5) vezes k (0.75), que é 3.75, e como frequência é um valor inteiro, o mínimo exigido foi 4.

Na Tabela 4 são apresentados os números de uni, bi e trigramas da versão 3 da Ontologia, extraídos pelo BootCaT e pelo método da frequência, respectivamente nas colunas 2, 3 e 4.

Tabela 4: Número dos candidatos a termos obtidos pelos métodos do BootCaT, Frequência e da ontologia

N-grama	Ontologia	BootCaT	Frequência
Unigramas	1358	7297	7645
Bigramas	2261	6780	1954
Trigramas	2530	152	3216

Tabela 1: Comparação entre os termos obtidos utilizando o BootCaT e a ontologia

N-grama	Termos na Intersecção	Precisão	Revocação
Unigramas	651	8.92%	47.93%
Bigramas	248	3.65%	10.96%

Trigramas	9	5.92%	0.35%
-----------	---	-------	-------

A Tabela 5 apresenta o resultado da comparação entre a ontologia e os termos obtidos pelo BootCaT. O método da frequência foi o que obteve maior sucesso. Porém, os unigramas, bigramas e trigramas retornados pelo BootCat não estavam na versão 3 da ontologia serviram para alimentar a quarta versão desta, após o julgamento por especialistas da área.

2.3.4.2 Extração de Keywords – usando o WordSmith

A ferramenta *KeyWords* é parte integrante da suíte de ferramentas *WordSmith Tools* (Scott, 1998). Segundo Sardinha (1999a), o *WordSmith Tools* é uma referência para vários estudos da linguagem. Há várias razões para esse fato, visto que se trata de um programa que executa no ambiente Windows, é familiar para a maioria dos usuários, e pode ser obtido pela Internet mediante pagamento de licença. Além disso, a versatilidade do *WordSmith Tools* colabora para sua difusão, já que forma um conjunto de programas²⁰ destinados a várias aplicações, compreendendo pré-processamento, organização de dados e análise de córpus ou textos.

No contexto da análise e manipulação de córpus, a ferramenta *KeyWords* se destina à comparação de listas de palavras de um córpus de estudo com uma lista de palavras de um córpus de referência. O resultado desta comparação é uma lista de palavras chave que correspondem a um conjunto de palavras cujas frequências no córpus de estudo são diferentes do córpus de referência. Em outras palavras, sua função é comparar por meio de um método estatístico as palavras cujas frequências no córpus de estudo são maiores do que no córpus de referência. Nesse caso, o córpus de referência deve ser representativo²¹.

Assim, os principais componentes na extração das palavras chave são: 1) um corpus de estudo, representado por uma lista de frequência de palavras, e 2) um corpus de referência, também representado como uma lista de frequência de palavras, cuja função é a de fornecer o conjunto de palavras com o qual se fará as comparações. Seguindo o método de extração de palavras-chaves descrito em Sardinha (1999b), foram extraídas 265 palavras chave do córpus de nanotecnologia de 2,5 milhões de palavras. A extração destas palavras chaves serviu para a

²⁰ O programa oferece ferramentas para execução de tarefas essenciais, como listas de palavras (através do programa WordList) e de concordâncias (por meio do Concord).

²¹ Neste projeto foi utilizado o BNC como córpus de referência.

composição de uma lista de Conceitos Chave da área de Nanociência e Nanotecnologia (Key Concepts in N&N) que está anexada à ontologia proposta para a área.

2.3.4.3 Criação de ferramentas de Suporte

Durante a vigência e o desenvolvimento do projeto, várias ferramentas computacionais de suporte foram implementadas para auxiliar nos trabalhos de análise e/ou avaliação das versões da ontologia. As ferramentas foram implementadas nas linguagens *Perl* ou *SciLab*, dependendo somente das necessidades ou demanda requerida. A linguagem *Perl* é uma linguagem interpretada e multiplataforma, e, entre outras, muito útil para tarefas que utilizam a língua natural como insumo. A lista abaixo mostra o nome e a descrição de cada ferramenta *Perl*.

- 1) ***fazstop.pl*** - A ferramenta *fazstop.pl* foi utilizada para criar uma *STOPLIST* no formato específico que atente o pacote NSP. Tem como entrada um arquivo com a lista de palavras (uma por linha), e como saída a mesma lista de palavras no formato especificado. A *STOPLIST* serve de entrada para a extração de termos do pacote NSP;
- 2) ***intersec.pl*** - A ferramenta *intersec.pl* faz a interseção de duas listas de palavras que são fornecidas como entrada. A saída desta ferramenta também são duas listas de palavras, sendo que uma delas representa a interseção “positiva” e outra a interseção “negativa”. A interseção “positiva” armazena a lista de palavras que estão presentes nas duas listas de entrada, e a “negativa” a lista de palavras que estão presentes somente em uma delas;
- 3) ***substitui.pl*** - A ferramenta *substitui.pl* faz a substituição de uma determinada string por outra, em um arquivo texto de entrada. É semelhante à tarefa de FIND/REPLACE dos editores de texto, porém, aqui também é aceita uma expressão regular (como entrada) para encontrar padrões a serem substituídos;
- 4) ***associa_freq.pl*** - Esta ferramenta associa os valores de frequência de palavras de uma lista de palavras. Tem como entrada duas listas de palavras, uma com valores de frequência de cada palavra e outra sem estes valores. Como resultado, tem-se uma lista de palavras com seus valores de frequência associados;
- 5) ***compara_uni_bi.pl*** - Esta ferramenta tem como entrada uma lista de unigramas e uma lista de bigramas. Sua função é encontrar todos os unigramas (da lista de entrada) que

estão presentes na formação dos bigramas. Tem como resultado uma lista de unigramas que fazem composição da lista de bigramas;

- 6) *compara_uni_bi_tri.pl* - Esta ferramenta tem como entrada três listas: 1) unigramas, 2) bigramas e 3) trigramas. Sua função é encontrar todos os unigramas (da lista de entrada) que estão presentes na formação dos bigramas e trigramas, bem como, todos os bigramas (da lista de entrada) que estão presentes na formação dos trigramas;
- 7) *seleciona_campos.pl* - A ferramenta *seleciona_campos.pl* é utilizada para selecionar os campos de texto dos arquivos que contém as informações de referência e abstracts dos artigos recolhidos do portal *Web of Nanotechnology*. Campos como título, assunto (*subject*), resumo (*abstract*) e palavra-chave (*keywords*) podem ser selecionados e extraídos automaticamente. Tem como entrada um arquivo texto que contém as informações dos artigos e como saída um arquivo texto com os campos extraídos;
- 8) *separatermos.pl* – Esta ferramenta foi utilizada para separar, de uma lista completa, as palavras de tamanho 1, 2 e 3 (unigramas, bigramas e trigramas). É dado como entrada um arquivo texto que contém a lista de palavras, e a saída é representada por 3 arquivos diferentes, uma para cada tamanho.

As ferramentas implementadas utilizando a linguagem *SciLab* foram aplicadas na interseção das versões das ontologias com as listas de frequências de palavras (obtidas por um dos métodos estatísticos) e de *hubs*. Tal interseção serviu para auxiliar os especialistas a analisarem a relevância de um determinado termo (unigramas, bigramas ou trigramas) na ontologia, bem como para equipe de informática avaliar os métodos de extração de termos. Dessa maneira, a ontologia recebeu informações adicionais que dizem respeito a alguns dos métodos de EAT utilizados no projeto. Foi possível verificar qual a relevância de um termo presente na ontologia, com relação a dois métodos de EAT. Os métodos cujas informações foram inseridas na ontologia são (i) o método estatístico por contagem de frequência e (ii) o método baseado nos *hubs* de entrada com pesos (veja a versão 4 da Ontologia no Apêndice 3). Cabe lembrar que o método (i) foi utilizado para extrair uni, bi e trigramas, enquanto o método (ii) foi usado para extrair somente unigramas. Para exemplificar essa alteração na ontologia, abaixo temos o termo “Materials”, que passou a ser identificado por:

[c(7,1938)][f(6,2631)] **Materials**

em que [c(7,1938)] informa que o termo “Materials” foi o sétimo termo recuperado pelo método (ii), com conectividade igual a 1938. Já [f(6,2631)] indica que esse termo foi o sexto recuperado pelo método (i), com frequência igual a 2631. Se um dado termo não foi recuperado por algum dos métodos, o símbolo [-] é exibido. Por exemplo, o termo:

[-][f(394,2)] **Lithium Batteries**

não foi recuperado pelo método (ii). Existem alguns casos especiais na ontologia, em que uma dada entrada apresenta mais de um termo. Essas entradas estão nos seguintes formatos:

X (SIGLA)

X / Y

X or Y

nos quais X, Y e SIGLA podem ser considerados termos separadamente. Para esses casos, foi inserida mais de uma informação referente aos dois métodos de EAT, uma para cada subtermo, conforme ilustram os exemplos abaixo:

[-][f(49,3)] **Dip Pen Nanolithography** ([c(293,13)][f(304,13)] **DPN**)

[c(155,59)][f(163,65)] **Fullerenes** / [-][-] **Buckminsterfullerenes**

[-][f(110,45)] **Solar Cells** or [-][f(381,3)] **Photovoltaic Cells**

Essa alteração na ontologia foi realizada utilizando-se um script construído em *Scilab*. A entrada desse script é a versão atual da ontologia mais as listas de termos extraídas pelos métodos (i) e (ii). Para cada termo da ontologia, uma busca nessas listas é feita, retornando a posição do termo na lista juntamente com sua frequência (ou conectividade, dependendo do método). Portanto, um novo arquivo é gerado com essas informações, respeitando as indentações dos termos, as quais indicam os níveis da ontologia.

2.3.5 Pesquisas com redes complexas para extração de termos e definição da ontologia

Uma ampla gama de sistemas, naturais ou sociais, pode ser descrita por redes complexas. Como exemplos desses sistemas, temos as cadeias alimentares, a Internet, a Web, as redes neurais e as redes de relações sociais entre indivíduos. Um método primário para análise de uma rede é representá-la como uma figura com arcos e nós, para então responder determinadas questões através de um exame visual da figura. Como tem havido uma mudança significativa nessa área, em que o foco se move da análise de um único e pequeno grafo (e das propriedades de seus nós e arestas) para considerar propriedades estatísticas em larga escala, essa abordagem torna-se impraticável. Com essa mudança, tornou-se necessária uma correspondente transformação na tradicional abordagem analítica de redes.

Anteriormente, os grafos randômicos eram os mais utilizados para estudar sistemas modelados como redes (em um grafo randômico de N nós, cada par de nós é conectado com probabilidade p). Mas o interesse em sistemas complexos por parte dos cientistas estimulou uma reconsideração desse paradigma de modelagem. Como é cada vez mais evidente que a topologia e a evolução dessas redes são governadas por princípios robustos de organização (e não simplesmente randômicos, daí o nome “redes complexas”), sentiu-se a necessidade de desenvolver ferramentas para capturar quantitativamente esses princípios. Grande parte das recentes descobertas está relacionada à maneira como as redes do mundo real diferem das redes randômicas (NEWMAN, 2003). Existe também uma crescente necessidade de entender o comportamento do sistema como um todo, movendo-se para além das abordagens reducionistas.

Pesquisadores têm desenvolvido uma diversidade de técnicas e modelos que auxiliam no entendimento e previsão do comportamento desses sistemas. Três conceitos merecem destaque no estado da arte em redes complexas (ALBERT and BARABÁSI, 2002): as redes pequeno-mundo (small-world), o coeficiente de aglomeração e as redes livres de escala (scale-free). O conceito pequeno-mundo refere-se ao fato de que, mesmo enormes, a maioria das redes apresenta um caminho relativamente curto entre quaisquer dois nós. Já o coeficiente de aglomeração quantifica a tendência de agrupamento dos nós da rede. Por fim, uma rede é dita livre de escala se a probabilidade $P(k)$ de um nó possuir k arestas obedece uma distribuição por lei de potência

(power law) $P(k) \sim k^{-\gamma}$. As redes livres de escala apresentam os chamados hubs, que são poucos nós altamente conectados que coexistem com um grande número de nós com poucas conexões (esse fato pode ser observado na lei de potência)²² (BARABÁSI, 2003). Esses conceitos deram, recentemente, início a uma remodelagem de redes, incentivando o estudo de novos paradigmas.

A linguagem humana também pode ser entendida como uma rede complexa. Cancho and Solé (2001) apresentam a análise de uma rede derivada do British National Corpus, sendo que os nós dessa rede representam as palavras, e suas arestas conectam palavras que aparecem no cópulo pelo menos uma vez, em seqüência ou separadas por uma palavra. Essa rede contém 478.773 nós e $1,77 \times 10^7$ arestas. Outra rede foi construída, semelhante à anterior, com a diferença de que apenas são considerados os pares de palavras consecutivas (i,j) que ocorrem mais vezes do que seria esperado quando a independência entre as palavras é assumida, ou seja, quando $p_{ij} > p_i p_j$. Essa rede apresenta 460.902 nós e $1,61 \times 10^7$ arestas. Foi mostrado que as duas redes apresentam as características pequeno-mundo e livre de escala, indicando que essa rede de palavras pertence à mesma classe, por exemplo, da Internet e da Web.

No presente trabalho, o cópulo principal do projeto foi modelado como uma rede complexa, pelo aluno Lucas Antikeira em seu Projeto de Graduação. A partir daí, medidas da rede podem ser utilizadas para extrair os termos mais importantes da área. Podem ser utilizadas para esses fins, por exemplo, as medidas do coeficiente de aglomeração, graus dos nós e caminhos mínimos. Outros conceitos que podem ser úteis neste trabalho foram desenvolvidos por Costa (2004), que estende as definições de grau de um nó e coeficiente de aglomeração para qualquer sub-rede, e também as amplia, de modo a criar uma “assinatura” da rede. A operação de fechamento (closing) é apresentada a fim de analisar o quão próximos estão os ciclos de comprimento 3 numa rede complexa. Já em (COSTA, 2005) é discutido como podem ser obtidas características topológicas das redes por meio dos conceitos de grau hierárquico de um nó e coeficiente de aglomeração hierárquico (e também por meio de novas medidas hierárquicas que são apresentadas).

Basicamente, as tarefas relacionadas à modelagem (foram realizadas 2 modelagens) podem ser divididas em três etapas:

²² Em uma rede randômica, a distribuição dos graus $P(k)$ é gaussiana. Essa rede apresenta, portanto, um valor médio característico para o grau, que é o número de arestas k para o ponto de máximo global da curva, e é em torno desse valor médio que se concentra a maior parte dos graus dos nós da rede. Sendo assim, as redes randômicas não apresentam *hubs*, pois nela não existem nós com grau muito acima do grau médio (e nem muito abaixo também). Os *hubs* são elementos extremamente importantes nas redes livres de escala, pois são concentradores de conexões e tornam as distâncias entre os nós mais curtas.

- Fase 1: modificação do método já implementado de montagem das redes e de cálculo das medidas estatísticas, de acordo com os requisitos do corpus selecionado para o projeto (a compilação do corpus foi feita por outros membros da equipe do projeto);
- Fase 2: definição e implementação de critérios para extração de candidatos a termo e para obtenção de subgrafos que auxiliem o especialista em nanotecnologia a definir as ligações dos termos na ontologia;
- Fase 3: análise dos métodos criados e definição de regras para refinamento dos mesmos.

As fases 1, 2 e 3 podem ser entendidas como um processo cíclico de refinamento dos métodos propostos. Sendo assim, a fase 1 refere-se à transformação de um conjunto de textos da área de nanotecnologia em uma rede complexa, de modo que, a partir desse modelo, as palavras mais importantes da área e suas relações possam ser extraídas na fase 2, para então serem avaliadas na fase 3. Os resultados dessa avaliação podem indicar modificações nas fases 1 e 2, formando assim o referido método cíclico.

Foram criados métodos baseados nos conceitos de hubs e de coeficiente de aglomeração para EAT. Os hubs são os nós mais conectados da rede, ou seja, são os nós que têm o maior grau. Num dígrafo, como é o caso da rede aqui utilizada, existem dois tipos de hubs: os de entrada e os de saída, contemplando assim a direção das arestas. Além disso, as arestas da nossa rede têm pesos, e nela ainda existem mais dois tipos de hubs: os que consideram a somatória dos pesos e os que contam apenas o número de arestas. Portanto, um dígrafo com pesos tem quatro tipos de hubs: (i) hubs de entrada com pesos, (ii) hubs de saída com pesos, (iii) hubs de entrada sem pesos e (iv) hubs de saída sem pesos. Os casos sem pesos serão aqui chamados de “hubs de entrada” e “hubs de saída”, para simplificar a nomenclatura. Essas quatro variações deram origem a quatro listas de candidatos a termo, retiradas da rede da Modelagem 2, ordenadas decrescentemente do hub mais conectado para o nó menos conectado. Foram aplicados cortes nessas listas, a fim de selecionar os nós com a somatória dos pesos maior ou igual a 100 para os casos (i) e (ii), e os nós com grau maior ou igual a 50 para os casos (iii) e (iv) (esses valores são arbitrários).

Outro conceito utilizado na extração de candidatos a termo foi o coeficiente de aglomeração. Para defini-lo, considere que, para cada nó i da rede, existem k_i arestas que o associam a k_i outros nós. Se esses k_i nós formassem um clique, ou seja, se cada nó estivesse diretamente conectado a qualquer outro nó do conjunto, haveria $k_i(k_i - 1)$ arestas entre eles. Seja E_i o número de arestas que realmente existem entre os k_i nós, então

$$CA_i = \frac{E_i}{k_i(k_i - 1)} \quad (1)$$

é o coeficiente de aglomeração do nó i ($0 \leq CA_i \leq 1$), o qual reflete o quanto as palavras conectadas a esse nó também estão conectadas entre si. O coeficiente da rede inteira é a média de todos os CA_i . O grafo da Figura 4 ajuda a ilustrar o cálculo do coeficiente de aglomeração para o nó A (CAA). Nesse caso, $k_A = 3$, pois existem arestas que ligam o nó A aos nós B, C e D (o nó E não é considerado pois a ligação entre eles não tem origem em A). Se os nós B, C e D formassem um clique, teríamos $k_A(k_A - 1) = 3(3 - 1) = 6$ arestas entre eles, mas na verdade existem apenas $EA = 3$ arestas ligando-os. Portanto, $CAA = 3/6 = 0,5$. Note que nessa definição de coeficiente de aglomeração os pesos das arestas são desconsiderados. Todos os nós da rede obtida na Modelagem 2 foram ordenados decrescentemente de acordo com o seu respectivo coeficiente de aglomeração. Um segundo critério para ordenação foi o número k_i , a fim de dar mais importância aos nós que agrupam mais nós em “torno” de si quando o coeficiente de aglomeração é idêntico. Foi também aplicado um corte nessa lista de nós, de modo que apenas termos com coeficiente de aglomeração igual ou superior a 0,5 são selecionados (valor de corte também arbitrário).

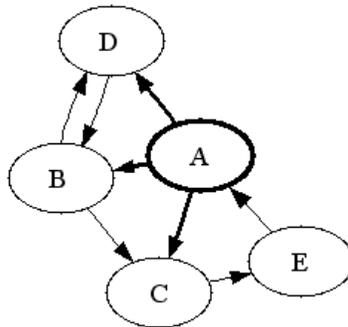


Figura 4 – Grafo que ilustra o cálculo do coeficiente de aglomeração do nó em destaque

Outra utilidade das redes complexas na construção de ontologias está sendo investigada no projeto. Procura-se desenvolver um método para descobrir novas associações entre os termos já presentes na ontologia-referência (ou até mesmo novos termos) através de um exame visual de determinados subgrafos extraídos da rede complexa. A abordagem que está sendo implementada é a extração de uma hierarquia, partindo de um nó selecionado na rede complexa. O algoritmo é semelhante ao algoritmo de percurso em largura em grafos (Breadth Traverse), com a diferença de que, quando um nó é visitado (nó “pai”), e os nós que são referenciados diretamente por ele, e ainda não foram visitados, são inseridos na fila de percurso (nós “filhos”), são criadas arestas

entre o pai e todos esses filhos que entraram na fila, formando assim uma árvore na qual a raiz é o nó selecionado para iniciar o percurso em largura.

Atualmente, estão sendo geradas hierarquias com raiz em nós que já estão presentes nos níveis mais altos da ontologia-referência. Como essas hierarquias são enormes, são selecionadas sub-árvores com raiz em algum termo já inserido na ontologia-referência para serem desenhadas e enviadas ao especialista para análise. Por exemplo, pode ser selecionada uma sub-árvore de alguma hierarquia com raiz no termo “nanomachines” para ser comparada (visualmente) com a sub-árvore de mesma raiz já presente na ontologia-referência (exemplo na Figura 5). A sub-árvore extraída da rede complexa pode evidenciar alguma relação entre termos não percebida anteriormente. Essa técnica está em fase final de implementação.

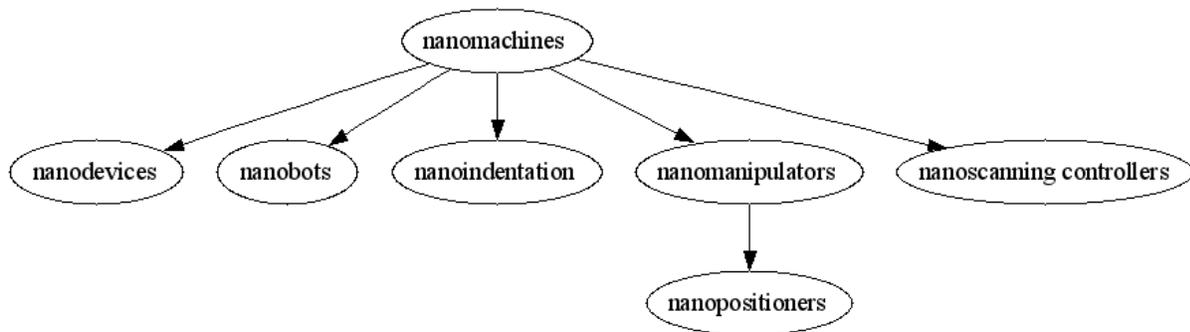


Figura 5 – Sub-árvore construída a partir da ontologia-referência. Todos os nós derivam do termo “Applications”.

No total, foram criadas 5 abordagens para extração automática de terminologias, baseadas em hubs e no coeficiente de aglomeração. O número de termos obtidos por cada método está presente na

Tabela 6. Foi realizada uma comparação entre as listas baseadas nos hubs de entrada e nos de saída, pois se suspeitava que seriam muito parecidas, devido ao próprio método de construção da rede. A Tabela 7 mostra o número de termos coincidentes entre as listas de hubs de entrada e de saída com pesos, e entre as listas de hubs de entrada e de saída. Quando os tamanhos das listas comparadas são diferentes, a maior lista é diminuída (os hubs de menor grau são excluídos) para que fique com o mesmo tamanho da menor. Foi possível perceber que não há diferença significativa quanto à direção das arestas e, portanto, somente os hubs de entrada foram considerados no restante da análise.

Tabela 6 – Total de termos extraídos por cada método criado

Método de EAT	Número de Termos Obtidos
Hubs de entrada com pesos	2.585
Hubs de saída com pesos	2.584
Hubs de entrada	3.387
Hubs de saída	3.362
Coefficiente de aglomeração	3.437

Tabela 7 – Similaridade entre os hubs de entrada e de saída

Métodos Comparados	Interseção
Hubs de entrada com pesos	99,65%
Hubs de saída com pesos	
Hubs de entrada	90,80%
Hubs de saída	

A Modelagem 2 apresenta multipalavras provenientes da ontologia e que foram unidas na rede durante a fase de pré-processamento do cópulus. Essas multipalavras não devem ser consideradas como termos extraídos da rede, pois sua identificação foi realizada antes da construção da mesma. Elas foram então removidas das listas de hubs de entrada com pesos, de hubs de entrada e de coeficiente de aglomeração, restando apenas unigramas. Adicionalmente, os métodos para EAT da rede complexa teriam que ser comparados com outras duas técnicas, as quais utilizam uma stoplist para excluir termos que não têm chance de aparecer na ontologia da área de nanotecnologia, como “Abstract”, “Introduction” e “Conclusion”. Essa stoplist também foi aplicada nas três listas de termos obtidas da rede, resultando em outras listas cujos tamanhos podem ser consultados na

Tabela 8.

Tabela 8 – Número de termos extraídos (unigramas) por cada método criado, após a remoção de multipalavras e a aplicação da stoplist utilizada pelos métodos da Erro! A origem da referência não foi encontrada.²³

Método de EAT	Número de Termos Obtidos
Hubs de entrada com pesos	2.351
Hubs de entrada	3.108
Coefficiente de aglomeração	3.392

Os métodos baseados em hubs apresentaram grande semelhança com o método estatístico por frequência (mais de 90% de similaridade) (Seção 2.3.4.1.1), mas tiveram bem menos termos coincidentes com o método estatístico log odd ratio (em torno de 30%) (Seção 2.3.4.1.1 e 2.3.4.1.3). O que realmente chamou a atenção foi a comparação entre o método baseado no coeficiente de aglomeração e os métodos estatísticos, pois menos de 1% das listas coincidiram. Outra comparação foi realizada, agora com os unigramas já presentes na ontologia-referência e que podem ser encontrados no corpus (um unigrama da ontologia-referência que não está no corpus não pode ser extraído por método algum de EAT). As medidas utilizadas foram a precisão e a revocação. Na

Tabela 9 estão contidas a precisão e a revocação para todos os métodos aqui citados. A lista de hubs de entrada com pesos foi a que obteve maior precisão (19,94%), e o método estatístico por frequência foi o que apresentou maior revocação (69,06%). Os métodos baseados em hubs apresentaram valores semelhantes para a precisão e a revocação, e a diferença entre eles (19,94% e 17,43% para precisão, e 39,74% e 45,93% para revocação) pode também ter sido resultado do número de unigramas extraídos pelos dois métodos (2351 e 3108 termos). Adicionalmente, os métodos estatísticos também apresentaram valores semelhantes para precisão (10,66% e 8,86%),

²³ Os hubs de saída foram desconsiderados por serem muito semelhantes aos de entrada.

mas na revocação o estatístico por frequência apresentou um valor um pouco maior (69,06% contra 54,83%).

Tabela 9 – Comparação entre os métodos de EAT e os unigramas já presentes na ontologia-referência. Só foram utilizados os unigramas da ontologia-referência que podem ser encontrados no corpus (1180 termos no total)

Método de EAT	Unigramas Extraídos	Precisão	Revocação
Hubs de entrada com pesos	2351	19,94%	39,74%
Hubs de entrada	3108	17,43%	45,93%
Coefficiente de aglomeração	3392	0,79%	2,28%
Estatístico (frequência)	7645	10,66%	69,06%
Estatístico (log odd ratio)	7297	8,86%	54,83%

Novamente, o método baseado no coeficiente de aglomeração foi o que demonstrou maior desigualdade em relação aos outros métodos. Sua precisão e revocação foram baixíssimas, o que pode ser positivo se um número significativo de termos ainda não presentes na ontologia-referência forem retornados por essa técnica. A lista de unigramas baseados no coeficiente de aglomeração está sendo analisada pelo especialista em nanotecnologia integrante da equipe do projeto, para que a utilidade desse método possa ser atestada.

Os métodos baseados em hubs apresentaram desempenho inferior quando comparados com o método baseline (estatístico por frequência). Embora esses métodos tenham apresentado os maiores valores para a precisão, as respectivas revocações são muito mais baixas do que a revocação do método baseline, o que significa que o método estatístico por frequência recupera uma quantidade maior de termos dentro do número total possível. É importante lembrar que essas medidas são fruto da comparação dos métodos com a ontologia-referência, ainda incompleta e em desenvolvimento. Para tentar melhorar o desempenho desses métodos inspirados nas redes

complexas, uma alternativa observar como a precisão e a revocação se comporta à medida que os valores de corte das listas forem alterados.

2.3.6 Interface Web de busca e visualização hiperbólica

Diversas linguagens, técnicas e ferramentas têm sido propostas para a organização do conhecimento e sua visualização na Web. Alguns padrões já começam a ser estabelecidos, tais como XML e RDF (W3C, 2005, Ceri et. al., 2000). Tais propostas tentam estabelecer o uso de metáforas visuais para representar o conhecimento, bem como os o estudo de mecanismos de análise e reconhecimento de suas relações. As interfaces dos sistemas de visualização também são objetos de estudo e procuram dar soluções viáveis para o reconhecimento e manipulação de informações que, por sua vez, podem ser utilizadas por uma comunidade leiga e diversificada, que possui diferentes níveis de educação, capacidades e necessidades.

Nesse contexto, algumas ontologias estão sendo desenvolvidas para estabelecer um consenso sobre o significado de conceitos e termos específicos de diversos domínios do conhecimento (Venâncio et. al., 2003). Uma ontologia que relaciona hierarquicamente os conceitos e objetos relativos a um determinado domínio permite localizar um objeto (deste domínio) numa base de conhecimento, de forma que um usuário pode se referir a este de maneira inequívoca. Dessa maneira, o uso da ontologia evita a ambigüidade, pois uma visão específica da ontologia ajuda o usuário a entender o significado dos conceitos e termos apresentados e o contexto em que se inserem.

Há hoje vários editores de ontologias, que além de sua edição permitem sua visualização. Alguns bons exemplos desses editores são: Protégé 2001 (Noy et. al., 2002), o OntoEdit citado por (Staab and Maedche, 2001), o Inxight StarTree (Inxight, 2005), o TreeBolic Generator²⁴ e o HyperEditor²⁵. Uma característica comum entre eles é que são aplicações stand-alone que executam fora do ambiente Web, impedindo sua utilização por vários usuários ao mesmo tempo. Entretanto, apesar dessa característica, os editores StarTree, TreeBolic Generator e HyperEditor foram construídos em Java e portanto sua migração para o ambiente Web, na forma de Applets, pode ser possível.

Os dois primeiros editores citados acima são ferramentas que implementam a visualização de ontologias na forma *folder-tree*, aqui chamado de visualização arbórea, (como o padrão para

²⁴ Disponível para download em: <http://treebolic.sourceforge.net/en/home.htm>

²⁵ Atualmente, o HyperEditor é desenvolvido e distribuído pela Embrapa Informática Agropecuária (www.cnptia.embrapa.br).

controle de árvore do Windows). Nesse tipo de visualização, quando um nó é selecionado na árvore à esquerda, seu conteúdo é apresentado à direita da seleção, e assim sucessivamente até o último nível da árvore (nó folha). Nesse caso, quando a estrutura da ontologia possui vários níveis de abstração, a visualização fica prejudicada.

De outra forma, os editores StarTree, TreeBolic Generator e HyperEditor, apresentam a visualização da ontologia na forma de árvore hiperbólica (Hyperbolic Tree) (Lamping et. al., 1995). Segundo Freitas et al. (2001), esta visualização representa hierarquias através de um layout radial disposto em um plano hiperbólico mapeado para um plano de duas dimensões (2D). Além disso, apresenta aspectos de construção - como o efeito *fisheye* (Furnas, 1986) - aliados a mecanismo simples de navegação pela indicação de um nó de interesse, que é exibido no centro da representação em detalhe, cujo contexto é mantido pela exibição do restante da estrutura da ontologia com nós diminuindo de tamanho até serem suprimidos na borda do círculo radial. A abordagem do plano hiperbólico pode manipular uma estrutura em árvore usando o conceito de foco e contexto. Ou seja, o plano hiperbólico permite o usuário navegar através dos nós e visualizar a relação da porção visível do plano com a estrutura inteira sobre uma única tela (Hao et. al., 1999). Com isso, amplia-se o grau de cognição humana sobre determinado assunto.

O efeito *fisheye* (também chamado de "olho-de-peixe", ou visão detalhada) fornece um esquema que, em geral, é suficiente para lidar com a navegação e orientação de grandes redes de informação. Na movimentação dessa interface, os nós da ontologia aumentam e diminuem de tamanho, saindo e entrando em foco, demonstrando grande flexibilidade e agilidade na tela. Inicialmente, na visualização da ontologia, o nó raiz tem o foco principal enquanto que os outros nós apresentam-se deformados ou semi-ocultos em detrimento da parte focalizada, podendo, entretanto, ser expandidos quando o usuário arrastar os nós com o mouse ou, ainda, por meio de pesquisa direta pelo nó.

Na visualização hiperbólica, o efeito *fisheye* é obtido através do cálculo do tamanho dos nós folhas e da distância do centro do nó focalizado. Os nós mais distantes dos focos são menos detalhados que os nós mais próximos. Daí a razão da visão detalhada. A expansão e poda dos nós na estrutura são operações que mantêm sempre uma sub-árvore visível, reduzindo no usuário a sensação de perda de contexto. Assim, as árvores hiperbólicas são uma representação dinâmica da estrutura hierárquica de uma ontologia, e representa uma maneira eficiente de exibir árvores complexas com exatidão. Um dos conceitos que permeiam esse tipo de representação é o nível

variável de detalhes, cujos objetos em que o usuário está interessado são exibidos com todos os detalhes centralizados na tela, enquanto os demais objetos são colocados ao lado, com detalhes reduzidos. De acordo com estudo realizado pelo Xerox Palo Alto Research Center, citado por Inxight (2005), a técnica árvore hiperbólica para navegação e visualização de coleções de informação hierárquica muito grandes mostrou ser 62% melhor para navegação que o padrão *folder-tree*.

Nesse contexto, o presente trabalho visa a apresentar o desenvolvimento do OntoEditor, uma ferramenta para edição de ontologias via Internet, que implementa, tanto a visualização arbórea (*folder-tree*) quando a visualização hiperbólica (Hyperbolic Tree). Construído sobre várias tecnologias de desenvolvimento Web, como por exemplo, Navegador da Árvore Hiperbólica²⁶, Applets Java, JavaScript e PHP em conjunto com banco de dados MySQL, as principais contribuições deste trabalho são: 1) um visualizador de ontologias cuja interface combina a flexibilidade de uma árvore hiperbólica, 2) a capacidade de converter a estrutura de uma ontologia no formato texto em estruturas de visualização (arbórea e hiperbólica) a partir de uma operação de *upload* e 3) a flexibilidade de estar acessível via Internet para o público geral e especializado, possibilitando qualquer usuário criar e visualizar suas ontologias a qualquer tempo.

A seção seguinte deste relatório especifica todas as características técnicas do editor de ontologia. O ambiente de trabalho, as funções implementadas, os formatos de arquivos, as tecnologias utilizadas e o modelo de dados adotados serão apresentados. Na Seção 2.3.6.5 as conclusões e os melhoramentos esperados nas futuras versões desta ferramenta serão delineados.

2.3.6.1 – O Ambiente de Trabalho do OntoEditor

Todas as funcionalidades do ambiente de trabalho do OntoEditor baseiam-se no paradigma de navegação da web. Os elementos de formulário e de navegabilidade são utilizados para formar um ambiente de trabalho já conhecido pelos usuários da Internet. Conforme pode ser visto na Figura 6, a área de trabalho do OntoEditor é dividida em três partes (representado por três frames). A primeira parte, superior, identificada pelo número 1 na Figura 6, representa o menu de opções do Editor. A ação inerente a cada opção deste menu é aberta na segunda parte, identificada pelo número 2 na Figura 6, cuja área esta disponível para o usuário executar suas

²⁶ O Navegador da Árvore Hiperbólica utilizado neste relatório foi desenvolvido pela Embrapa Informática Agropecuária e esta disponível na rede AgroLivre (<http://www.agrolivre.gov.br/>) para download.

tarefas: de abertura, seleção, exclusão e criação de ontologias. A terceira e última parte, identificada pelo número 3, somente é utilizada nas opções Abrir Ontologia, Excluir Ontologia e Visualizar Ontologia. Essa parte é usada para mostrar a estrutura arbórea (como uma estrutura de pastas) de uma ontologia, servindo também para seleção dos nós da ontologia nas atividades de edição.

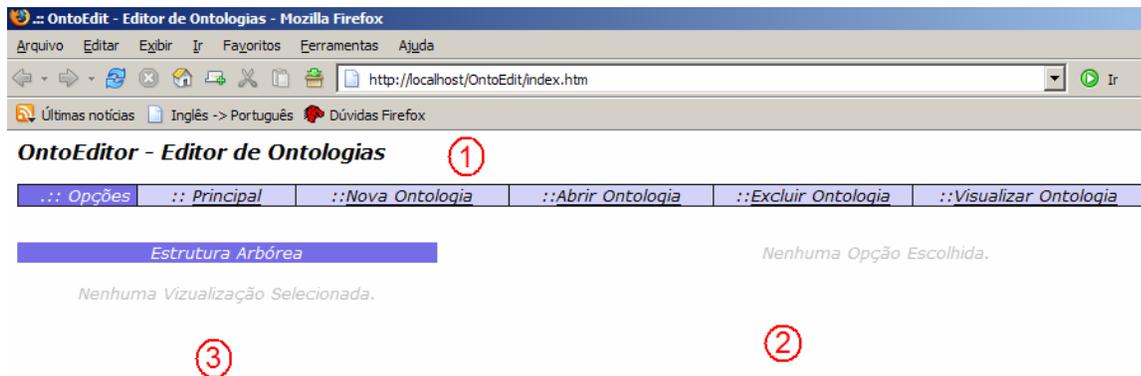


Figura 6 – Área de trabalho do OntoEditor

Uma das grandes vantagens do OntoEditor é permitir a criação de ontologias a partir de arquivos texto (com extensão TXT) tabulados, que representam a estrutura em árvore de uma ontologia. A título de exemplificação, utilizaremos uma “ontologia exemplo” para acompanhar todas as fases de criação e edição de uma ontologia. O nome dessa “ontologia exemplo” será EXEMPLO DE ONTOLOGIA e sua estrutura em formato texto está representada na Figura 7. Observe que cada linha do arquivo representa um nó da árvore que traduz uma ontologia, e que a quantidade de tabulações em cada linha representa o nível hierárquico de cada nó na estrutura. Dessa maneira, o nó de nome “ITEM1” é o nível 0, o nó “ITEM11” é o nível 1 e assim sucessivamente. É importante salientar que não há limites para a quantidade e a profundidade dos nós que podem se criados.

```

EXEMPLO DE ONTOLOGIA
ITEM1
    ITEM11
    ITEM12
        ITEM121
        ITEM122
            ITEM1221
        ITEM123
    
```

```
ITEM13
      ITEM131
ITEM14
ITEM2
      ITEM21
      ITEM22
            ITEM221
                    ITEM2211
ITEM3
ITEM4
      ITEM41
```

Figura 7 – Estrutura em formato do texto de uma ontologia (EXEMPLO DE ONTOLOGIA)

Ao longo das seções a seguir todas as tarefas que atualmente podem ser executadas em cada menu serão descritas.

2.3.6.1.1 – Descrição das Funções dos Menus

Como visto na Figura 5, existem 4 diferentes opções no menu, sendo elas: Nova Ontologia, Abrir Ontologia, Excluir Ontologia e Visualizar Ontologia. Cada opção do menu possui telas específicas com campos de preenchimentos ou de seleção, os quais o usuário deve preencher. A subseções desta seção tratam especificamente de cada opção do menu.

2.3.6.1.1.1 – Menu: Nova Ontologia

A opção do menu “Nova Ontologia” possibilita o usuário criar uma nova ontologia. Na versão atual do OntoEditor o usuário pode criar uma ontologia por meio da submissão de arquivo (operação de upload) em formato texto que contém a estrutura da ontologia. Entretanto, nas futuras versões o usuário também poderá montar a estrutura de maneira on-line (interativa) e por meio de uma área de texto (item c, abaixo). Ao clicar em “Nova Ontologia” uma seqüência de campos de preenchimento são oferecidos ao usuário. Conforme pode ser visto na Figura 8, esses campos compreendem em:

- a) **Nome da Ontologia:** é nome que a ontologia a ser criada deve receber. Usando o EXEMPLO DE ONTOLOGIA, esse campo poderia ter a mensagem: “*Exemplo de Ontologia*”;
- b) **Descrição da Ontologia:** compreende uma breve descrição da ontologia. Informações como a área específica a qual é pertencente e o motivo da criação

- podem ser inseridos. No EXEMPLO DE ONTOLOGIA, essa descrição poderia ser: “Essa ontologia explica a criação de uma nova ontologia”;
- c) **Estrutura da Ontologia:** representa uma área de texto onde a estrutura da ontologia pode ser editada. A edição da ontologia nessa área deve obedecer o formato de arquivo definido na Figura 7. Apesar de estar prevista, a versão atual do OntoEditor ainda não implementou essa função.
 - d) **do Arquivo:** essa opção permite o usuário realizar a operação de *upload* de um arquivo texto que contem a estrutura da ontologia a ser criada. Esta opção é uma alternativa ao item *c* (estrutura da ontologia), e sua grande vantagem é a liberdade que o usuário tem de poder editar seu arquivo em qualquer programa editor de texto. Da mesma maneira que a edição da ontologia na área de texto, o arquivo que contém a estrutura da ontologia deve obedecer ao formato mostrado na Figura 7.

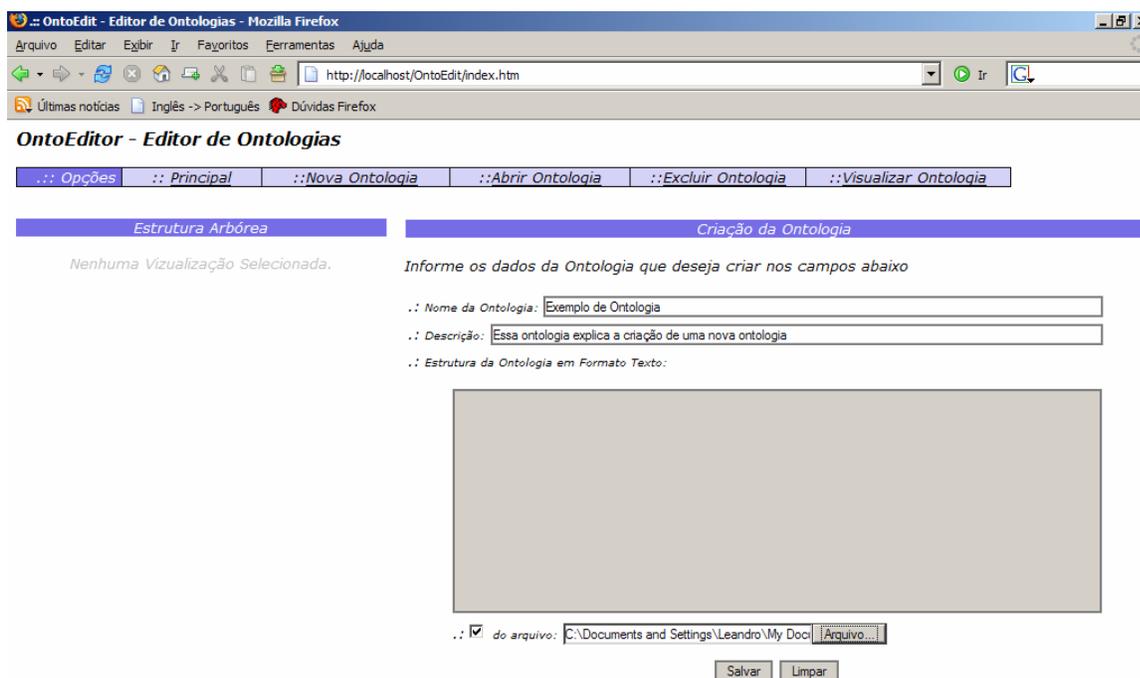


Figura 8 – Campos de preenchimento para a criação de uma nova ontologia

Instanciando a criação de uma nova ontologia no exemplo EXEMPLO DE ONTOLOGIA e uma vez preenchidos os campos necessários, a criação da ontologia ocorre quando o usuário clica no botão Salvar. O processo de criação da ontologia compreende três fases:

Fase 1: Verificação da validade da estrutura em texto da ontologia: compreende a tarefa de verificar se o formato da estrutura do texto da ontologia está de acordo com o padrão definido (Figura 7);

Fase 2: Inclusão da ontologia no banco de dados: compreende o processo de inserir os dados da ontologia no banco de dados. Cada ontologia ganha um número identificador único, de quatro dígitos, criado de maneira aleatória;

Fase 3: Criação dos diretórios e arquivos fontes: compreende o processo de criação do diretório e dos arquivos fontes da ontologia. O nome desse diretório é igual ao número identificador único criado na Fase 2. Os arquivos fontes que são criados nessa fase correspondem àqueles que possibilitam a visualização da ontologia (conforme será descrito na Subseção 2.3.6.4), bem como aqueles de extensão HTML que permitem tal visualização. Os arquivos HTML a que se refere essa fase são criados a partir dos “templates” que estão localizados no diretório do OntoEditor no servidor Web²⁷.

Uma vez criada a ontologia, o restante dos menus passam a ter suas tarefas específicas válidas, dando assim a liberdade ao usuário de selecionar qualquer opção desejada. A Figura 9 mostra a confirmação de criação da ontologia EXEMPLO DE ONTOLOGIA.

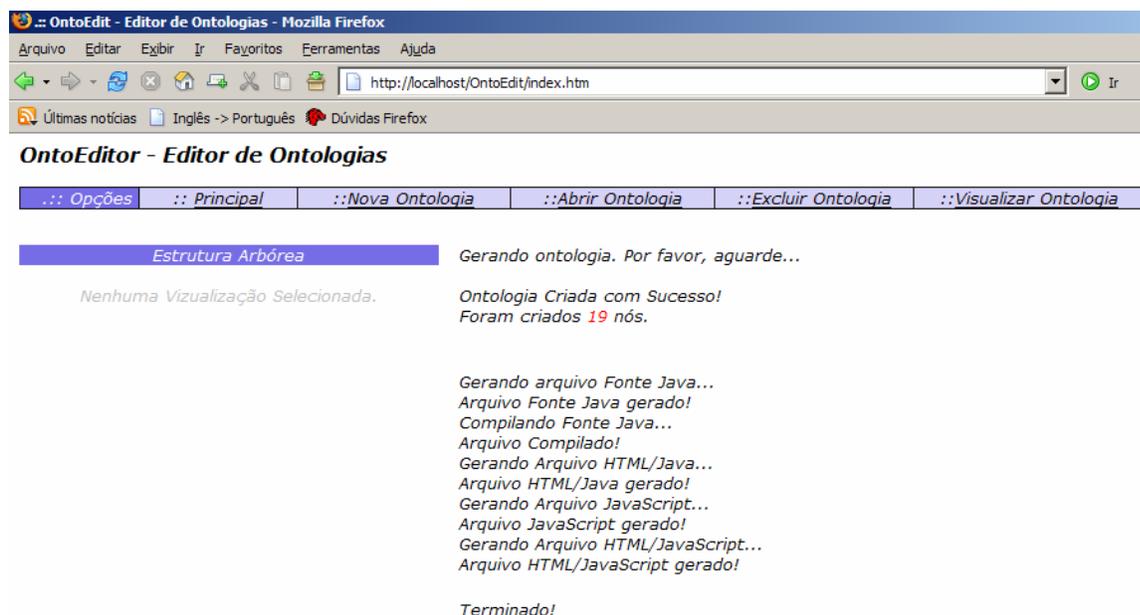


Figura 9 – Interface de confirmação de criação de uma nova ontologia

2.3.6.1.1.2 – Menu: Abrir Ontologia

Uma vez criada uma determinada ontologia, usuário é capaz de abri-la para edição (alteração, inclusão e exclusão dos nós) ou para visualização arbórea na parte 3 do ambiente, conforme mostrado na Figura 6. Como pode ser visto na Figura 10, ao clicar no menu “Abrir Ontologia”, é mostrado ao usuário um campo de seleção para que a ontologia desejada seja

²⁷ Uma descrição completa dos arquivos de codificação do OntoEditor será feita na Seção 2.5.

escolhida. Nesse campo de seleção, aparecem todas as ontologias que foram criadas e armazenadas no banco de dados.

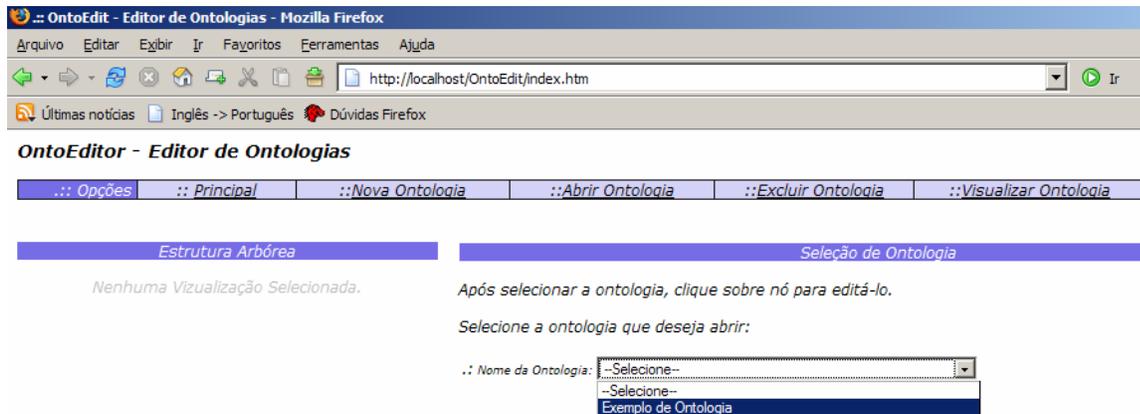


Figura 10– Interface de seleção da ontologia do menu Abrir Ontologia

Tendo escolhido a ontologia, a visualização arbórea da ontologia é automaticamente aberta na parte 3 (lado esquerdo) da área de trabalho. A partir da visualização arbórea o usuário pode navegar pelos nós da ontologia por meio das ações de “abrir” e “fechar” em cada nó clicando no sinal de (+) ou (-). A visualização do EXEMPLO DE ONTOLOGIA pode ser vista na Figura 11.

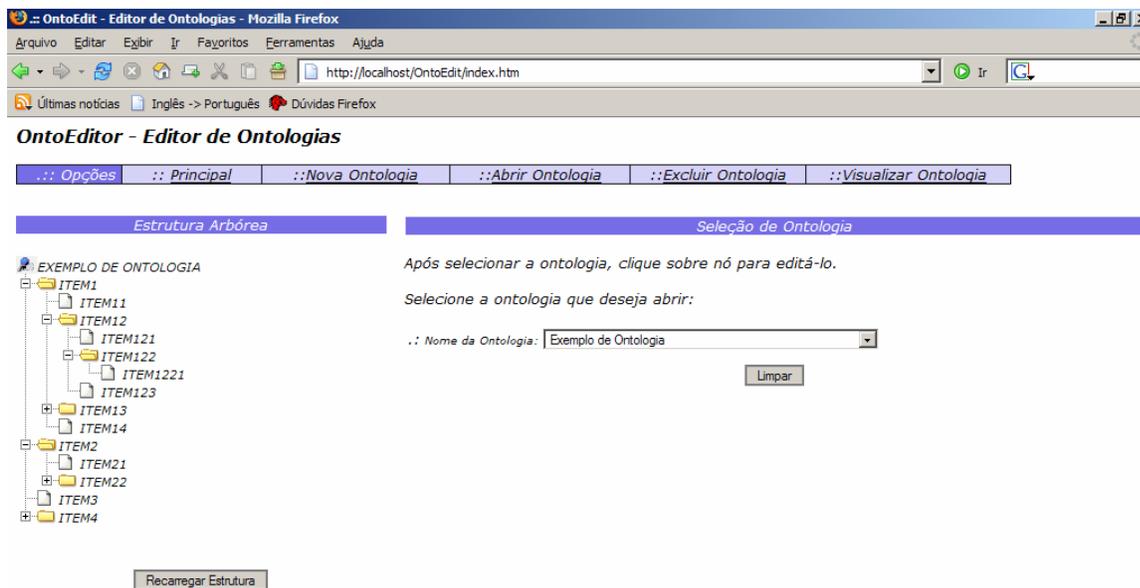


Figura 11– Exemplo de visualização da ontologia do menu Abrir Ontologia para edição de um nó.

Usando esta visualização, o usuário pode editar um determinado nó, bastando para isso selecionar o nó desejado e clicando sobre. Automaticamente, quando o usuário clica sobre um nó, todas as informações sobre ele são mostradas na parte 2 da área de trabalho, juntamente com as opções: 1) Alterar Nó, 2) Excluir Nó e 3) Incluir Novo Nó, conforme pode ser visto na Figura 12. Observe nesta Figura que o nó de nome “ITEM21” foi selecionado e todos os detalhes de seu registro foram mostrados à direita. Observe que existem vários campos referentes ao nó, como a cor do texto, cor do nó, hint e URL. Esses campos referem-se à visualização hiperbólica e serão discutidos mais adiante na Subseção 2.3.6.4.



Figura 12 – Interface que mostra as opções de edição de um determinado nó na ontologia

As opções mostradas na Figura 12 permitem ao usuário editar um determinado nó selecionado, podendo alterar seus dados de registro, excluí-lo, ou inserir um novo nó a partir dele. As interfaces de alteração, exclusão e inclusão de um determinado nó são mostradas nas Figuras 13, 14 e 15, respectivamente. Nestas Figuras, o nó “ITEM21” do EXEMPLO DE ONTOLOGIA foi utilizado para demonstrar tais ações.

Opções de Ação

Alterar Nó
 Excluir Nó
 Inserir Novo Nó

Fechar

Para **alterar**, informe os dados nos campos abaixo e clique em ALTERAR.

Nome do Nó: ITEM21

Cor do Texto: 0xFFFFFFFF

Cor do Nó: 0x29428C

URL:

Hint: Hint

Alterar Cancelar

Figura 13 – Interface de alteração de um nó.

Na interface de alteração da Figura 13, o usuário pode, se desejar, editar os campos: Nome do Nó, URL e Hint. Os campos Cor do Texto e Cor do Nó ainda não estão disponíveis para alteração nesta versão atual. Após o preenchimento dos campos, o usuário deve clicar no botão Alterar para efetuar a tarefa.

Opções de Ação

Alterar Nó
 Excluir Nó
 Inserir Novo Nó

Fechar

O nó que você deseja excluir possui 3 filhos.

Tem certeza que deseja continuar?

Excluir Cancelar

Figura 14 – Interface de exclusão de um nó.

Ao tentar excluir um determinado nó pertencente a uma ontologia, o OntoEditor alerta o usuário sobre a existência de nós filhos do nó que deseja excluir. Isso porque a exclusão de um nó que possui filhos, faz com que automaticamente seus filhos sejam excluídos também. Como pode ser visto na Figura 14, o exemplo do nó “ITEM21” possui 3 filhos. Nesse caso específico,

se o usuário confirmar a exclusão clicando em Excluir, tanto o nó “ITEM21” quanto seus filhos serão excluídos.

The image shows a software interface for adding a new node. At the top, a dialog box titled "Opções de Ação" (Action Options) contains three radio buttons: "Alterar Nó" (Change Node), "Excluir Nó" (Delete Node), and "Inserir Novo Nó" (Insert New Node), with the third option selected. A "Fechar" (Close) button is at the bottom of this dialog. Below it, a text instruction reads: "Preencha os dados nos campos abaixo e clique em INCLUIR." (Fill in the data in the fields below and click INCLUIR). The main form contains several input fields: "Nome do Nó:" (Node Name) with the value "NOVO ITEM"; "Cor do Texto:" (Text Color) with the value "0xFFFFFFFF"; "Cor do Nó:" (Node Color) with the value "0x29428C"; "URL:"; and "Hint:" with the value "Hint do Novo Item". At the bottom of the form are two buttons: "Incluir" (Include) and "Cancelar" (Cancel).

Figura 15 – Interface de inclusão de um novo nó.

Para a inclusão de um novo nó, conforme mostrado na Figura 15, o usuário deve preencher os campos: Novo Nó, URL e Hint e logo em seguida clicar em Incluir. O novo sempre será incluído como filho do nó selecionado. Usando o exemplo da Figura 15, o nó NOVO ITEM será incluído como filho do nó “ITEM21”. Toda e qualquer edição dos nós de uma ontologia, bem como a inclusão, altera a sua estrutura, tornando-se necessário a reedição dos arquivos fontes e de visualização. Assim, com intuito de manter a consistência dos arquivos fontes e as edições do usuário, cada edição realizada na ontologia provoca a execução da Fase 3, descrita na subseção 2.3.6.1.1.1.

2.3.6.1.1.3 – Menu: Excluir Ontologia

A opção excluir ontologia é a tarefa mais simples de executar no ambiente de trabalho do OntoEditor. Uma vez selecionada esta opção, o usuário deve selecionar a ontologia que deseja excluir e logo em seguida clicar em Excluir, como pode ser visto na Figura 16.

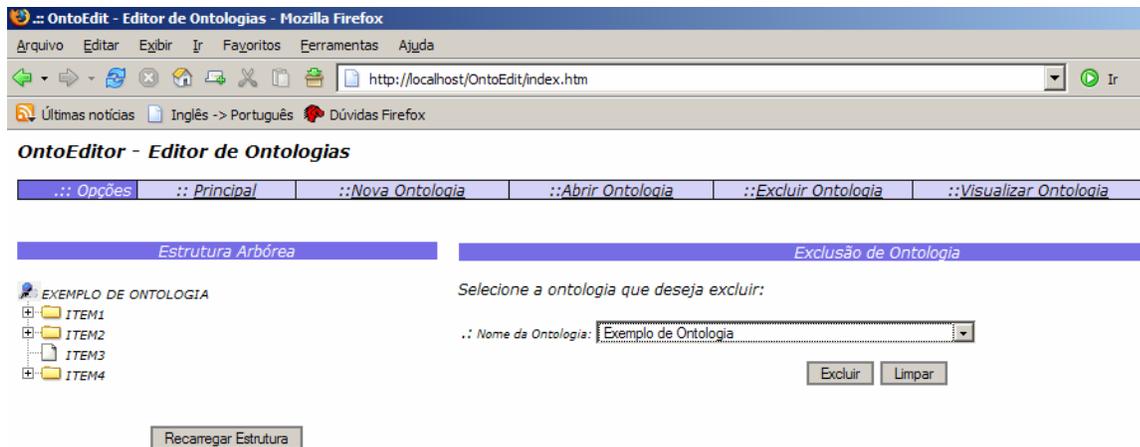


Figura 16 - Interface de seleção da ontologia do menu Excluir Ontologia

No entanto, apesar de simples, essa tarefa é muito perigosa e deve ser feita com cuidado pelo usuário, pois sua ação exclui toda a estrutura da ontologia e seus arquivos fontes, não sendo mais possível acessá-la. Por isso, um mecanismo de confirmação foi criado para evitar exclusões acidentais do usuário. Dessa maneira, após clicar no botão Excluir, uma confirmação, como mostrada na Figura 17, é solicitada.

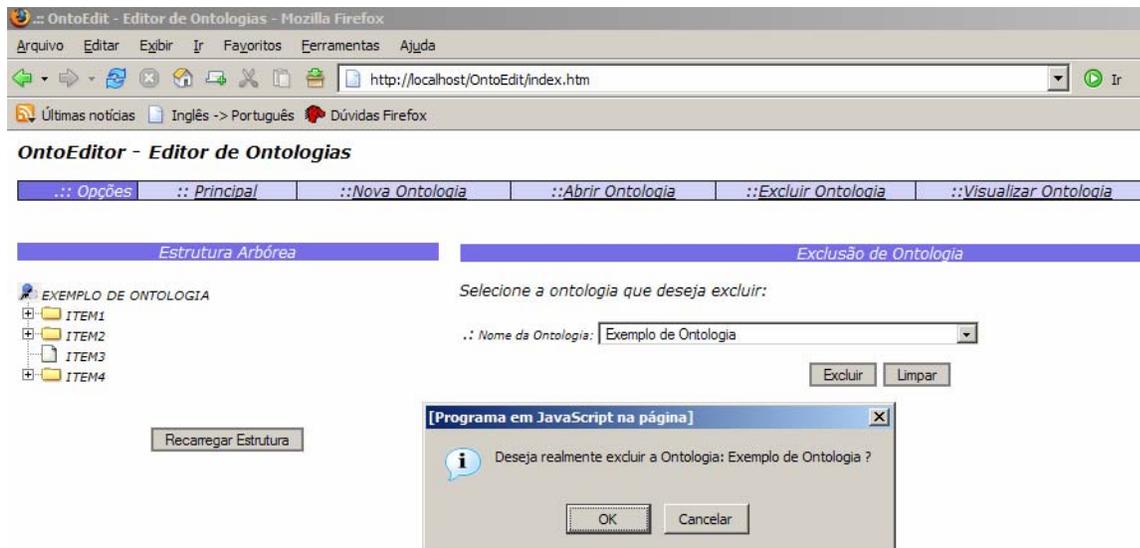


Figura 17 – Tela de confirmação de exclusão de uma determinada ontologia

2.3.6.1.1.4 – Menu: Visualizar Ontologia

Acessando o menu visualizar ontologia, o usuário tem a opção de visualizar uma determinada ontologia, previamente criada, de duas maneiras: 1) a visualização arbórea e 2) a visualização hiperbólica. Uma vez selecionada a ontologia, por meio do campo de seleção

mostrado na Figura 18, o OntoEditor abre automaticamente a visualização arbórea na parte 3 do ambiente de trabalho. Conforme dito anteriormente, essa visualização permite a navegação na estrutura da ontologia através das ações de “abrir” e “fechar” de cada nó, acionadas pelo clique nos ícones (+) ou (-). Para a visualização hiperbólica, o usuário deve, depois de selecionada a ontologia desejada, clicar no botão Visualizar. Ao clicar neste botão, uma nova janela do browser é aberta contendo a estrutura da ontologia em formato hiperbólico para navegação.

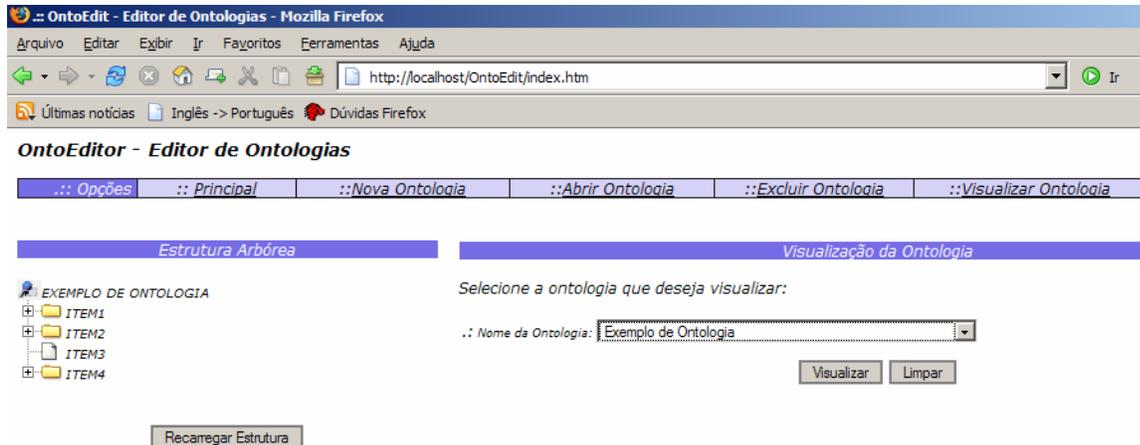


Figura 18 - Interface de seleção da ontologia do menu Visualizar Ontologia

A Visualização Arbórea

A visualização arbórea representa a estrutura hierárquica da ontologia em forma de árvore que se expande da esquerda para a direita. Inicialmente, no momento que uma determinada ontologia é selecionada, sua estrutura é carregada na forma contraída, sem abrir as ramificações. Uma vez carregada a estrutura, o usuário pode abrir ou fechar um determinado ramo (ou nó) da árvore expandindo-a de maneira customizada. Veja na Figura 19 a visualização arbórea do EXEMPLO DE ONTOLOGIA.

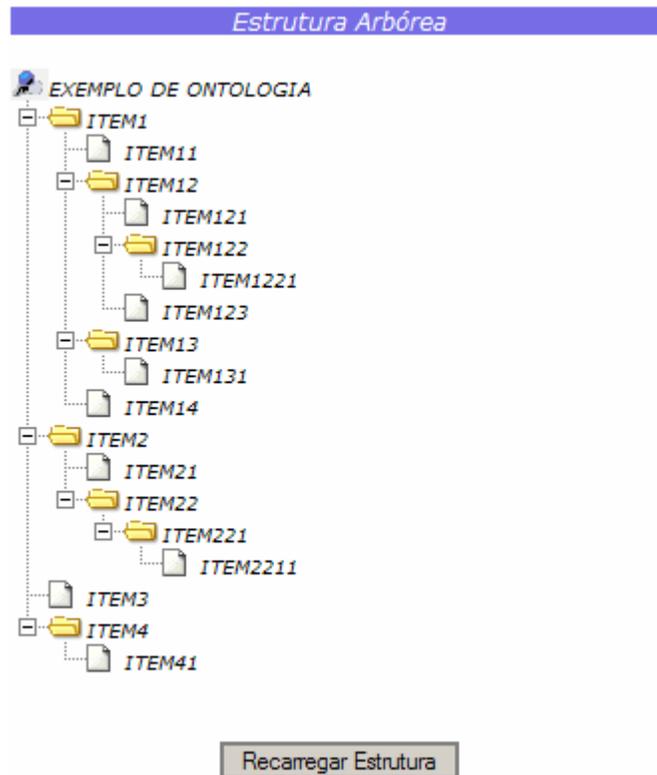


Figura 19 – Visualização arbórea do EXEMPLO DE ONTOLOGIA expandida

A quantidade de ramificações e, conseqüentemente, a quantidade dos nós da árvore que representa a ontologia no OntoEditor é ilimitado, podendo existir quantos níveis forem necessários. Isso é possível porque, internamente, a estrutura de visualização é armazenada em um arquivo (um dos arquivos fontes do OntoEditor) que mantém a relação hierárquica entre os nós da ontologia. A Figura 20 mostra o formato do arquivo fonte da visualização arbórea do EXEMPLO DE ONTOLOGIA. Observe que cada linha do arquivo representa um nó da ontologia, contendo, do lado esquerdo, seu respectivo número identificador.

```

var TREE_ITEMS = [
['<!--2598-->EXEMPLO DE ONTOLOGIA', '',
['<!--2599-->ITEM1', '',
['<!--2600-->ITEM11', ''],
['<!--2601-->ITEM12', '',
['<!--2602-->ITEM121', ''],
['<!--2603-->ITEM122', '',
['<!--2604-->ITEM1221', ''],
],
['<!--2605-->ITEM123', ''],
],
['<!--2606-->ITEM13', '',
['<!--2607-->ITEM131', ''],
],
],

```

```
[ '<!--2608-->ITEM14', '' ],  
],  
[ '<!--2609-->ITEM2', '' ,  
[ '<!--2610-->ITEM21', '' ],  
[ '<!--2611-->ITEM22', '' ,  
[ '<!--2612-->ITEM221', '' ,  
[ '<!--2613-->ITEM2211', '' ],  
],  
],  
],  
[ '<!--2614-->ITEM3', '' ],  
[ '<!--2615-->ITEM4', '' ,  
[ '<!--2616-->ITEM41', '' ],  
],  
],  
];
```

Figura 20 - Formato do arquivo fonte da visualização arbórea do EXEMPLO DE ONTOLOGIA

A Visualização Hiperbólica

A visualização hiperbólica é uma estrutura de visualização de hierarquias baseada na técnica focus+context (foco+contexto). Ela destina maior espaço para o nó que está em foco e mostra o contexto (outros nós ao redor do nó focado) com tamanho progressivamente reduzido à medida que se distancia do foco. O nó focado é sempre a raiz da árvore, ou aquele que o usuário selecionar. Para implementar essa idéia, utiliza-se a geometria hiperbólica. A hierarquia é traçada em um plano hiperbólico e este é mapeado em um círculo. Isso produz o efeito visto na Figura 21, do EXEMPLO DE ONTOLOGIA, dos nós centrais aparecem maiores e os periféricos, menores. O usuário pode alterar o foco clicando em qualquer nó. Quando isso ocorre, o nó clicado é transladado para o centro e todos os outros se rearranjam na periferia.

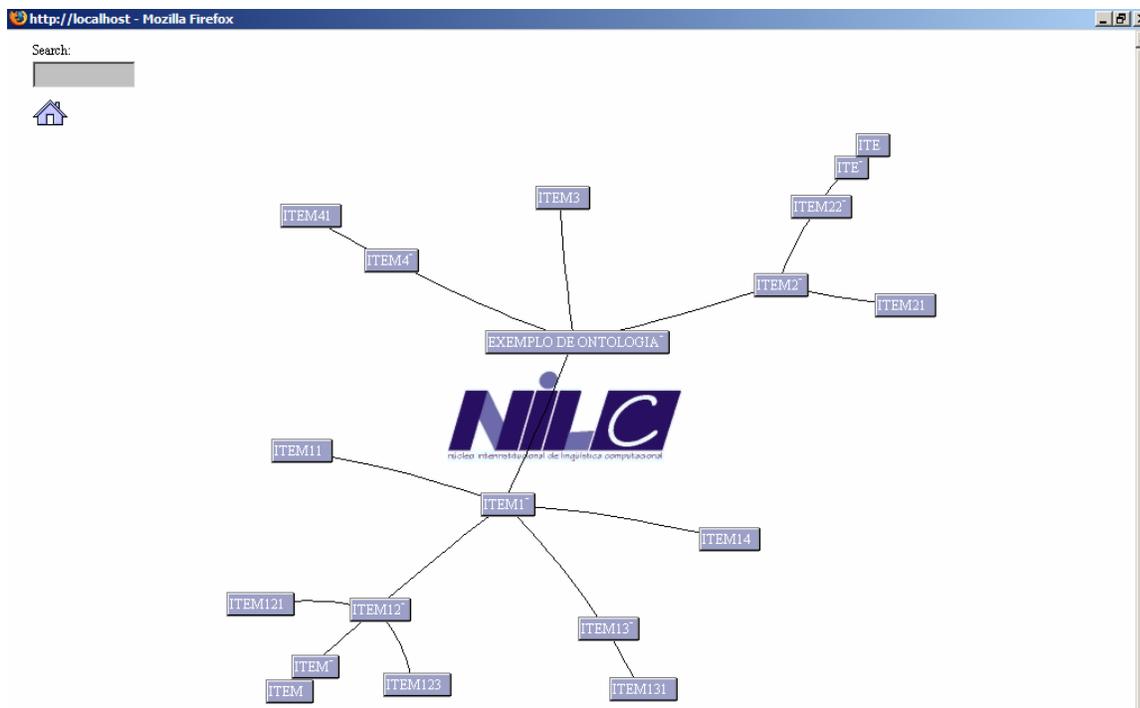


Figura 21– Visualização Hiperbólica do EXEMPLO DE ONTOLOGIA

Apesar de a Figura 21 mostrar o EXEMPLO DE ONTOLOGIA com poucos nós, a visualização hiperbólica é indicada para a visualização de grandes estruturas de ontologia, pois, mesmo com milhares de nós, é possível observar as informações dos nós no entorno do foco. O OntoEditor utiliza um formato de arquivo compilado, com extensão HTZ, que contém a estrutura da ontologia. Cada nó pertencente à ontologia contém, em sua estrutura interna, as seguintes informações: Nome do Nó, URL, que é endereço na Internet que pode acessado quando ocorre o duplo clique do mouse sobre o nó, Hint, que representa um texto “dica” que armazena informações adicionais do nó naquele contexto da ontologia, a Cor do Texto e a Cor do Nó. Na versão atual do OntoEditor, é possível alterar o Nome do Nó, o URL e o Hint. Novas versões pretendem contemplar também as alterações de cores.

A visualização hiperbólica também oferece um serviço de busca textual para localização de nós, que marca o caminho em vermelho desde a raiz até os nós que contêm a expressão de busca e, ainda, marca com uma bolinha vermelha os nós que contêm a expressão. O resultado da função de busca para o nó “ITEM21” pode ser visto na Figura 22.

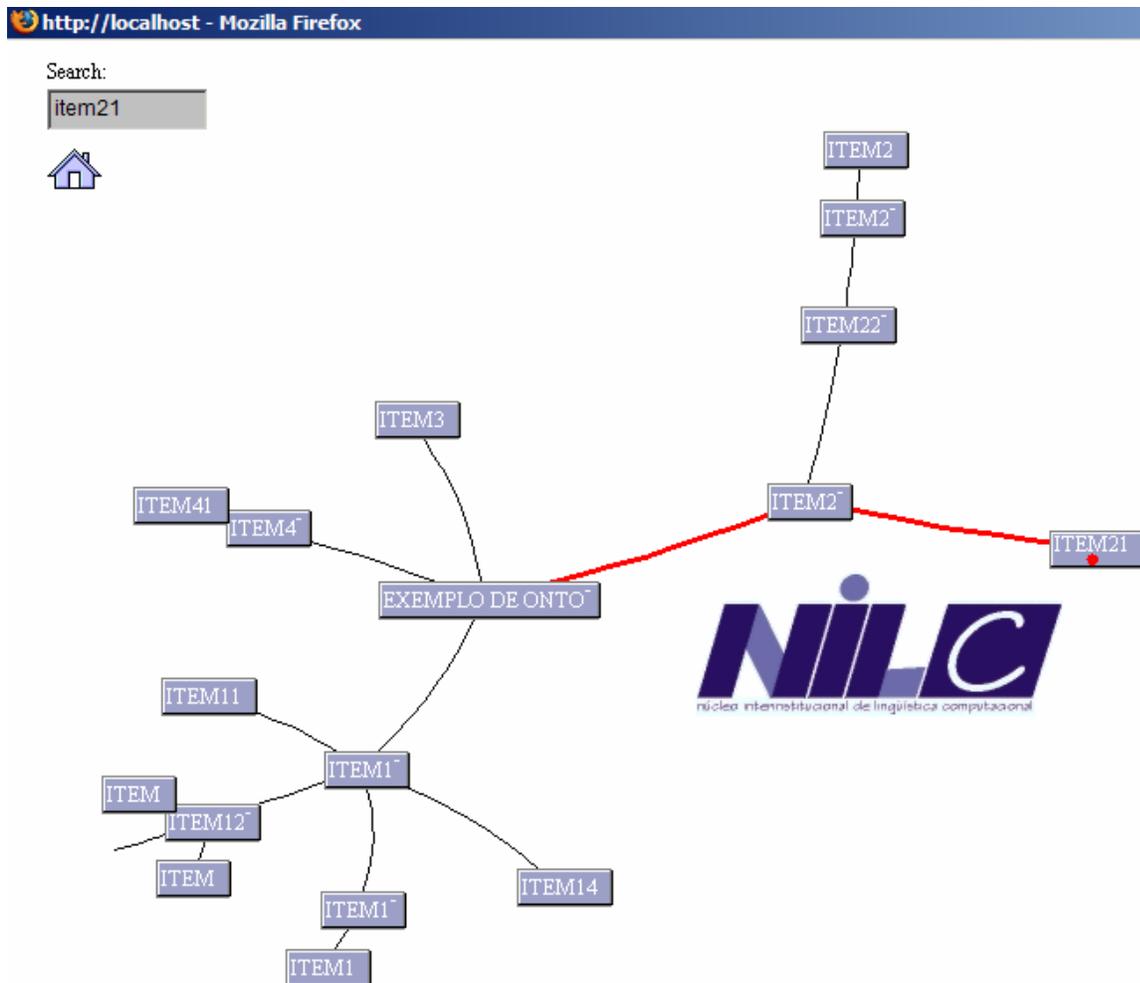


Figura 22 – Resultado da busca pelo ITEM21 na visualização hiperbólica

2.3.6.2 – Recursos e Padrões Utilizados

Devido à característica de aplicação Web do OntoEditor, vários recursos de desenvolvimento deste tipo de aplicação foram utilizados. Tais recursos são: 1) banco de dados relacional (MySQL), 2) servidor web (Apache), 3) linguagem de hipertexto (HTML), 4) padrão de estilos em HTML (CSS – Cascade Style Sheet) e 4) três linguagens de programação, sendo uma delas voltada para lado servidor (PHP) e duas voltadas para o lado cliente (JavaScript e Applets Java). Todos esses recursos foram integrados de forma transparente ao usuário, visto que não há uma delimitação clara das fronteiras entre uma e outra. Por outro lado, para o um programador, técnico ou analista, essa fronteira é visível, tornando a manutenção mais do OntoEditor mais fácil.

Entretanto, com intuito de dividir os recursos entre cliente e servidor, respeitando o modo de como a Internet trabalha, podemos dividir e agrupar esses recursos da seguinte forma:

- a) **Grupo de recursos do lado *Servidor*:** Servidor Web (Apache), Banco de Dados (MySQL) e Linguagem PHP;
- b) **Grupo de recursos do lado *Cliente*:** páginas HTML em conjunto com o CSS, JavaScript e Applets Java.

2.3.6.3 – O Modelo de Dados

Além de armazenar os dados referentes às ontologias, o banco de dados (MySQL) utilizado na implementação do OntoEditor suporta e gerencia as tarefas de edição, conforme descritas na Seção 2.3.6.1, que os usuários executam.

Apenas duas tabelas compõem o modelo de dados: a tabela ontologia e a tabela no. A tabela ontologia armazena as informações genéricas de uma ontologia qualquer, como seu nome, a descrição e seu identificador (representado pelo atributo id). A tabela no armazena a estrutura de determinada ontologia e representa todos os nós (e suas relações de pai-filho) que a pertencem. Todos os dados que identificam e caracterizam um determinado nó pertencente a uma ontologia são armazenados nessa tabela. O Anexo 1 apresenta o modelo físico, e as Tabela 10 e 11 abaixo mostram o modelo conceitual dessas tabelas.

Tabela 10 – Modelo Conceitual da Tabela Ontologia

Tabela Ontologia	
Atributo	Tipo
Id	numerico (5)
nome	string (20)
descricao	string (255)

Tabela 11 – Modelo Conceitual da Tabela No

Tabela No	
Atributo	Tipo
Id	numerico (10)
no_id_pai	numerico (10)
ontologia_id	numerico (5)
nome	string (255)
cortexto	string (20)
corno	string (20)
url	string (255)

Hint	string (255)
------	--------------

Conforme pode ser observado no modelo conceitual, as tabelas ontologia e no possuem um relacionamento com granularidade 1 para n por meio do atributo id da tabela ontologia, cujo nome é alterado para ontologia_id na tabela no. Este relacionamento representa o mapeamento lógico da realidade onde uma determinada ontologia possui um ou vários nós. Além disso, esse relacionamento é importante pois permite separar logicamente as informações referentes à ontologia das informações referentes aos nós, evitando assim a duplicação dos atributos nome e descrição.

Por sua vez, a tabela no também possui um auto-relacionamento. O auto-relacionamento é utilizado quando os dados uma determinada tabela possuem relação lógica com outros dados que possuem o mesmo comportamento e que são armazenados na mesma tabela. Para este caso específico, o auto-relacionamento foi utilizado para expressar a relação lógica e estrutural (modelo “pai-filho”) existente entre os nós de uma ontologia. Apresentando granularidade 1 para n, esse auto-relacionamento permite a implementação da relação de dependência hierárquica que um determinado nó tem com o outro, podendo representar a possibilidade de um determinado nó possuir n filhos, independentemente da quantidade e dentro de uma mesma tabela.

O Modelo Entidade-Relacionamento (MER) das tabelas ontologia e no pode ser vista na Figura 23 abaixo.

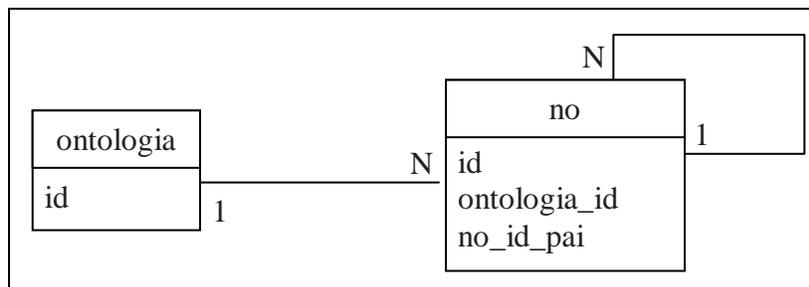


Figura 23 – Modelo de Entidade-Relacionamento

As tabelas implementadas no MySQL são do tipo InnoDB. Este tipo de tabela suporta as restrições de integridade dos relacionamentos definidos nas tarefas de inserção (insert), exclusão (delete) e atualização (update). As restrições de integridade do banco de dados servem para assegurar que as regras dos relacionamentos estabelecidos entre as tabelas sejam mantidas durante as manipulações dos dados.

2.3.6.4 – Conjunto de Arquivos

Considerando todos os recursos utilizados na implementação do OntoEditor, e, conseqüentemente, suas diferentes extensões, a Tabela 12 mostra os arquivos que fazem parte de sua codificação, o seu tipo e sua função.

Tabela 12 – Lista de Arquivos do Código-Fonte do OntoEditor

Nome do Arquivo	Tipo de Arquivo	Conteúdo/Função
abre.php	PHP	Arquivo que abre uma determinada ontologia para edição.
ajuda.htm	HTML	Arquivo que contém o conteúdo de ajuda da ferramenta.
altera.php	PHP	Arquivo que executa as alterações no(s) nó(s) de uma determinada ontologia.
cria.htm	HTML	Arquivo HTML que mostra as opções de criação de ontologias.
cria.php	PHP	Arquivo que cria uma determinada ontologia. A criação compreende não inclusão no banco de dados e criação de arquivos para visualização.
edita.php	PHP	Arquivo que oferece as opções de edição de um determinado nó de uma ontologia.
exclui.php	PHP	Arquivo que oferece a seleção de uma determinada ontologia para exclusão.
excluino.php	PHP	Arquivo que faz a exclusão de determinado nó de uma ontologia.
fazexclusao.php	PHP	Arquivo que exclui um determinado nó de uma ontologia.
Funções.php	PHP	Arquivo que contém todas as funções que são utilizadas pelos arquivos PHP. Funciona como uma “library”.
incluino.php	PHP	Arquivo que executa a inclusão de um novo nó em uma ontologia. As informações do Novo Nó devem ser informadas através do arquivo edita.php.
index.htm	HTML	Arquivo HTML principal (main) da ferramenta OntoEditor.
inicializa.inc	ARQUIVO DE INICIALIZAÇÃO DE VARIÁVEIS	Arquivo que contém as variáveis e inicializações que são usadas pelos arquivos PHP.
Javahtm_template.txt	TEXTOS	Arquivo de template que representa o arquivo de visualização do AppetJava.
jshtm_template.txt	TEXTOS	Arquivo de template que representa o

		arquivo de visualização do JavaScript.
linear.htm	HTML	Arquivo HTML que apresenta a visualização linear (JavaScript) vazio.
menu.htm	HTML	Arquivo HTML que apresenta o Menu da aplicação do OntoEditor.
nenhuma.htm	HTML	Arquivo HTML que é mostrado quando nenhuma opção do menu (menu.htm) é selecionado.
vizualiza.php	PHP	Arquivo que oferece a seleção de uma determinada ontologia para visualização.
hypertreeN.jar	JavaApplet	Arquivo fonte do AppletJava que permite a visualização hiperbólica.
hypertreeE.jar	JavaApplet	Arquivo fonte do AppletJava que permite a visualização hiperbólica.
tree.js	JavaScript	Arquivo fonte do JavaScript que permite a visualização arbórea.
tree_tpl.js	JavaScript	Arquivo fonte do JavaScript que permite a visualização arbórea.
.htz	HTZ (compilado Java)	Arquivo compilado que contem a estrutura de visualização hiperbólica de uma determinada ontologia. O “” representa o numero identificador da ontologia.
.js	JavaScript	Arquivo fonte em JavaScript que contem a estrutura de navegação arbórea. O “” representa o numero identificador da ontologia.
.html	HTML	Arquivo HTML que acopla os códigos das visualizações arbórea e hiperbólica para apresentação no browser. O “” representa o numero identificador da ontologia.

Para um melhor entendimento do funcionamento da execução do OntoEditor, a Figura 24 mostra o Diagrama Chama/Chamado do conjunto de arquivos que fazem parte da codificação. O arquivo que inicia a execução do OntoEditor é o index.htm.

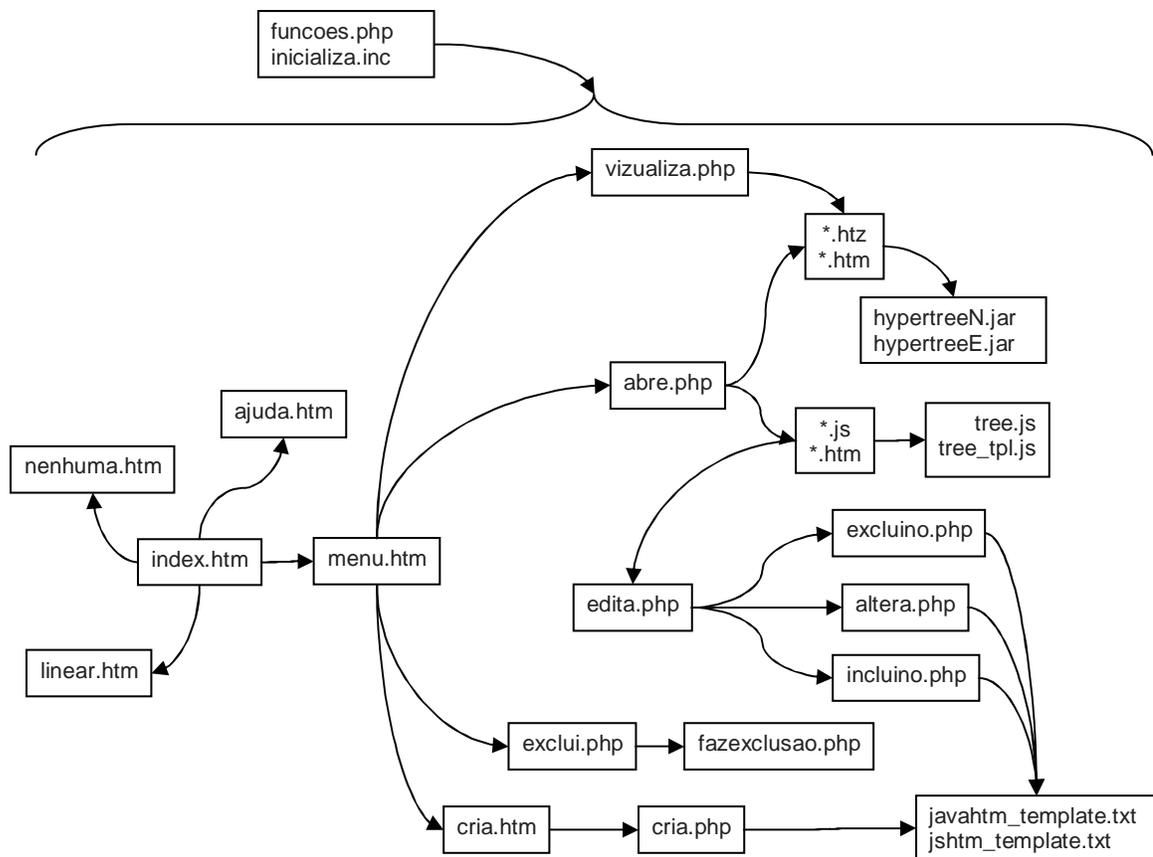


Figura 24 – Diagrama Chama/Chamado dos arquivos de codificação

2.3.6.5 – Conclusão e Melhoramentos

Como a principal motivação do OntoEditor foi a criação de um editor de ontologias para o ambiente Web, sua implementação exigiu um estudo da viabilidade e uso conjunto de diversas tecnologias de desenvolvimento Web, que juntos pudessem trabalhar de maneira transparente e útil para o usuário. Contudo, o ajuste fino da junção dessas tecnologias não foi realizado, de maneira que a tarefa específica da edição de ontologias ficou limitada. Isso porque sabemos que ainda existem diversas atividades pertencentes ao processo de edição de ontologias que o OntoEditor não contempla, e que, outras ferramentas e/ou software de mesmo propósito, como: Protégé, Inxight StarTree, HyperEditor e TreeBolic Generator já fornecem. A única diferença, porém, é que tais ferramentas trabalham fora do ambiente Web, sendo na maioria das vezes programas stand-alone que não suportam a criação compartilhada e paralela de ontologias via Internet. Entretanto, uma possível solução, de caminho mais curto, seria a adaptação de algum software já existente, e de comprovada qualidade, para o ambiente Web. Alguns exemplos como

o TreeBolic Generator e HyperEditor são construídos sobre a plataforma Java e podem, dependendo da implementação, ser adaptados para o ambiente Web como Applets.

Por outro lado, como primeira versão, salientamos que as principais vantagens do OntoEditor são: 1) a possibilidade de visualizar a estrutura de uma ontologia no formato de árvore hiperbólica, 2) a capacidade de converter a estrutura de uma ontologia a partir de um formato texto (TXT) em estruturas de visualização (arbórea e hiperbólica) a partir de uma operação de upload, e 3) a flexibilidade de estar acessível via Internet para o público geral e especializado, possibilitando qualquer usuário criar e visualizar suas ontologias a qualquer tempo.

Contudo, ocorre a nítida impressão que o OntoEditor deverá passar por uma fase de maturação, até alcançar os níveis profissionais e de atendimento às necessidades dos usuários.

Assim, entendemos que apesar das tarefas de edição estarem aquém do que poderão vir a ser, acreditamos que o OntoEditor é uma valiosa ferramenta Web de visualização de ontologias, principalmente para estruturas hiperbólicas. Dessa forma, reconhecidas as limitações e vantagens, sugerimos os seguintes melhoramentos para as próximas versões:

- 1) Inverter na área de trabalho as posições das partes 3 e 2, de maneira que a visualização arbórea das ontologias fique do lado direito da interface, tendo, portanto, mais espaço à direita para a navegação;
- 2) Implementar o controle de versões de uma mesma ontologia, de maneira que o acompanhamento das versões e/ou estágios de desenvolvimento de uma ontologia possam ser identificados;
- 3) Na visualização hiperbólica:
 - a. implementar a mudança de cores dos nós filhos de um determinado nó pai quando este último for selecionado;
 - b. permitir a visualização em níveis, *top-down*, com alinhamento horizontal dos nós filhos;
- 4) Permitir a escolha de cores, por meio da paleta de cores, dos nós, no momento de sua criação;
- 5) Implementar um item de *Check Box* ao lado de cada nó da estrutura visualização arbórea para o caso de verificação e/ou validação de uma determinada ontologia;
- 6) Incluir as opções de edição de um nó (Alterar, Excluir e Incluir) como função do botão direito do *mouse*.

2.4 Resultados Obtidos

O objetivo principal do Projeto foi prover uma ontologia para a área de Nanociência e Nanotecnologia, algo que foi alcançado numa primeira versão, que aparece no Apêndice 1.

Chamamos de primeira versão porque esta ontologia precisará ser refinada a partir do “feedback” de especialistas do domínio. A ontologia é representada também em uma interface, que é o segundo produto do Projeto. Como subprodutos podemos mencionar as ferramentas computacionais desenvolvidas para a manipulação do córpis, o próprio córpis e os trabalhos acadêmicos baseados na extração automática de termos e em redes complexas. Foram, portanto, importantes para a formação de alunos de graduação e pós-graduação.

Referências

- (Albert and Barabási, 2002) Albert, R.; Barabási, A.L. Statistical Mechanics of Complex Networks. *Rev. Modern Phys.*, 74, 47–97, 2002.
- (Almeida, 2003) Almeida, G.M.B. O percurso da Terminologia: de atividade prática à Consolidação de uma disciplina autônoma. *TradTerm*, N. 9, p. 211-222, 2003.
- (Barabási, 2003) Barabási, A.L. *Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life*. New York: Plume, 2003.
- (Baroni and Bernardini, 2004) Baroni, M. and Bernardini, S. 2004. BootCaT: Bootstrapping corpora and terms from the web. *Proceedings of LREC 2004*.
- (Cabré, 1999) Cabré, M.T. *La terminología: representación y comunicación. Elementos para una teoría de base comunicativa y otros artículos*. Barcelona: Institut Universitari de Lingüística Aplicada, 1999.
- (Cancho and Solé, 2001) Cancho, R.F.; Solé, R.V. The Small World of Human Language. In: *Proceedings of The Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 268, 2261-2265, 2001.
- (Ceri et. al., 2000) S. Ceri, P. Fraternali, S. Paraboschi. XML: Current Developments and Future Challenges for the Database Community. *Proc. EDBT Conf., LNCS 1777*, Springer- Verlag, 2000.
- (Chau et al, 2002) Chau, M., Chen, H., Qin, J., Zhou, Y., Sung, W. K., Chen, Y., Qin, Y., McDonald, D., Lally, A., and Landon, M. NanoPort: A Web Portal for Nanoscale Science and Technology. In *Proceedings of the 2nd ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries (JCDL'02)*, Portland, OR, USA, July 2002.
- (Costa, 2004) Costa, L.F. A Generalized Approach to Complex Networks. *cond-mat/0408076*, 2004.
- (Costa, 2005) Costa, L.F. Hierarchical Characterization of Complex Networks. *cond-mat/0412761*, 2005.
- (Freitas et. al., 2001) FREITAS, C. M. dal S.; CHUBACHI, O. M.; LUZZARDI, P. R. G.; CAVA, R. A. Introdução à visualização de informações. *RITA*, v. 8, n. 2, p. 1-16, 2001. Disponível em: <http://www.inf.ufrgs.br/cg/publications/carla/Freitas-RITA2001.pdf>
- (Furnas, 1986) G. Furnas. Generalized fisheye views. In: *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1986, pp 16-23.

- (Hao et. al., 1999) HAO, M. C.; HSU, M.; DAYAL, U.; KRUG, A. Visual mining large web-based hyperbolic space using hidden links. Palo Alto: HP Laboratories-Software Technology Laboratory, 1999. 9 p. (HPL 1999-20). Disponível em: <http://www.hpl.hp.com/techreports/1999/HPL-1999-20.pdf>
- (Inxight, 2005) INXIGHT SOFTWARE INCORPORATED. Inxight Star Tree. Disponível em: http://www.inxight.com/products/oem/star_tree/
- (Lamping et. al., 1995) J. Lamping, R. Rao, e P. Pirolli. A Focus+Context Technique Based on Hyperbolic Geometry for Visualizing Large Hierarchies. Proc. ACM SIGCHI Conf. on Human Factor in Computing System, 1995.
- (Maia and Sarmiento, 2003) Maia, B. and Sarmiento, L. CG - An integrated Environment for Corpus Linguistics. Poster apresentado na conferência CL2003: CORPUS LINGUISTICS 2003 - Lancaster University (UK), 28 - 31 March 2003.
- (Newman, 2003) Newman, M.E.J. The Structure and Function of Complex Networks. SIAM Review, 45, 167-256, 2003.
- (Noy et. al., 2002) N.F. Noy, M. Sintek, S. Decker, M. Crubezy, R. W. Fregerson, e M. A. Musen. Creating semantic Web contents with protégé-2000. IEEE Intelligent Systems, 16 (2):60-71, 2002.
- (Quin et al, 2004) Qin, J., Zhou, Y., and Chau, M., "Building Domain-Specific Web Collections for Scientific Digital Libraries: A Meta-Search Enhanced Focused Crawling Method". In Proceedings of the ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries (JCDL'04), Tucson, Arizona, USA, June 7-11, 2004, pp. 135-141.
- (Quin et al, 2003) Qin, J., Huang, Z., Zhou, Y., Chau, M., Tseng, C., Yip, A., Ng, T. G., Guo, F., Chen, Z. K., and Chen, H., "NanoPort: A Knowledge Portal for Nanoscale Science and Engineering". In Proceedings of the ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries (JCDL'03), Houston, Texas, USA, May 27-31, 2003, p. 387.
- (Sardinha, 1999a) Sardinha, T. B. A influência do tamanho do corpus de referência na obtenção de palavras chave. LAEL, PUCSP, DIRECT Papers 38, ISSN 1413-442x, 1999
- (Sardinha, 1999b) Sardinha, T. B. *Um ponto de corte generalizado para listas de palavras-chave*. LAEL, PUCSP, DIRECT Papers 41, ISSN 1413-442x, 1999.
- (Sarmiento, Maia and Santos, 2004) Sarmiento, L. Maia, B. and Santos, D. The Corpógrafo: a Web-based environment for corpora research Proceedings of LREC 2004 . Lisboa, Portugal, 25 May 2004.
- (Scott, 1998) Scott, M. *WordSmith Tools Version 3*. Oxford: Oxford University Press. 1998
- (Staab and Maedche, 2001) Staab, S. and Maedche, A. Knowledge Portals, AI Magazine, Summer, 2001, p. 63-75.

(Teline et al., 2003) Teline, M.F.; Almeida, G.M.B.; Alúcio, S.M. Extração Manual e Automática de Terminologia: Comparando Abordagens e Critérios. Published in: I Workshop em Tecnologia da Informação e da Linguagem Humana (I TIL). São Carlos, SP, Outubro 2003. Disponível em <http://www.nilc.icmc.usp.br/til2003/index.htm>.

(Teline, 2004) Teline, M.F. Avaliação de Métodos de Extração Automática de Terminologia para textos em Português. ICMC-USP, São Carlos, SP, Fevereiro 2004. Dissertação de Mestrado.

(Venancio et. al., 2003) Venâncio, L. R., Fileto, R. Medeiros, C. B.) Aplicando Ontologias de Objetos Geográficos para Facilitar Navegação em GIS. GeoInfo, 2003, Disponível em: <http://www.geoinfo.info/geoinfo2003/papers/geoinfo2003-45.pdf>

(W3C, 2005) The World Wide Web Consortium (W3C). Extensible Markup Language (XML). <http://www.w3.org/XML>.

Apêndice 1 – Versão final da Ontologia para a Nanociência e Nanotecnologia

First Proposal for the Ontology of Nanoscience and Nanotechnology (N&N)

The terms identified from several sources (cf. final report) have been classified into 6 main topics, some of which are detailed to a fine granularity while others are not. In the following, we show the 6 topics and the terms associated. In addition, we include a section with Major Topics Related to N&N and other section with a list of key concepts, which would be among the most descriptive of the area.

1. Synthesis, Processing and Fabrication
2. Materials
3. Properties and Characterization techniques
4. Machines and Devices
5. Theories and Computational methods
6. Applications

1. Synthesis, Processing and Fabrication

Chemical synthesis

 Dendrimer synthesis

 Convergent synthesis

 Divergent synthesis

 Organometallic Synthesis

 Quantum Dot Synthesis

Sonochemistry

Green Chemistry

Sol-gel methods

 Colloidal sol-gel

 Inorganic polymeric gel

 Organic polymeric gel

 Molecular Tectonics

Molecular Encapsulation

 Dendritic Encapsulation

Nanoscale crystal growth

 Molecular beam epitaxy

 Homoepitaxy

 Heteroepitaxy

 Epitaxy of Ion-Irradiated Quartz

Self-assembly

 Chemisorption

 Physical adsorption (layer-by-layer technique)

Techniques of deposition

 Electrodeposition

 Chemical vapor deposition

 Physical vapor deposition

 Glancing Angle Deposition

 Plasma Chemical Vapor Deposition

Top Down Molding

Nanoembossing Techniques

Irradiation Preparation of Nanomaterials

 Laser Induced Surface Nanostructuring

 Laser focused atom deposition

 Focused Ion Beam Nanofabrication

 Laser Assisted Scanning Probe Microscope Nanofabrication

 Fabrication via reactive-ion etching laser focusing

- Nanolithography
 - Electron beam lithography (EBL)
 - Ion Beam Lithography (IBL)
 - Dip Pen Nanolithography (DPN)
 - Nanoimprint Lithography (NIL)
 - Quantum Interferometric Lithography
 - Soft Lithography
 - Monolayer-Based Scanning Probe Lithography
 - Photolithography
- Monolayer-Assisted Electrochemical Nanopatterning
- Langmuir-Blodgett
- Chemical Derivatization
- Quantum Cryptography
- Ink-Jet Printing
- Spinning
 - Spin-Coating
 - Electrospinning
- Superlattice Nanowire Pattern (transfer) (SNAP)
- Low-power sonication
- Microemulsion Process
- UHV-SPM Nanofabrication
- Ion Sputtering on Metal Surfaces
- Sequential Growth Method
- Exponential assembly
- Molecular imprinted polymers (MIP)
- Synthesis by Arc Discharge Technique
- Cell Engineering
- Mechanosynthesis / Mechanochemistry
 - Diamond Mechanosynthesis
 - Bulk technology
- Iterative chemical reactions (Branched polymers)
- Optical Tunneling
- Atomic Manipulation by Scanning Tunneling Microscopy
- Inelastic Electron Tunneling
- Analytical Ultracentrifugation of Nanoparticles

2. Materials

- Metals and alloys
 - Bimetallic nanoparticles

Noble Metal Nanocolloids
Embedded Metals
Nanophase Metals
Bulk Nanostructured Alloys
Aluminum
 Aluminium alloys
Silver
Calcium
Cobalt
Copper
 Copper alloys
Gold
 Gold-palladium alloy
 Colloidal Gold
Iron
Lead
Lithium
Magnesium
 Magnesium alloys
Mercury
Molybdenum
Nickel
 Nickel alloy
 Nickel-iron alloy
Niobium
Palladium
Platinum
Steel
Superalloys
Superconductors
 Nanopinning in High-Temperature
Titanium
 Titanium alloy
Tungsten
Zinc
 Zinc alloys
 Fe-Cu Nanoalloying
Electrodeposited Nanogranular Magnetic Alloys

Gases and vapors

Acids

Metallic complexes

Ruthenium complexes

Zinc complexes

Iron complexes

Manganese complexes

Cobalt complexes

Vanadium complexes

Europium complexes

Samarium complexes

Terbium complexes

Ytterbium complexes

Silver complexes

Nickel complexes

Chromium complexes

Platinum complexes

Inorganic Semiconductors

Silicon

Nanocrystalline Silicon Superlattices

Porous silicon

Nanoporous silicon

Germanium

Boron nitride nanotubes

Quantum dots

Semiconductor Quantum Dots

Silicon Quantum Dots

Cadmium

Gold

Gallium

Indium

Carbon-based materials

Carbon nanotubes

Doped Carbon Nanotubes

Carbon Nanotubes in Composite Materials

Cluster-Assembled Nanostructured Carbon

Single Walled Carbon Nanotubes

- Aligned Carbon Nanotubes
 - Macroscopically Aligned Carbon Nanotubes
 - Multi walled Carbon nanotubes
 - Filling of Carbon Nanotubes
- Nanoporous Carbons
- Fullerenes/ Buckminsterfullerenes
 - Buckyballs
 - Fullerites
 - Fullerides
 - Endohedral fullerenes
 - Exohedral fullerenes
 - Heterofullerenes
 - Metcars
 - Fullerene Dimers
 - Fullerene Lipid Films
 - Uncoated Fullerenes
- Graphene sheet
- Carbon black
- C60-Based Materials
- Nanostructured Carbide-Derived Carbon
- Carbon Nanostructures for Cold Electron Sources
- Carbon Composites
- Graphene
- Highly Oriented Pirolytical Graphite
- Carbon fibers
- Boron-Carbon Nitride Nanohybrids
- Boron Nitride Nanotubes
- Carbon fiber/polymer composites
- Carbon nanohorns
- Diamond
 - Diamond Nanocrystals
- Graphite
- Vulcan carbon

Oxides and salts

- Nanogranular Metal Oxides
- Ferroelectric Nanocrystal Dispersed Oxide Glasses
- Titanium dioxide
- Sílica
 - Bioconjugated Silica

Molecular Sieve Silica Membranes
Protein-Doped Nanoporous Silica Gels

Vanadium pentoxide
Alumina
Aluminium silicate
Aluminosilicate powder
Magnetite
Barium sulphate
Barium titanate
Barium titanium oxide (BaTiO₃)
Bismuth oxide
Calcium carbide
Calcium carbonate
Calcium fluoride
Calcium phosphate
Cerium oxide
Lanthanum
Zirconium oxide
Praseodymium oxide
Copper oxide
Indium oxide
Indium Tin Oxide (ITO)
Fluoride Tin Oxide (FTO)
Iron oxide
Lithium carbonate
Lithium cobalt oxide
Lithium manganese oxide
Lithium molybdenum selenide
Lithium niobate
Lithium titanate
Tungsten oxide
Sulfur dioxide
Zinc oxide
Zinc sulphide
Zirconium dioxide

Mixed composition materials

Ceramics and Clays
Hydroxyapatite
Montmorillonite
Zeolites

- Ball clays
- Bentonite
- Ceramic Nanopowders
- Common clay
- Fire clay
- Fuller's clay
- Kaolin
- Electroceramic
- Crystals
 - Photonic crystals
 - Photonic Crystal Laser
 - Quartz
- Silicone oil
- Hydrogenated Nanocrystalline Silicons
- Silicone rubber
- Textiles
- Cotton
- Wax
- Fossil fuels
 - Oil
 - Petroleum
 - Coal
 - Natural Gas
- Natural oil
- Bimetallic Ferrofluids
- Bioinorganics / Supramolecular Molecules
 - Phthalocyanines
 - Porphyrins
 - Azobenzenes
 - Calixarenes
 - Chlorophyll
 - Rotaxanes
 - Catenanes
- Polymers
 - Plastics
 - Lignin
 - Matrix polymers
 - Nanostructured Bipolar Organic Polymers
 - Conducting Polymers
 - Block copolymers

- Polymer brushes
- Dendrimers
 - Pamam dendrimers
 - Biodendrimers
 - Stilbenoid Dendrimers
- Conjugated polymers
 - Polyacetylenes
 - Polyanilines
 - Polyaniline Nanofibers
 - Polyaniline Nanotubes
 - Polypyrroles
 - Polypyrrole nanotubes
 - Polythiophenes
- Luminescent Polymers
 - Poly(p-phenylene vinylenes)
 - Polyfluorenes
 - Polycarbazoles
- Ferroelectric polymers
 - Polyvinylidene fluoride (PVDF)
- Insulating polymers
 - Polyethylene
 - Polyethylene terephthalate
 - Polytetrafluorethylene
 - Polyesters
 - Polyvinyl chloride
 - Nylon
 - Poly(methyl methacrylate)
 - Polyacrylates
 - Polyacrylic acid
 - Polycarbonate
 - Polyolefins
 - Polypropylene
 - Polypropylene resins
 - Polysiloxane
 - Polystyrenes
 - Polysulfones
 - Polyurethanes
- Supramolecular Coordination Polymers
- Polysaccharides
 - Cellulose

- Chitin
- Chitosan
- Biodegradable polymers
- Polyelectrolytes
 - Polyethylene glycol
- Rubber
- Solvents
- Biological materials
 - Adenosines
 - Adenosine Triphosphate (ATP)
 - Adenosine Diphosphate (ADP)
 - Adenosine Monophosphate (AMP)
 - Microorganisms
 - Bacteria
 - Fungi
 - Protozoa
 - Viruses
 - Lipids
 - Fatty acids
 - Glycerophospholipids
 - Sphingolipids
 - Sterol lipids
 - Cholesterol
 - Bile acids and derivatives
 - Hopanoids
 - Steroid conjugates
 - Prenol lipids
 - Isoprenoids
 - Quinones and hydroquinones
 - Polyprenols
 - Saccharolipids
 - Acylaminosugars
 - Acylaminosugar glycans
 - Acyltrehaloses
 - Acyltrehalose glycans
 - Polyketides
 - Macrolide polyketides
 - Aromatic polyketides
 - Non-ribosomal peptide/polyketide
 - Liposomes

- Vesicles
- Solid Lipid Nanoparticles
- Nanostructured Lipid Carriers
- Proteins
 - Amino acids
 - Peptides
 - Enzymes
 - ATPases
 - Ribonuclease
 - Phosphatases
 - Hydrolases
 - Lipases
 - Carbohydrases
 - Proteases
 - Holoenzyme
 - Hydrogen peroxidase
 - Oxireductases
 - Lyases
 - Isomerases
 - Kinases
 - Catalytic activity
 - Globular proteins
 - Membrane proteins
 - Transmembrane protein
 - Integral protein
 - Peripheral protein
 - Anchored protein
 - Antibodies
 - Antibiotics
 - Ribosomal protein
 - Hormones
 - Cytochrome
 - Collagen
 - Fluorescent protein
 - Green fluorescent protein
 - Binding protein
 - Fusion proteins
 - Target proteins
 - 2D Protein Crystals
 - Molecular Docking

- Molecular Chaperones
- Carbohydrates
 - Monosaccharides
 - Disaccharides
 - Polysaccharides
 - Homopolysaccharides
 - Cellulose
 - Carrageen
 - Amylose
 - Inulin
 - Chitin
 - Chitosan
 - Cyclodextrin
 - Amylopectin
 - Glycogen
 - Pectin
 - Heteropolysaccharides
 - Gums
 - Chiral Macrocycles
 - Hemicelluloses
 - Glucomannan
 - Galactoglucomannan
 - Xyloglucan
 - 4-O-methylglucuronoxylan
 - Arabinoxylan
 - 4-O-Methylglucuronoarabinoxylan
 - Glycosaminoglycans
 - Chondroitin
 - Hyaluronic acid
 - Alginic acid
- Nucleic acids
 - Nucleotides
 - Adenines
 - Cytosine
 - Guanine
 - Uracil
 - Thymine
 - Nucleotide polymorphisms
 - Antisense oligonucleotides
 - Nucleotide polymorphism

- Nucleic acid structure
- Deoxyribonucleic Acid (DNA)
 - DNA binding
 - DNA oligonucleotides
 - Molecular beacons
 - Sequence tags
 - Mitochondrial DNA
 - DNA strands
 - Polymorphisms (SNPS)
 - Flanking sequences
- Ribonucleic Acid (RNA)
 - RNA oligonucleotides
 - RNA polymerase
 - Interfering RNA
 - Non-coding RNA
- Genes
 - Virulence genes
 - Receptor gene
 - Differential gene
 - Disease genes
 - Protein-coding genes
 - Orthologous genes
 - Resistance gene
 - Plant genes
 - Essential genes
 - Animal genes
 - Bacteria genes
 - Virus genes
 - Fungi genes
 - Protozoa genes
 - Regulatory elements
 - Base pairs
 - Transposable element
 - Gene clusters
 - Chromosomes
 - Nucleotide-sequence
- Cells
 - Tissues
 - Supercell
 - Cell lines

- Dendritic cells
- Cancer cells
- Eukaryotic cells
- Prokaryotic cells
- Cytoplasm
 - Chloroplast
 - Ribosome
 - Golgi body
 - Mitochondrion
 - Centrosome
 - Lysosome
 - Vacuole
 - Rough Endoplasmic reticulum
 - Smooth Endoplasmic reticulum
- Cell membrane
 - Lipids
 - Proteins
 - Bilayer structure
 - Ion channels
 - Nanostructured Extracellular Matrix
- Nucleus
 - Nucleolus
 - Nuclear membrane
- Cell wall
- Extra cellular environment
- Natural substances
 - Vitamins
 - Vitamin A
 - Vitamin B1
 - Vitamin B2
 - Vitamin B3
 - Vitamin B5
 - Vitamin B6
 - Vitamin B6
 - Vitamin B12
 - Vitamin C
 - Vitamin D
 - Vitamin E
 - Vitamin K
 - Flavonoids

Flavones
Isoflavones
Flavonols
Flavonones
Xantolones

Surfactants / Colloids

Detergents
Proteins
Micelles
Polymers
Bubble
Foam
Lipids
Micelles
Monolayers
Emulsions
Vesicles
Liposomes

Ferroelectrics

Magnetic materials
Ferroelectric Nanodomains

Humic substances

Humic acid
Humic salts

Gels

Aerogels
Hydrogels
Xerogel

Materials in the nanoscale

Nanoaccelerometers
Nanoantenna
Nanoartefacts
Nanobrushes
Nanocapsules
Nanobelts
Nano-emulsions
Nanofibers
Nanoflighter
Nanofluids
Nanocatalysts

Nanocomposites

- Glasses with metal nanoclusters
- Biodoped Sol-Gel Polymer Nanocomposites
- Dendrimer-Metal Nanocomposites
- Dye/Inorganic Nanocomposites
- Polymers Particles
- Polymer Electrolyte Nanocomposites
- Polyaniline Fractal Nanocomposites
- Epoxy/Clay Nanocomposites
- Manganite Nanocomposites
- Superhard Nanocomposites
- Nanoparticle Reinforced Thermoplastic Composites
- Carbon Nanocomposites
- Epoxy Nanocomposites

Nanocomputers

- Nanomechanical Computers
- Nanoelectronic Computers
 - Molecular Wires
 - Electromechanical Molecular Switching Devices
 - Field-Controlled Molecular Switching Devices
 - Molecular Electrostatic Field Computers

Biocomputers

- Biochemical Computers
- Biomechanical Computers
- Organic and Bioelectronic Computers

Reversible Computers

Quantum Computers

- Quantum algorithms
- Quantum communication
- Quantum cryptography
- Quantum devices
- Quantum information theory

Bekenstein-Bounded Computation

Nanocubes

Nanobatteries

Molecular Integrated Microsystems (MIMS)

Nanodots

MEMS-Based Nanotechnology

Nanoactuators

Nanocables

- Nanocrystals
 - Semiconductor nanocrystals
 - Ferroelectric Nanocrystal Dispersed Oxide Glasses
 - Nanocrystals Assembled from the Bottom Up
 - Nanocrystals from Solutions and Gels
 - Nanocrystals in Organic/Inorganic Materials
 - Low-Dimensional Nanocrystals
 - Nanocrystal Memories
 - Quantum Confined Atoms (QCA)
 - Drug Nanocrystals of Poorly Soluble Drugs
 - Nanocrystalline Phosphors
 - Ferrite Nanocrystals
 - Crystallogensis
 - Chrysotile Nanocrystals
- Nanocontainers
- Nanocapsules
- Nanoscale centrifuges
- Nanostructured Chalcogenide Glasses
- Nanojunctions
- Nanoscopic Optical Tracers
- Electrochemical Nanoelectrodes
- Nanodumbbells
- Nanofibers
 - Electrospun Nanofibers
- Nanofillers
- Nanofilms
- Nanofilaments
- Nanofilter
- Nanofoam
- Nanofuels
- Nanogellant
- Nanohelices
- Nanohorns
- Nanohybrids
 - Luminescent Organic--Inorganic Nanohybrids
 - Boron-Carbon Nitride Nanohybrids
- Nanoinks
- Ion Implanted Nanostructures
- Nanolaminates
- Nanomembranes

- Nanoneedles
- Nanoparticles
 - Biogenic Nanoparticles
 - Ceramic nanoparticles
 - Polyelectrolyte Nanoparticles
 - Hollow nanoparticles
 - Core-Shell Nanoparticles
 - Magnetic Nanoparticles
 - Polymeric Nanoparticles
 - Fivefold Twinned Nanoparticles
 - Chalcogenide Nanoparticles
 - Silica particles
 - Biodegradable Nanoparticles
 - Metal nanoparticles
 - Gold Nanoparticles
 - Platinum Nanoparticles
 - Silver Nanoparticles
 - Metal Nanoparticle Superlattices
 - Cylindrically-shaped colloidal metal nanoparticles
 - Nanobarcode
- Nanogears
- Nanomotors
- Molecular Nanogenerator
- Nanopipes
- Nanoplates
- Nanoprisms
- Nanopores
 - Confined Molecules in Nanopores
- Nanoporous membranes
- Nanopowders
 - Nanopowders Produced Using Microreactors
- Low-Dimensional Nanocrystals
- Nanoribbons
- Nanorings
- Nanoprecipitates
- Biomimetic Core-Corona Nanoparticles
- Nanocavities
- Nanopens
- Nanopencils
- Nanoreactor

- Nanorobots
 - Metamorphic Bumpers
 - Nanorobot Communications
 - Rheology of Nanorobot-Rich Biofluids
 - Nanorobot Diapedesis
 - Nanorobot Volumetric Intrusiveness
- Nanorods
 - Metal Polyhedral Nanorods
- Nanocontainers
- Nanorotor
- Nanobattery
- Nanoshells
- Nanogenerators
- Nanoclusters
 - Metal Nanoclusters by Ion Implantation
 - Metal Nanoclusters as Quantum Dots
 - Metal Nanoclusters on Oxide Surfaces
 - Organic Polyradical Magnetic Nanoclusters
- Nanospheres/ Spiral Materials
 - Polydymoty Nanospheres
 - Carbon Nanospheres
 - Dyson Spheres
 - Bioadhesive Nanospheres
- Nanosprings
- Nanostructures
 - Light-Harvesting Nanostructures
- Nanotrees
- Nanotubes
 - Peptide Nanotubes
 - Nanotubes made
 - Nanotube walls
 - Nanotube tips
 - Nanotube electronics
 - Nanotube devices
 - Nanoropes
- Nanowires / Atomic wires
 - Nanocrystalline and Amorphous Magnetic Microwires
 - Nanowire Laser
 - Nanowire Cavity
 - Free-Standing Nanowires

- Finite Nanowire
- Ferromagnetic Nanowires
- Free-Standing Nanowires
- Superlattice Nanowire
- Oxide nanowires
- Nanowhiskers
- Nanosources
- Nanozeolite
- Nanofiber alumina
- Nanomotor
- Nanosensor
 - Broadband Receptor Arrays
 - Narrowband Receptor Arrays
 - Counting Rotors
 - Chemical Nanosensor Theoretical Limits
 - Spatial Concentration Gradients
 - Temporal Concentration Gradients
 - Chemotactic Sensor Pads
 - Receptor Sensors
 - Displacement Sensors
 - Velocity and Flow Rate Sensors
 - Acceleration Sensors
 - Box-Spring Accelerometers
 - Displacement Accelerometers
 - Fluid Acceleration Sensors
 - Pivoted Gyroscopic Accelerometers
 - Accelerative Onset
 - Angular Displacement
 - Gimballed Nanogyroscopes
 - Nanopendulum Orientation Sensing
 - Nanopendulum Tachometry
 - Force Nanosensors
 - Minimum Detectable Force
 - Nanogravimeters
 - Single-Proton Massometer
 - Isotope Discrimination
 - Ullage Sensors
 - Nanobiosensors
 - Thermal Nanosensors
 - Minimum Detectable Temperature Change

- Piston-Based Temperature Sensors
- Thermal-Expansion Temperature Sensors
- Mechanochemical Temperature Sensors
- Spatial Thermal Gradients
- Temporal Thermal Gradients
- Nonorobot
- Nano Solar Cells
- Nanotransistor
 - Nanofluidic transistor
 - Semiconductor Nanotransistors
 - Single-Electron Transistors
 - Field-effect transistors
 - Nanotube transistors
 - Power Switch Transistors
- Assemblers
 - Directed-Assemblers
 - Replicating assemblers or nanoreplicators
 - Disassemblers
 - Limited Assembler
 - Molecular Assemblers

2. Properties and Characterization techniques

- Augmented Waves
 - Projector Augmented Wave Method
- Ballistic Magnetoresistance: (BMR)
- Giant Magnetoresistance
- Pseudopotentials
- Spectroscopy
 - Nuclear Magnetic Resonance (NMR)-Spectroscopy
 - Loss spectroscopy
 - Optical spectroscopy
 - Linear and nonlinear spectroscopy
 - Absorption spectroscopy
 - Electronic
 - Ultraviolet-visible (UV-vis)
 - Vibrational spectroscopy
 - Fourier-transformed infrared (FTIR)
 - PM-IRRAS
 - Correlation spectroscopy

- Raman
 - Surface Enhanced Raman Spectroscopy
- Circular dichroism
- X-Ray Spectroscopy
 - Crystallography
 - EXAFS Spectroscopy
- Correlation phase Spectroscopy
- Current imaging tunneling spectroscopy
- Dynamic Force Spectroscopy
- Ballistic Electron Emission Spectroscopy
- Localized Electrochemical Impedance Spectroscopy
- Light Emission Spectroscopy
- Distance tunnel spectroscopy
- NMR spectroscopy
 - Time-resolved photoelectron spectroscopy
- Evanescent Wave Spectroscopy Tribology
- Charge Carrier Dynamics
- Focused Ion Beam
- Kelvin Probe Technique
- Electrical Properties
 - Electronic transport
- Optical Properties
 - Near-field optics
 - Nonlinear Optics
- Laser-based techniques
 - Laser cooling and trapping
 - Laser ablation
 - Laser desorption-ionization
- Resonant Magnetic Scattering
- Resonance Contact Photoionization
- Microscopy
 - Confocal Microscopy
 - Optical Microscopy
 - Near-Field Optical Microscopy
 - Fluorescence Microscopy
 - Brewster Angle Microscopy
 - Electron microscopy
 - Scanning electron microscopy
 - Scanning Near Field Optical Microscopy
 - Transmission electron microscopy

High Resolution Transmission Electron Microscopy (HRTEM)
Scanning tunneling spectroscopy (STS)
Electron Holography
Scanning probe microscopy (SPM)
 Piezo-positioners
Kelvin Probe Force Microscopy
 AFM: Atomic Force Microscopy
 FFM: Friction Force Microscopy
 MRFM: Magnetic Resonance Force Microscopy
 Attractive-mode Force Microscopy
 Acoustic microscopy
Scanning Tunneling Microscopy (STM)
 Low-Temperature Scanning Tunneling Microscopy
Dynamic Probe Microscopy
Cell Mimetic Microscope
Manipulation Force Microscopy
Quasiconnact Force Microscopy
Maxwell-stress microscopy
Quantum Proximity Microscopy
Resonance contact scanning force microscopy
Resonant Tapping-Force Microscopy
Interfacial Force Microscopy
Scanning Force Microscopy (SFM)
Heterodyne Force Microscopy
Proximity Probe Microscopy
Photonic Force Microscopy
Force Modulation Microscopy
Electric Force Microscopy
 Electric Scanning Force Microscopy
Dynamic Contact Mode Electrostatic Force Microscopy
Frictional Force Microscopy
Scanning Nearfield Optical Microscopy (SNOM)
Magnetic Force Microscopy (MFM)
Scanning Capacitance Microscopy (SCM)
Chemical Force Microscopy
Scanning Thermal Microscopy (SThM)
Amplitude HFM (Heterodyne Force Microscopy)
Near-Field Lorentz Force Microscopy
Piezoresponce Force Microscopy
Electrostatic Force Microscopy

- Electrostatic Force Modulation Microscopy
- Atomic Force Microscopy
 - Lithography
 - Phase mode
 - Contacting mode
 - Non-contacting mode
 - Tapping mode
 - Extreme Ultraviolet Nanolithography
 - Fast Atomic Force Microscopy
- Low Temperature Scanning Probe Microscopy
- Dynamic Force Microscopy
 - Molecular Recognition Force Microscopy
 - Ligand Tip Chemistry
 - Fixation of Receptors to Probe Surfaces
 - Single-Molecule Recognition Force Detection
 - Recognition Force Spectroscopy
 - Recognition Imaging
 - Electric force microscopy
 - Magnetic force microscopy
- X-Ray Crystallography

- Nanometrology
- Excimer Laser
- Chromatography
 - Affinity Chromatography
 - Gas Chromatography
 - Liquid Chromatography
 - Ion Exchange Chromatography
 - Absorption Chromatography
 - Partition Chromatography
 - Molecular Exclusion Chromatography
 - Column Chromatography
 - Thin Layer Chromatography
- Optical Beam Induced Resistance Change (OBIRCH)
 - Near-Field OBIRCH
- Fluorescence
 - Thermoluminescence
 - Photostimulated
 - Luminescence
 - Time-resolved Fluorescence

- Spectrometry
 - Mass Spectrometry
 - Chromatography mass Spectrometry
 - Electrospray mass Spectrometry
 - Ionization Mass Spectrometry
- Resonance techniques
 - Nuclear Magnetic Resonance (NMR)
 - Electrically Detected Magnetic Resonance
 - Ion Cyclotron Resonance
- Synchrotron Radiation
- Differential Scanning Calorimetry
- Plasmon resonances
 - Surface Plasmon Resonance
- Diffraction techniques
 - Electron diffraction
 - Neutron diffraction
 - X-ray diffraction (XRD)
 - Small angle x-ray (SAXS) diffraction
- Electrophoresis
 - 2-Dimensional electrophoresis
 - Gel electrophoresis
 - Dimensional gel-electrophoresis
 - Capillary electrophoresis
 - Two-dimensional electrophoresis
- NAND multiplexing
- Duty cycle
- Lithography
 - Optical lithography
 - Beam lithography
 - Electron-beam lithography
 - Interference lithography
 - Soft Lithography
- High-throughput methods
 - High-throughput x-ray
- Scattering
 - Raman Scattering
 - Electron Raman Scattering
 - Light Scattering
 - Zeta potential /Zeta sizer
- Electrospray ionization

Flow cytometry

4. Machines and Devices

Carbon Nanotube-Based Field Emitters

Carbon Nanotube-Based Supercapacitors

Carbon Nanotube Tips

Hydrogen Storage by Carbon Nanotubes

Carbon Nanotube Sensors

Nanomotors

Molecular and supramolecular nanomachines

Molecular Manipulator

Von Neumann Machine

 Von Neumann Probe

Molecular Integrated Microsystems (MIMS)

Nanoprobe

Technocyte

Nanosome

Nanoreplicators

Functional nanostructures incorporating responsive modules

Photodetectors

 Quantum well infrared photodetectors

Sensors and actuators

 Atomic and molecular sensors

 Cantilever-Based Sensors

 Biosensors

 Gas sensors

 Chemical sensors

 Sensor Electrical Phasing

 Taste sensors

 Protein-coupled receptors

 Cell Surface Receptors

 Gas Sensors from Nanostructured Metal Oxide

 Germanium Nanocrystals Structure

Nanomanipulators

 Nanotweezers

Electron Beam Writing in Nanoparticle Films

Electronic devices

Self-replicating machines

Photochemical Molecular Devices
 Photocathode
Optoelectronic devices
Magnetic devices and new computing systems
Biological motors
Photovoltaic cells
Electroluminescent devices
Plastic logic
Molecular switches
Nanotherapeutic devices
NEMS or (Resonant) nanoelectromechanical systems
Diamondoid mechanosynthesis tool
Photolithographic Mask

5. Theories and Computational methods

Quantization and confinement phenomena
Spintronics
Quantum information theory
Computational Atomic Nanodesign
Atomistic simulation methods
Nanoelectronics
Magnetoelectronics
Molecular dynamics simulation
High throughput screening
Combinatory chemistry
Neural networks
Inductive Logic Programming
Automated Engineering
Distributed Intelligence

6. Applications

Acoustics / Communication
 Telecommunications/ Acoustic Broadcast Communication
 Radio
 Telephone
 Television
 Ultrasound

- Sound absorber
- Sound amplifier
- Noise barriers
- Radio Frequency Identification Tags
- Nanomechanical Communication
- Cable Communication
 - Electrical Cables
 - Infrared and Optical Cables
 - Acoustic Cables and Transmission Lines
 - Mechanical Cables
 - Chemomessenger Cables
- Agriculture
 - Agrochemicals
 - Herbicides
 - Pest Repellents
 - Pesticides
- Airplanes
 - Aircraft
 - Engines
 - Jet Engines
 - Gyroscopes
 - Turbines
 - Turbine Blades
- Automobiles
 - Tires
 - Coatings
 - Corrosion Resistant Coatings
 - Gasoline Tanks
 - Panels
 - Airbags
 - Parts
 - Armored vehicles
 - Boats
 - Corrosion Inhibitors
 - Electric vehicles
 - Electrochromic Glass
 - Engines
 - Gaskets
 - Gearboxes
 - Gears

- Hybrid Vehicles
- Sensors
- Smart Coatings
- Smart windows
- Tires
- Trucks

Biomedical / Bioengineering

- Personalized medicine
- Cell engineering
- Cell surgery
- Molecular Motors
- Wound Healing
- Neuro-Electronic Interfaces
- NanoLuminescent Tags
- Antibacterials
- Antifungals
- Antimicrobials
- Antiseptics
- Artificial Tissues
- Artificial Bones
- Artificial Joints
- Artificial Muscles
- Artificial Organs
- Artificial Skin
- Bandages
- Biocompatible Core-Shell Nanoparticles for Biomedicine
- Biomimetic systems
- Blood Clotting
- Oral controlled release
- Blood Glucose Monitors
- Blood Pressure Monitors
- Cancer research
 - Cancer Detection
 - Cancer Prevention
 - Cancer Treatments
- Cardiac Pacemaker
- Cardiovascular system
- Catheters
- Chemoelectric Cells

- Chemistry medicinal
- Clinical Diagnostics
- Clinical neurology
- Clinical trials
- Contrast Agents
- Effect of Mucus
- Gastrointestinal Tract
- Diabetes Treatments
- Dialysis
- Nutrition dietetics
- DNA-Based Nanodevices
 - DNA Electronics
 - DNA chips
 - Gene-chips
- Drugs
 - Drug Delivery
 - Liposomes
 - Targeted Drug Delivery
 - Drug targets
 - Target Validation
 - Drug Discovery
 - Drug Development
 - Smart Drugs
 - Drug Absorption
 - Drug administration
 - Drug concentration
 - Drug development
 - Drug particle
 - Drug Design
 - Drug Metabolism
 - Drug Nanocrystals of Poorly Soluble Drugs
 - Drug Response
 - Self-emulsifying Drug
 - Self-emulsifying Drug Delivery
- Endocrinology metabolism
- Gastroenterology hepatology
- Gene Therapy
- Genetic Disease Diagnosis
- Optical Contrast Agents
- Histocompatibility complex

- Human diseases
- Implants
 - Bioimplants
 - Retinal Implants
- Immune Response
 - Immune Machines
- Joint Replacements
 - Titanium-coated Joint Replacements
- Medical Imaging
- Medical Diagnosis Equipment
- Metabolic engineering
- Metabolic pathways
- Monoclonal Antibody
- Nuclear Medicine
- Vasodilation
- Nuclear Protective Suits
- Nuclear Sensors
- Occupational health
- Orthopedics
- Oxidative stress
- Pharmacology
 - Microbiology pharmacology
- Pharmaceutical industry
- Phylogenetic trees
- Photodynamic Therapy
- Protein Engineering
- Prostheses
- Protein Chips
- Public health
- Regenerative Medicines
- Stents
- Surgical Equipment
- Surgical Instruments
- Surgical Lasers
- Surgical Needles
- Synthetic Bone
- Synthetic Hydrogels
- Synthetic Muscles
- Syringes
- Therapeutic targets

- Therapeutics
- Tissue Engineering
- Toxology
- Transplants
- Vascular disease
- Vaccines
 - Vaccine Strains
- Veterinary

Catalysis

- Catalysis by Gold Nanoparticles
- Biocatalysis
- Inorganic catalysis

Ceramics

- Advanced Ceramics
- Pottery
- Nanocrystalline Ceramics by Mechanical Activation
- Sintering
- Glassification
- Fritting
- Tiles

Cognitive science

Combinatorial chemistry

Communications

Networks

- Wireless Networking

Optical fibers

Optical Communication

Optical Switching

Optical Waveguides

Optical Tweezers

Satellites

- (**POSS**) Polyhedral Oligomeric Silsesquioxanes Nanotechnology

Telecommunications

- Telecommunication Components

Telematics

Telephones

Televisions

Wireless Communications

Computers

- High Speed Computers
- Notebook Computers
- Portable Computers
- Quantum Computers
- Information Science
- Supercomputers
- Biomolecules for computation
- Directed evolution of molecules and software
- Bioinspired computation
- Molecular computation
- Virtual reality
- Computer-Aided-Design
- Chips
 - Biochips
 - Integrated Passive Components (IPC)
 - Molecular Logic Gates
 - Nanocell Chips
 - Silicon Chips

Mouse Models

Memories

- Magnetic Recording Media
- BioMems
- High-density information storage
- Flash Memories
- Memory Cards
- Memory Chips
- Optical Memory
- Shape Memory Alloys
- Nanoscale Magnetic Random Access Memory Elements

Disks

- Hard Disks

Information Technology

Internet

- Internet Routers

Networks

Screens

Cellular automata

Artificial intelligence

Fault tolerance

Construction

- Electrochromic Glass
- Electroconductive Coatings
- Smart Coatings
- Thermal Insulation
- Timber
- Wall Coverings
- Windows
 - Smart windows
- Wood Preservation

Cosmetics, Healthcare and Safety

- Dentistry
 - Dental Materials
 - Dental Prosthetics
 - Dental Tools
- Deodorants
- Eye care
 - Contact Lenses
 - Eyeglasses
 - Safety Glasses
 - Spectacles
 - Sunglasses
- Disinfectants
- Gas Masks
- Health Supplements
- Hearing Aids
- Nutrition
- Ointments
- Perfumes
- Preservatives
- Protective Equipment
 - Radiation Shields
- Protective Suits
 - Radiation Suits
- Rubber Gloves
- Sunscreens

Electricity

- Generation
- Storage
- High-efficiency Lighting
- Hybrid Solar Cells
- Insulation
- Wires

Electro/mechanical systems

Electronics

- Anti-static Applications
- Vacuum Nanoelectronics
- Hybrid Solar Cells
- High-Field Conduction in Nanostructures
- Cameras
- Single-molecule electronics / molecular electronics
- Capacitors
- Cd Players
- Cell Phones
- Circuit Boards
- Circuitry
- Compact Discs
- Detectors
 - Infrared detectors
 - Signal Detectors
 - Germanium-on-Silicon Infrared Detectors
 - Quantum Well Infrared Detectors

Diodes

- Light emitting diodes
- Organic Light Emitting Diodes
- Polymeric Light Emitting Diodes

Displays

- Electroluminescent Displays
- Field Emission Displays
- Flexible Displays
- Liquid Crystal Displays
- Flat Panel Displays
- Organic Light Emitting Displays
- Polymeric Light Emitting Displays

- Plasma Display
- DVDs
- Electronic Paper
- Electrophotography
- Integrated Circuits
- Information systems
- Lab-on-a-chip
- Nanodielectrophoresis / Electronic Nanotweezers
- Lithography
 - Nano-imprint
 - Nano-lithography
- Mosfets
- Optical Circuits
 - Optical Circuit Boards
 - Optical control
- Optical Data Storage
- Quantum wires
 - Semiconductor Quantum Wires
- Portable Electronics
- Power Amplifiers
- Power Supplies
- Printed Circuits
- Reconfigurable Logic Devices
- Resonators
- Semiconductor Devices
 - Doped II-VI Semiconductor Nanoparticles
 - Doubly Connected Mesoscopic Superconductors
 - Nanoscale Dilute Magnetic Semiconductors
- Sensors
 - Gas sensors
 - Biosensors
 - Signal Transduction
 - Chemical sensors
 - Taste sensors
 - Logic block
 - Actuators sensors
- Smart Cards
- Switches
 - Molecular Switches

- Supercapacitors
- System-on-a-chip
- Television
- Touch Screens
- Transducers
- Transistors
 - Field-effect transistors
 - Single-electron transistors
 - Nanotube Transistors
- Wearable Electronics
- Wires

Energy systems

- Antennas
- Batteries
 - Lithium Batteries
 - Cathode Materials
 - Magnesium-Nickel Nanocrystalline
 - Amorphous Alloys for Batteries
 - Rechargeable Batteries
 - Rechargeable Lithium Batteries
- Fuel Cells
 - Biofuel Cells
 - Hydrogen Production
 - Hydrogen Storage
 - Polymer Electrolyte Fuel Cells
 - Solid Oxide Fuel Cells
- Power Generators
 - Power suppliers
 - Power Storage
- Solar cells or Photovoltaic Cells
 - Organic Solar Cells
 - Grätzel Solar Cells
 - Light-harvesting Materials
 - Photovoltaic films
- Propellants
- Renewable Energy

Environment

- Air quality

- Contaminant sensors
- Environmental sciences
- Environmental Cleanup
- Governmental Industrial Hygienist
- Environmental Monitoring
- Erosion Control
- Governmental industrial hygienist
- Photocatalysis
 - Photocatalytic Water Treatment
- Pollution Cleaning
- Pollution Control
- Waste Water Treatment
- Water Filtration
- Water-Extraction
 - Golden Goo
- Water Purification

Food industry

- Beverages
- Bottles
- Brewing
- Colloids
- Colorants
- Filtration Systems
- Food Safety
- Packaging
- Vegetable Oil
- Vitamins
- Winery

Energy

- Fuels
 - Alcohol
 - Diesel
 - Biodiesel
 - Petrochemicals
 - Petroleum
 - Rocket Fuels
- Nuclear
 - Nuclear Engineering

- Nuclear Fusion
- Nuclear Imaging
- Nuclear fission
- Nuclear fusion
- Solar energy
- Aeolian energy

Genetics

- Genome determination
 - DNA Analysis
 - DNA Separation
 - DNA Sequencing
 - Nanopore Analysis
 - RNA Analysis
 - RNA Separation
 - RNA Sequencing
 - Paternity test
 - Genetic-linkage map
 - Differential gene expression
 - Inbred strains
 - Quantitative trait locus
 - Molecular markers
 - Microsatellite markers
 - Complex traits
 - Frames orfs
 - Fold recognition
- Genomics Biotechnology
 - Chemical genomics
 - Functional genomics
 - Microbial genomics
 - Structural genomics
 - Comparative genomic
 - Genomics consortium
 - Insertional mutagenesis
 - Regulatory networks
 - Plant functional
 - Polymerase chain reaction (PCR)
 - Gene Therapy
 - DNA Repair
 - Gene Expression Analysis

- Protein Expression
- Protein structure prediction
- Genotyping
- Heredity Genomics
- Phenotyping
- Traduction Factors
- Transcription Factors
- Trait analysis (QTL analysis)
- Genetic Engineering
 - Artificial chromosomes
 - Chromosome Painting
 - Deletion mutants
 - DNA arrays
 - DNA Chip
 - DNA Clones
 - Positional Clones
 - Gene Array
 - Gene regulatory
 - Genetic factors
 - Gene targeting
 - Gene silencing
 - Gene Trap
 - Genetic variation
 - Identify genes
 - Gene Transcription
 - Genomics Proteomics
 - Phage display
 - Linkage map
 - Mutations
 - Point mutations
 - Alternative splicing
 - Transposon mutagenesis
 - Genotoxins
 - GeneSeqer
 - Gene-expression-microarray
 - Gene-delivery
- Phylogenetic analysis
- Home and personal appliances
 - Air Conditioners
 - Air Filtration

Air Purification
Carpets
Cleaning
Cleaning Products
Cans
Cookware
Cooling
Cryogenics
Cutting Tools
Watches
Switches
Shoes
Exhaustors
Repair machines
Microwave oven
Fire Retardants
Furniture
Super Absorbants
Tennis Balls
Glassware
Children's Toys
Plastics
 Additives
 Bottles
 Packaging
 Products
 Sacks
 Sheets
 Tanks
 Tubes
Glues
Needles
Adhesives
 Biodhesives
Heaters
 Hot Water Heaters
Household Appliances
Sporting Equipment
Sporting Goods
Refrigerators

Tablecloths
Tennis Rackets
Sequence Signature
Thermometers
Pens
Pencils
Washing Machines
Water Filtration
Water Purification

Instrumentation & Testing

Analytical Instruments
Chromatographs
Nanopipettes
AFM Cantilevers
Detectors
 Photodetectors
 Radiation detectors
Electron Microscopy
Hardness Testing
Imaging
 Thermal Imaging
 Thermal Imaging Equipment
Electron Microscopy
Optical Microscopy
Scanning Probe Microscopy
Near-infrared Fluorescence
Near-infrared Luminescence
Nonlinear Spectroscopy
Sensors
 Magnetostrictive Nanomaterials
 Biosensors
 Thermosensors
Particle Accelerators
Particle Size Analyser
Pump lasers
 Matrix-assisted laser
Radars
Spectrography
 Raman spectrography

- FTIR spectrography
- UV-VIS. spectrography
- Stereolithography
- Test Tubes
- Testing Equipment
- Thermometers
- X-ray Equipment
- X-ray Fluorescence
- X-ray Microscopy
- X-ray Tubes

Lubrication

- Nanolubricants
- Ultra-Thin Lubricants

Industry and Fabrication of Nanomachines

- Coatings
 - Powder Coatings
 - Thermal Coatings
- Furnaces
- Industrial Controls
- Etching
- Machining
 - Machining Tools
 - Milling Machines
- Metrology
 - Impact Testing
- Molecular Sieves
- Mining
- Glass
 - Glass Manufacturing
 - Glass-polishing
- Logic gates
- Magnetic Devices
 - Magnetic Fluid Seals
 - Magnetic Resonance Imaging
- CDS nanoparticles
- Pipes
- Radioactive Waste
- Separation

- Nano-motors
- Nanoassembly
- Nanoelectromechanical Systems
- Nanofluidic Systems
 - Nanoscale fluid mechanics
- Nanolubricants
- Nanomachines
 - Nanodevices
 - Free-Floating Solitary Nanodevices
 - Bearing
 - Actively Swimming Nanodevices
 - Intracellular Nanodevices
 - Tessellating Nanodevice Aggregates: Nanotissues
 - Tiling Nondeforming Surfaces
 - Tiling Deforming Surfaces
 - Space-Filling Nanodevice Aggregates: Nano-Organs
 - GaAs-Based Nanodevices
 - Mechanical Molecular Nanodevices
 - Resonant Tunneling Devices
 - Room-Temperature Ballistic Nanodevices
 - Nanobots
 - Gray Goo / Grey Goo / Khaki Goo
 - Knowbots
 - Nanodefenses
 - Nanodisaster
 - Cobots
 - Nanogate
 - Nanoplotter
- Nanoindentation
 - NanoPGM-nanometer-scale patterned granular motion
- Nanomanipulators
 - Nanopositioners
 - Biological Cilia
 - Nanocilium Manipulators
 - Pneumatic Manipulators
 - Telescoping Manipulators
 - Stewart Platform Manipulators
 - Methamorphic Manipulators

- Nanoscanning Controllers
- Nanowires
 - Semiconductor nanowires
- Paints
- Photocatalysis
 - Photocatalytic Water Treatment
- Polishing
- Polymer Additives
- Powder Metallurgy
- Robotics
 - Nanobots
- Stress response
- Surface Treatments
- Tanks
- Thermoelectric Materials

Military

- Bio-weapons
 - Green Goo
- Bombs
- Explosives
- Guidance Systems
- Missiles
 - Guided Missiles
- Night Vision
 - Night Vision Systems
- Marine Antifouling
 - Marine Antifouling Coatings
- Military Vehicles
- Radars
- Smart Munitions
- Smart Weapons
- Space Vehicles
 - Spacecraft
 - Spaceships
- Spacesuits
- Surveillance Systems
- Torpedos

Optics and Photonics / Nanooptics

- Imaging

- Photonic Devices

 - Nanophotonics

- Lasers

 - Semiconductor Lasers

 - Nanolasers

 - Quantum Dot Lasers

 - Surgical Lasers

 - Tunable Lasers

 - Quantum Well Lasers

- Light Absorbers

 - Nanooptical Detection

- Nanooptical WaveGuiding Devices

- Metal Nano-Optics

- Optical Circuits

 - Optical Circuit Boards

- Optical Communication

- Optical Components

- Optical Computing

- Optical Data Storage

- Optical Fibers

- Optical microelectromechanical systems / MEMs devices

- Optical Grating Couplers

- Optical Imaging

- Optical Microsystems

- Optical Networks

- Optical Prosthetics

- Optical Switches

- Optical Waveguides

- Optoelectronics

- Photonic Chips

- Piezoelectrics

- Photonic Crystals

- Waveguides

Printing

- Carbon Nanotube Inks

- Conductive Inks

- Printers

- Inkjet Printers
- Nano-imprint
- Nano-lithography
- Nanopatterning
- Paper
- Photocopiers
- Photography
 - Photographic Emulsions
 - Photoprinting
- Toner

Textile industry

- Clothing
- Fabrics
- Zipper
- Coatings
- Protective Suits
- Smart Clothing
- Space suits
- Stain Resistant Textiles
- Tablecloths
- Wear Resistant Coatings

Transportation

- Buses
- Airports
 - MEMS-Based Nanotechnology
- Cars
- Ships
- Docks
- Trains
- Boats
- Submarines
- Roads
 - Railroads
 - Rail Equipment
- Yachts
 - Yacht Masts
- Traffic
 - Traffic lights
 - Traffic control cameras

Public transportation
 Electronic turnstiles
 Urbanrail systems
 Subway/underground
 Surface metrorails
 Commuter trains
 Automatic transporters
 Buses

Major Topics Related to N&N

Nanomedicine / Molecular medicine

- Clinical aspects of nanotechnology
- Biocompatible materials
- Cell surface interactions
- Embryogenesis
- Drug delivery systems
- Anesthesia
- Germ Theory and Antisepsis

Engineering and physical processes

- Imaging techniques;
- Molecular manipulation and assembly
- Tomography
 - Cellular Bioscanning
 - Cellular Topographics
 - Transcellular Acoustic Microscopy
 - Magnetic Resonance Cytotomography
 - Near-Field Optical Nanoimaging
 - Cell Volume Sensing
 - Noninvasive Neuroelectric Monitoring
 - Electric Field Neurosensing
 - Magnetic Field Neurosensing
 - Neurothermal Sensing
 - Direct Synaptic Monitoring
 - Cellular RF and Microwave Oscillations
- Macrosensing
 - Acoustic Macrosensing
 - Cyto-Auscultation
 - Blood Pressure and Pulse Detection
 - Respiratory Audition
 - Mechanical Body Noises
 - Electric/Magnetic Macrosensing
 - Vascular-Interstitial Closed Electric Circuits
 - Electric/Magnetic Geographic Macrosensing
 - Piezoelectric Stress Macrosensing
 - Optical Macrosensing
 - Neural Macrosensing
- Biocellular Messaging

- Cell Message Modification
- Outmessaging Transducers
- Human Body Navigation
 - Human Somatography
 - Navigational Vasculography
 - Navigational Bronchography
 - Navigational Alimentography
 - Navigational Osteography
 - Organography and Histonavigation
 - Positional Navigation
 - Thermographic Navigation
 - Barographic Navigation
 - Chemographic Navigation
 - Microbiotagraphics
 - Cytonavigation
 - Nucleography
 - Epidermal Navigation
 - Exodermal Navigation
- Fluid Pumping and Plumbing
- Cytoambulation
- Cytopenetration
 - Transmembrane Brachiation
 - Metamorphic Screw Drive
 - Solvation Wave Drive
 - Vesicle Fusion and Endocytotic Entry
 - Cytosolic Leakage During Transit
 - Breach Sealing and Intrusiveness
 - Nuclear Membrane Penetration
- Cytocarriage
- Nanochronometry
 - Human Chronobiology
 - Artificial Nanoscale Oscillators
 - Mechanochemical & Photochemical Oscillators
 - Mechanical Oscillators
 - Acoustic Transmission Line Oscillators
 - Quartz Resonators
 - Nanorobot Synchronization
 - Dedicated Chronometer Organs
- Cytocide
- Virucide

- Bacteriocide
- Biocompatibility
 - Orthopedic Biomaterials
 - Heart Valve Biomaterials
 - Bioactive Materials
 - Implant Infection and Biofilms
 - Nonadhesive Nanorobot Surfaces
 - Adhesive Nanorobot Surfaces
 - Nanopyrexia
 - Nanorobot Mutagenicity / Carcinogenicity
 - Nanorobotic Thermocompatibility
 - Electrocompatibility
 - Cytomembrane and Intracellular Mechanocompatibility
- Geometrical Trapping of Bloodborne Medical Nanorobots
- Phagocytosis of Medical Nanorobots
- Particle Clearance

Society, Ethics and Geopolitics

Physics at the nanoscale

Nanobusiness

- Patenting

Environmental and Economic aspects of Nanoscience and Nanotechnology

Merging Micro and Nanoelectronics

Genetics and Genomics

Molecular biology

Multidisciplinary sciences

- Materials Science

- Polymer science

Cell biology

Key Concepts in N&N

The list of key concepts is aimed at identifying the terms with a possibly larger recall. That is to say, when one talks of N&N what does one have in mind. There was no intention to organize the concepts and the subsumed structure for each term is omitted (for example, in SFM we include AFM, STM, etc. In the key concepts we tried to include “things” that only exist with N&N (e.g. nanoindentation) or that are essential for N&N, even though they may belong to other fields as well (e.g. surface-enhanced spectroscopy). Moreover, the selection of these terms was based on a survey using the corpora for N&N .

Ab initio methods
Adhesion
Aqueous solution
Atomic force microscopy
Atomic physics
Biology
Biological membranes
Biosensors
Bose-Einstein condensation
Building blocks
Cantilever
Carbon
Cells
Chemistry
Chips
Composites
Computers
 Computer modeling
Dendrimers
Density functional theory
Deposition
Detectors
Devices
Displays
DNA
Drug Delivery
Drug Design
Electron

Epitaxy
Fiber
Gene delivery
Genetic Engineering
Genetic Therapy
Genomics
Glucose
Imaging
Interfaces
Langmuir-Blodgett
Lasers
 Laser cooling
 Laser trapping
Layer-by-layer method
Liposomes
Lithography
Metals
Micelles
Microdevices
Microfluidics
Molecular control
Molecular electronics
Molecular recognition
Monolayers
Morphology
Nanobiology
Nanobiotechnology
Nanocatalysts
Nanochemistry
Nanoclusters
Nanocomposites
Nanocrystals
Nanoelectronics
Nanoengineering
Nanofabrication
Nanoindentation
Nanolithography
Nanomanipulation
Nanomaterials
Nanomedicine

Nanoparticles
Nanophysics
Nanopore
Nanoscale
Nanoscience
Nanoshells
Nanospheres
Nanostructured films
Nanotubes
Nanowires
Near-field Microscopy
Optics
Phospholipids
Polymer
Polynucleotide
Proteins
 Protein folding
Quantum physics
 Quantum computation
 Quantum confinement
 Quantum dots
Scanning tunneling microscopy
Self-assembly
Semiconductor
Semi-empirical methods
Sensors and actuators
Spectroscopy
 Surface-enhanced spectroscopy
Structures
Surfaces
Surface Probe Microscopy
Tissue
Toxology
Transgenic
Transmission Electron Microscopy
Tweezers
Water

Apêndice 2 – Apresentação da Versão final da Ontologia para a Nanociência e Nanotecnologia com a interface Web de busca e visualização hiperbólica

Este apêndice traz 13 figuras mostrando a versão final da ontologia com o OntoEditor (descrito na Seção 2.3.6), uma ferramenta para edição de ontologias via Internet, que implementa, tanto a visualização arbórea (*folder-tree*) quanto a visualização hiperbólica (Hyperbolic Tree). As Figuras 34 a 37 mostram a funcionalidade de busca no OntoEditor.

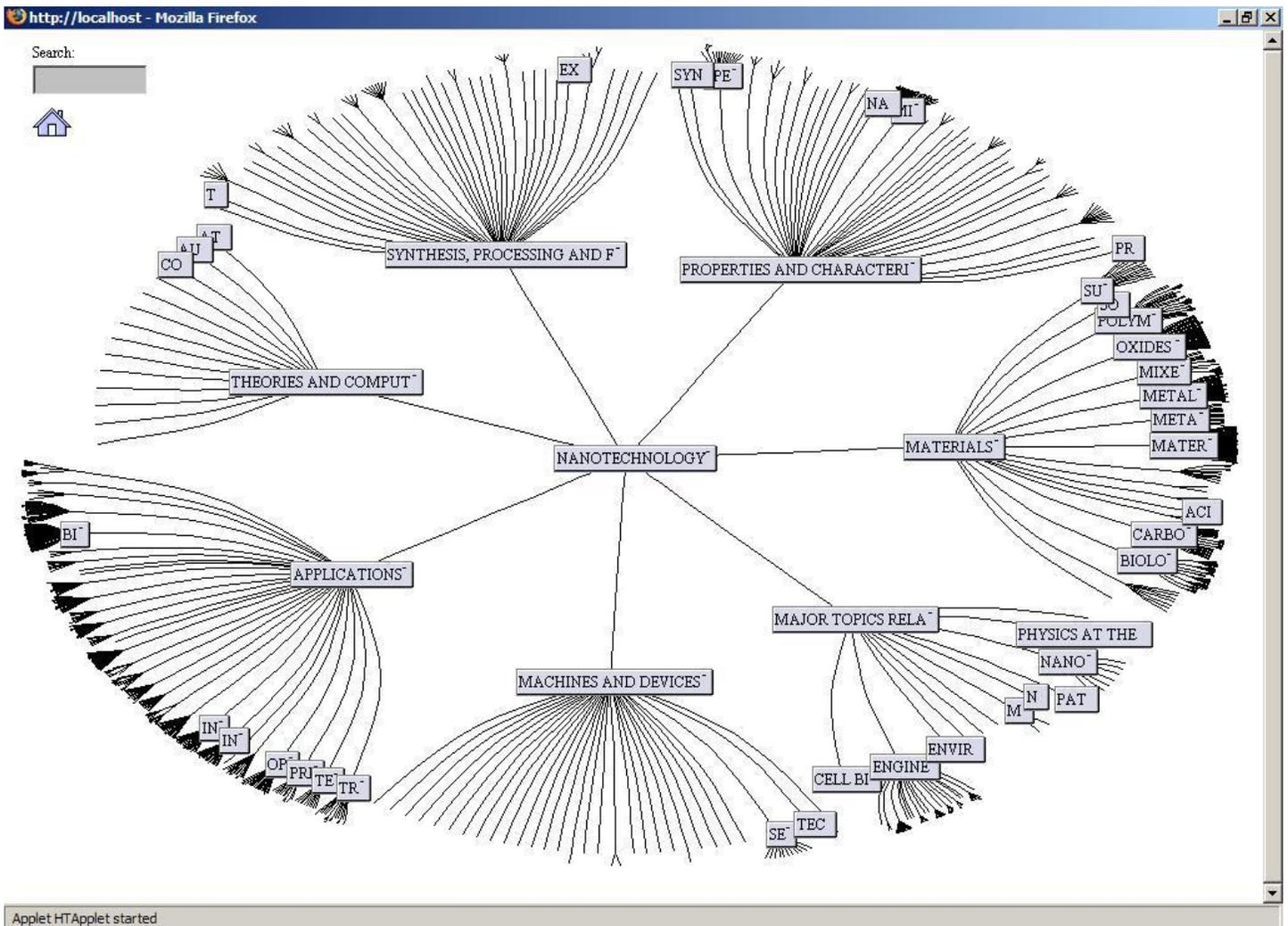


Figura 25 – Visão principal da estrutura da árvore hiperbólica da *NANOTECHNOLOGY*

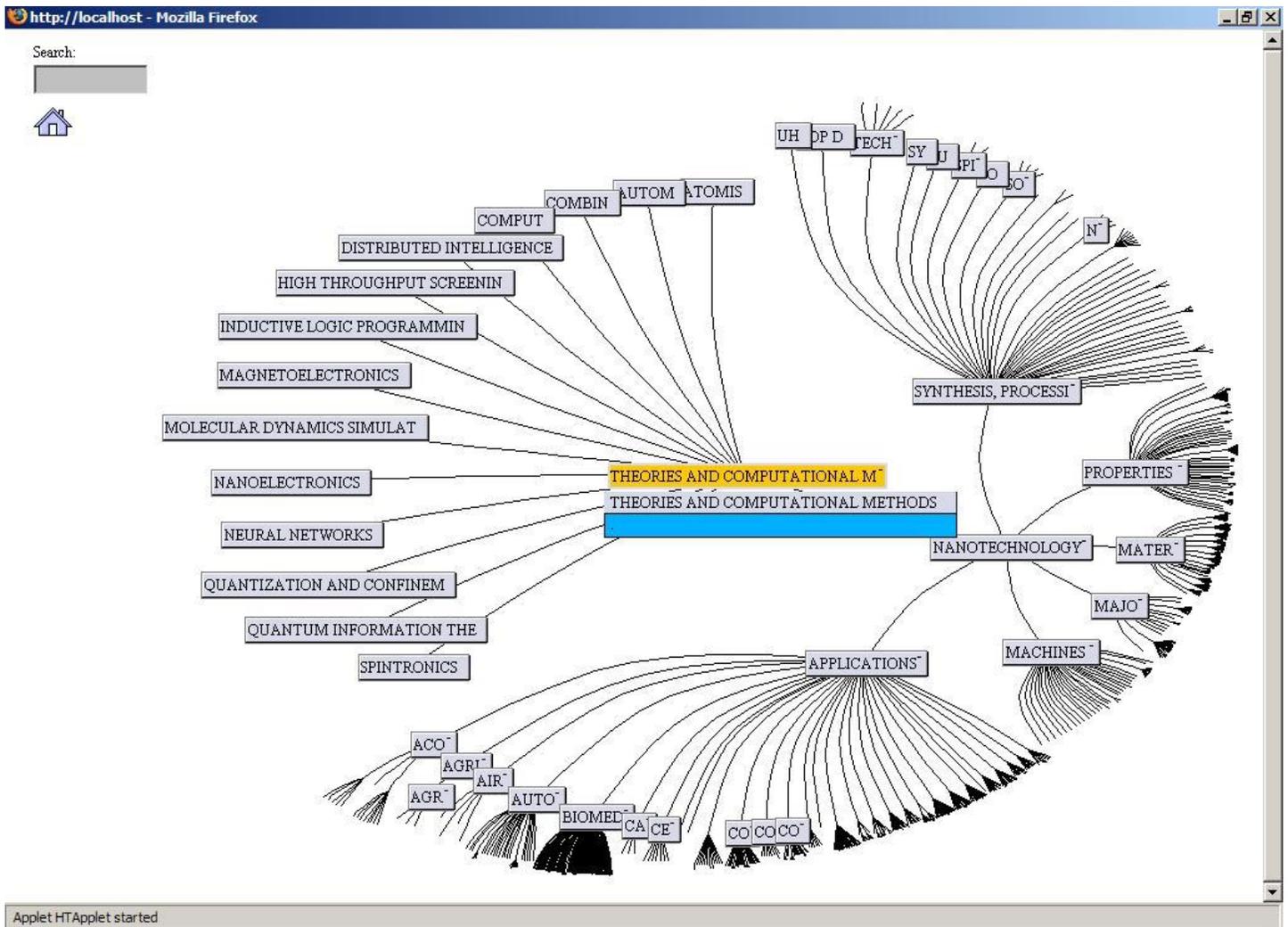


Figura 26 – Visão do ramo *THEORIES AND COMPUTATION METHODS*

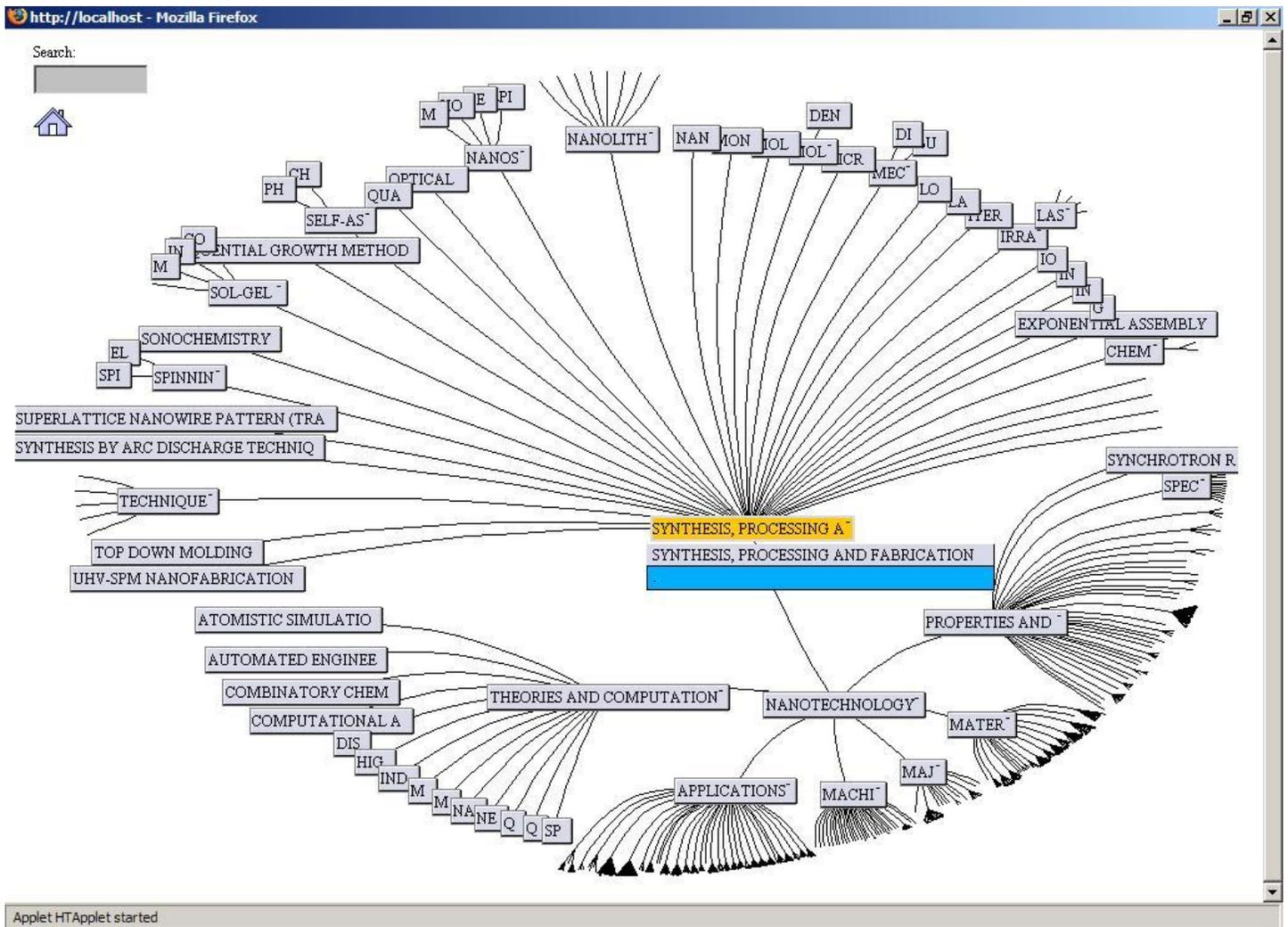


Figura 27 – Visão do ramo *SYNTHESIS, PROCESSING AND FABRICATION*

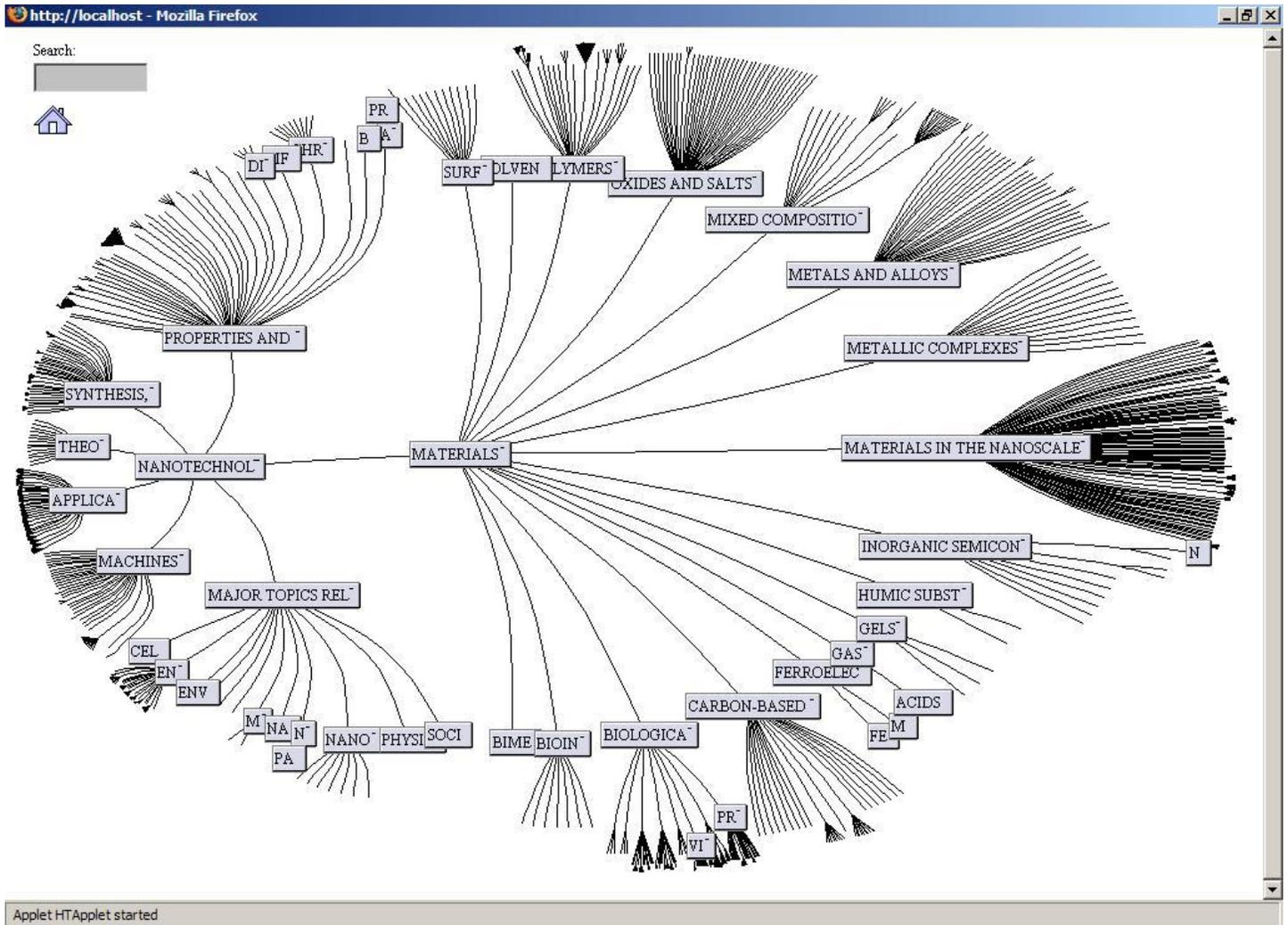


Figura 29 – Visão do ramo *MATERIALS*

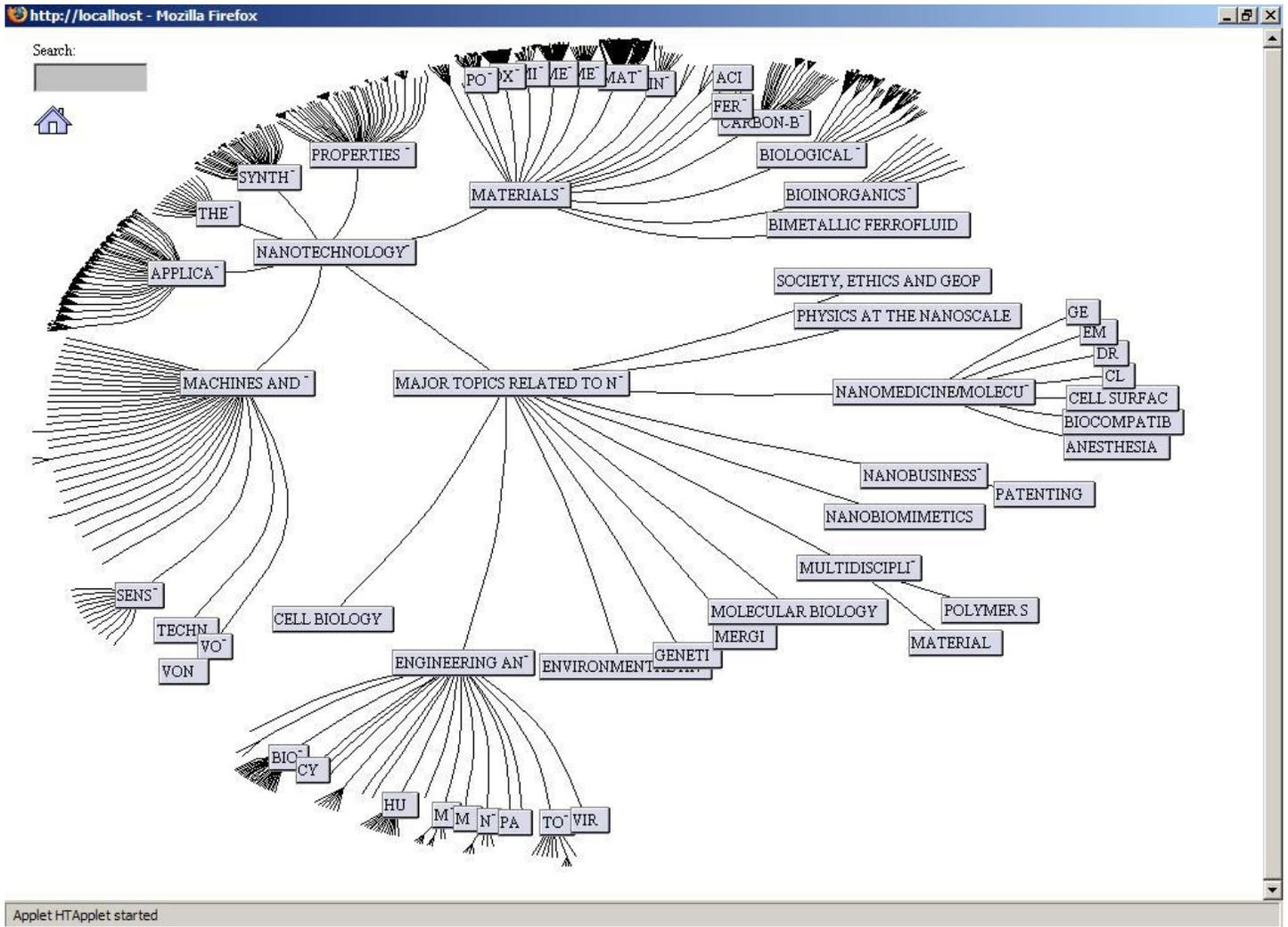


Figura 30 – Visão do ramo *MAJOR TOPICS RELATED TO N&N*

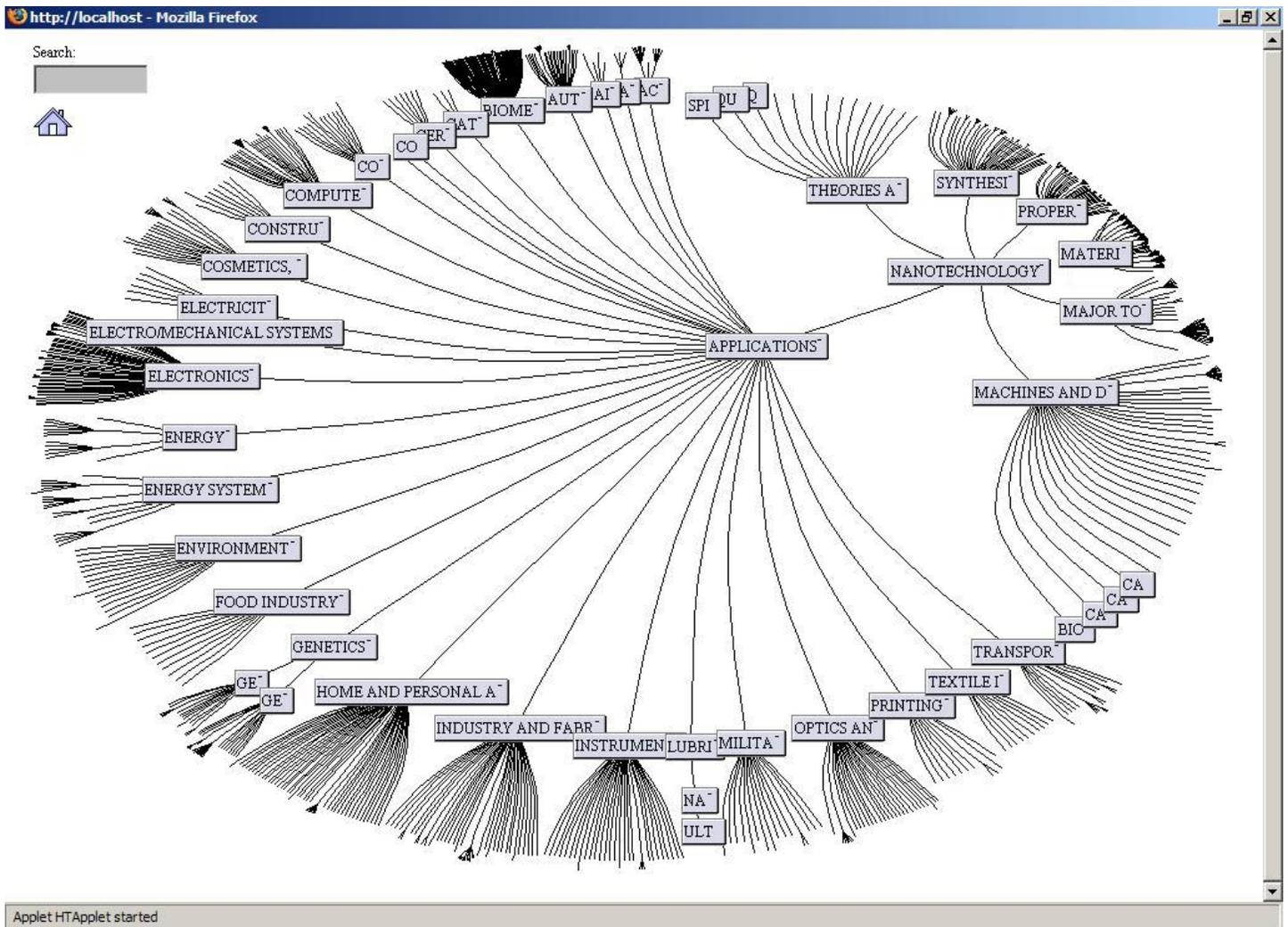


Figura 32 – Visão do ramo *APPLICATIONS*

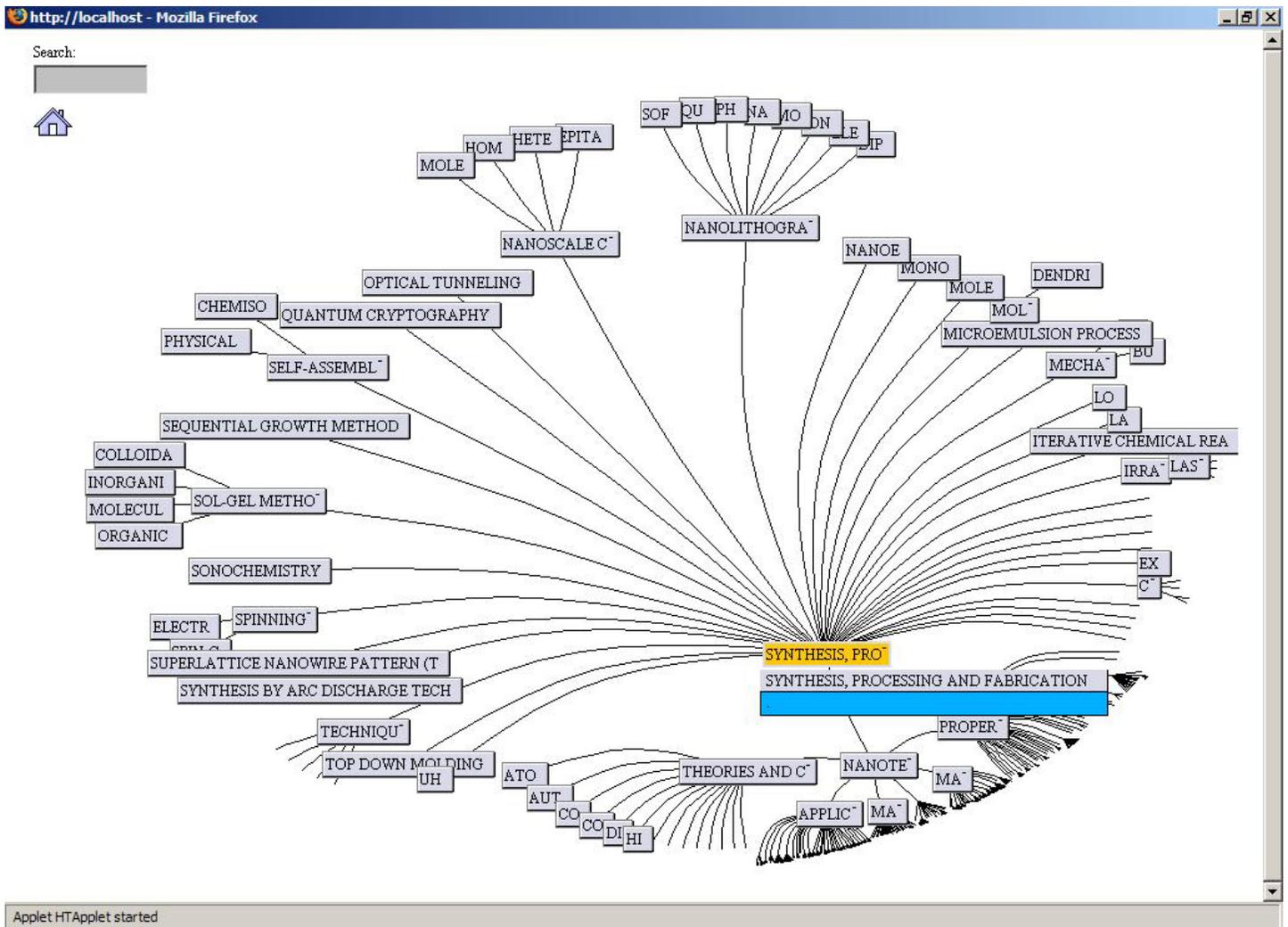


Figura 33 – Visão de uma abertura maior do ramo *SYNTHESIS, PROCESSING AND FABRICATION*

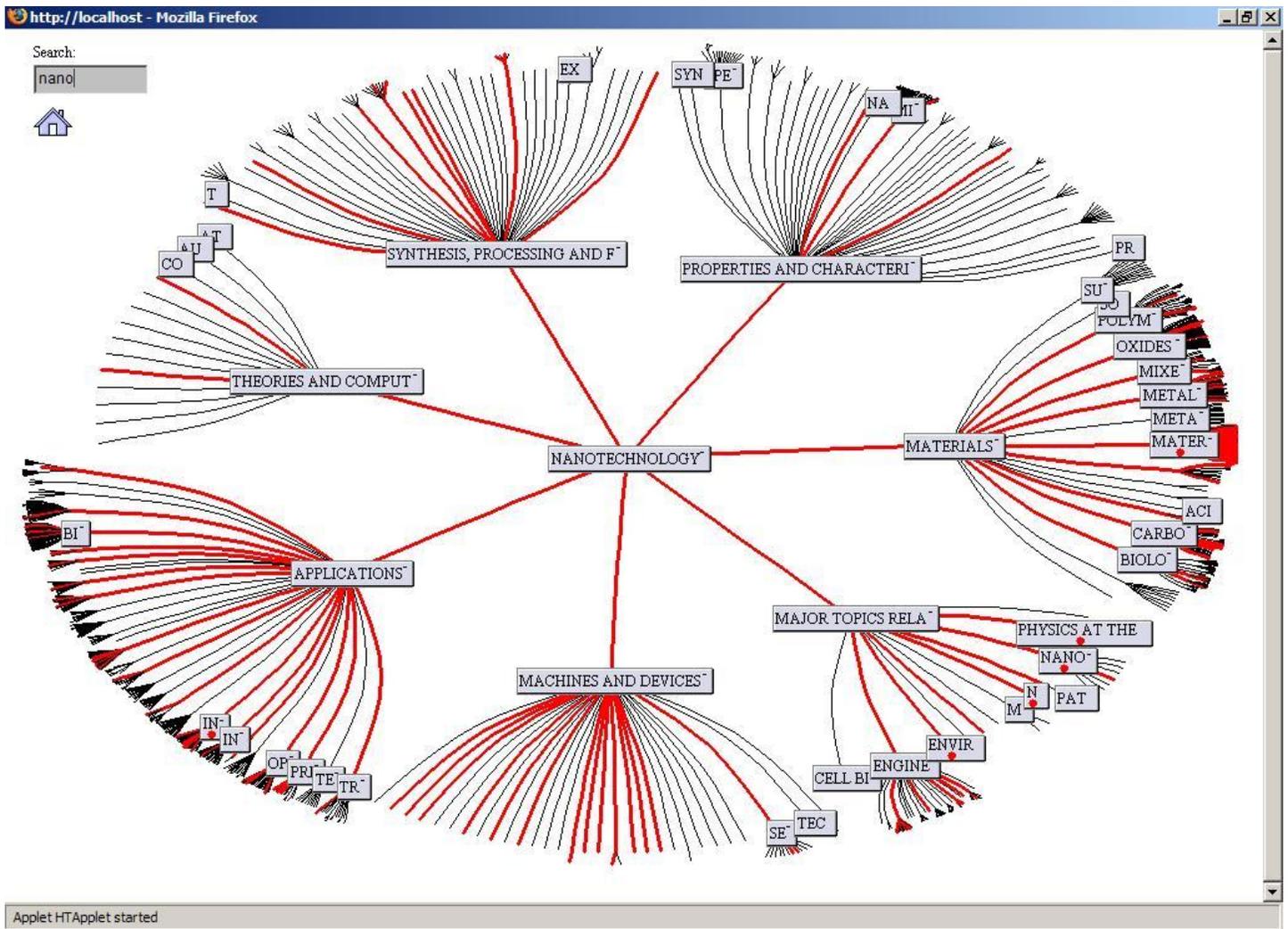


Figura 34 – Visão de uma busca pela palavra *nano*.

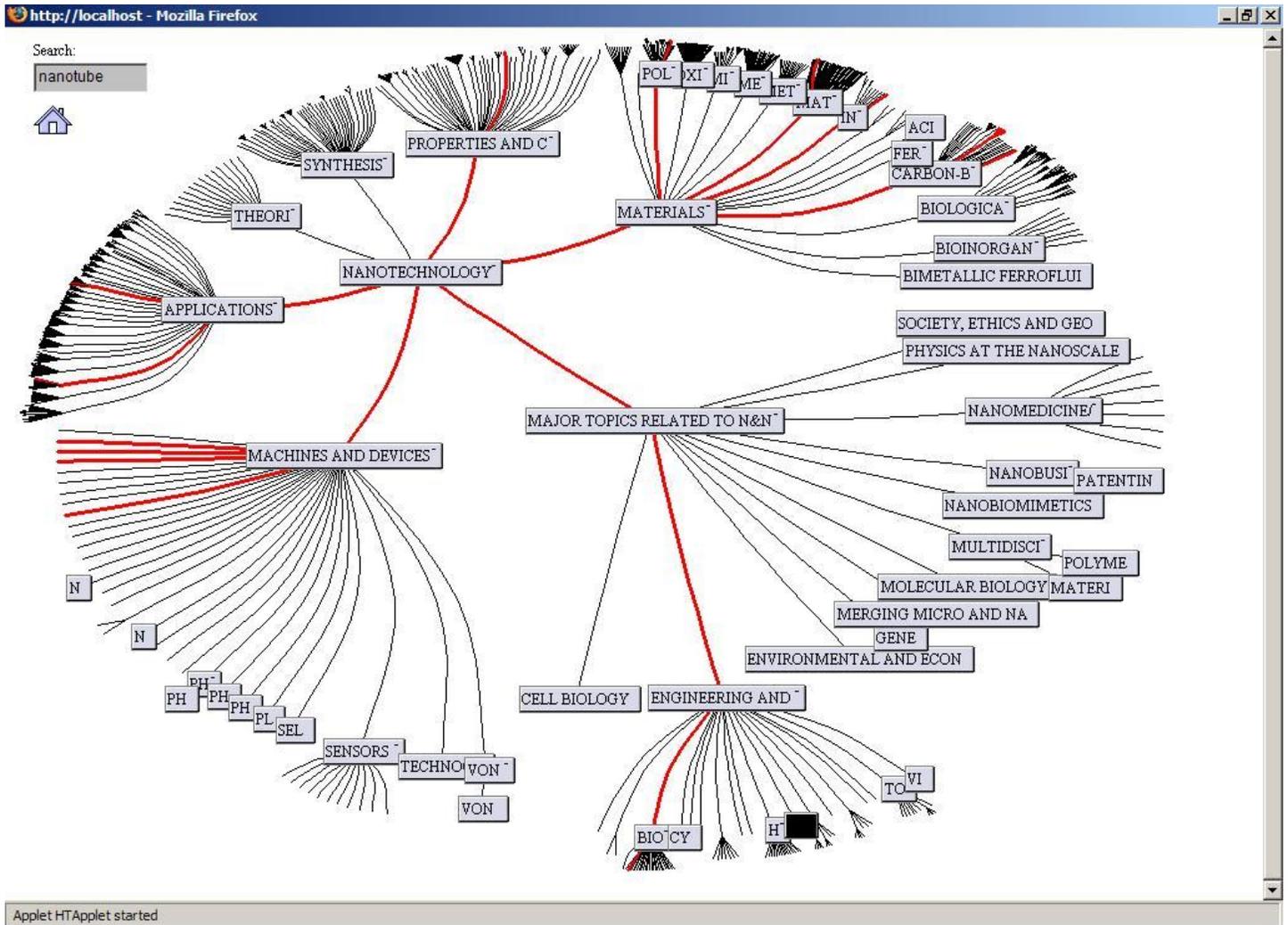


Figura 35 – Visão de uma busca pela palavra *nanotube*

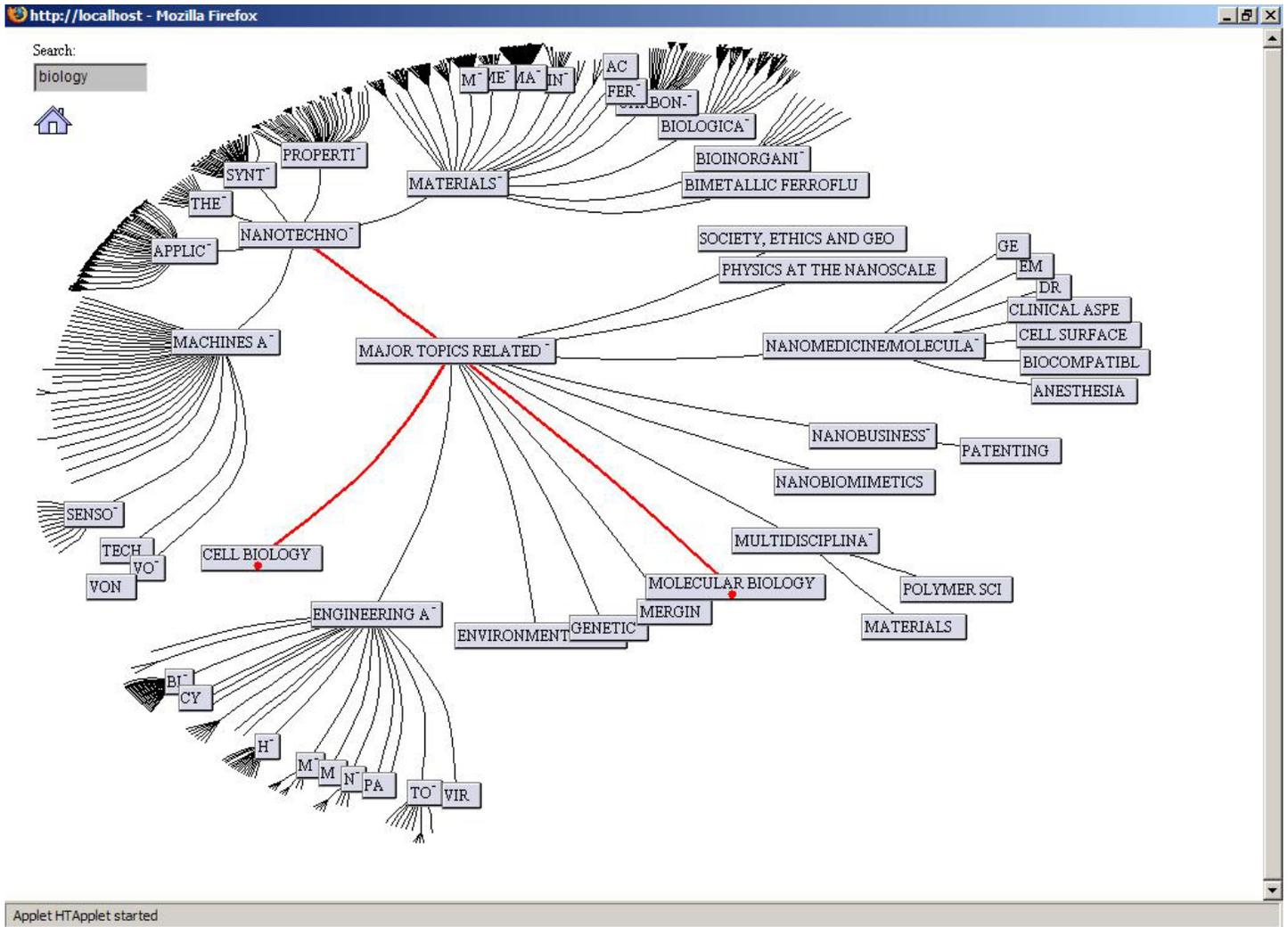


Figura 36 – Visão de uma busca pela palavra *biology*

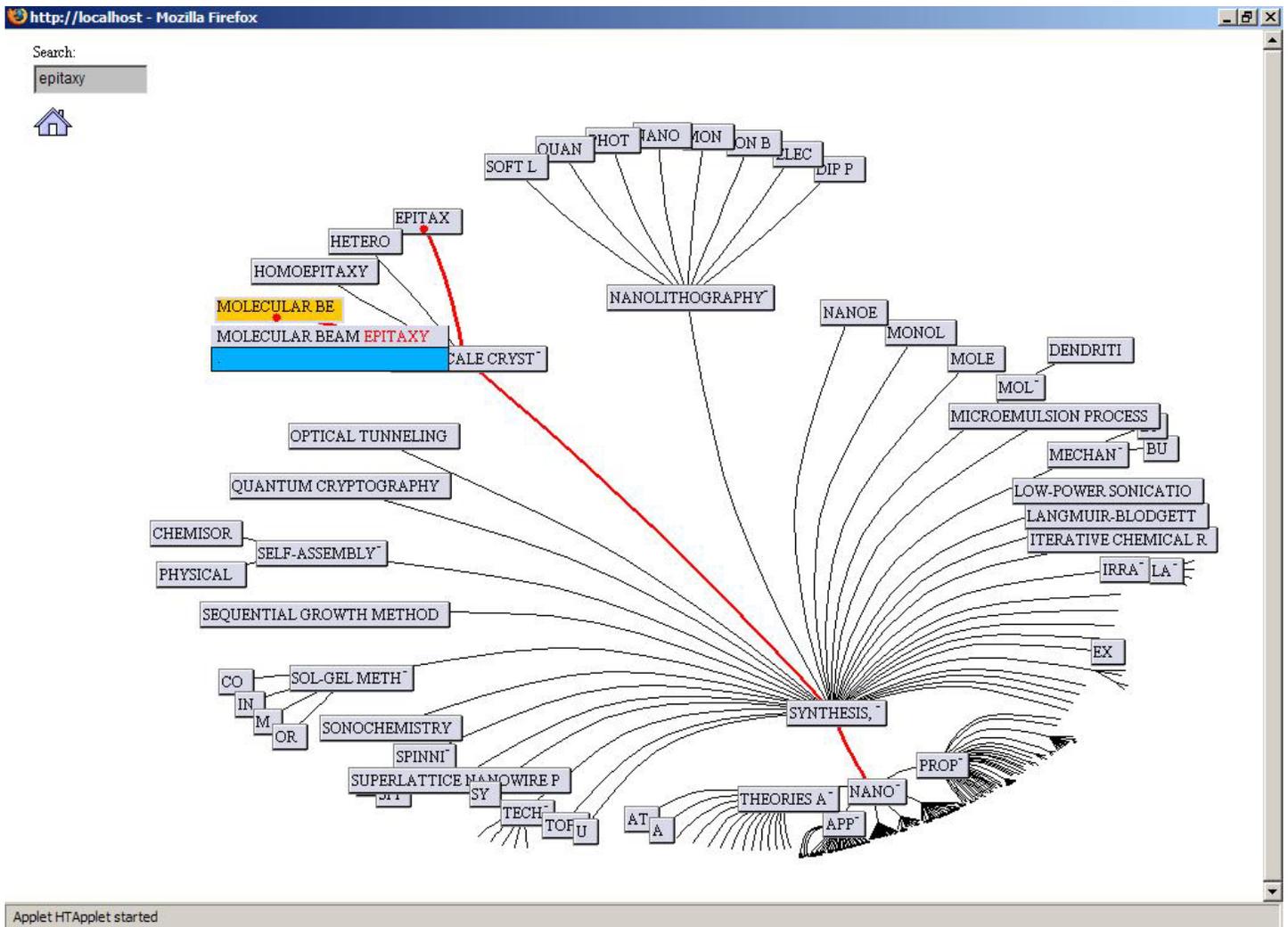


Figura 37 – Visão de uma busca pela palavra *epitaxy*

Apêndice 3 – Apresentação da Versão 4 da Ontologia para a Nanociência e Nanotecnologia com indicação da frequência e grau de conectividade dos termos no córpus principal do projeto

O formato para a apresentação da frequência e grau de conectividade dos termos no córpus é o seguinte. Por exemplo, tomemos o termo "Electrodeposition", para ele temos a seguinte linha:

[c(180,41)][f(182,51)] Electrodeposition

que indica que a conectividade desse termo é 41, e que ele aparece na 180^a posição na lista de hubs (que trata somente unigramas). Indica também que a frequência desse termo é 51, e ele aparece na 182^a posição na lista de frequência de unigramas.

Quando os termos possuem sinônimos nas formas de siglas, “termo X (ou termo Y)”, apresentamos a frequência e grau de conectividade para ambos, o termo e seu sinônimo, para analisarmos qual a preferência no córpus.

Quando o termo não aparece no córpus usamos o símbolo [-] para frequência e grau de conectividade e quando o termo é bi ou trigrama o grau de conectividade dele aparece também como [-].

[c(13,937)][f(15,1104)] Synthesis [c(25,546)][f(34,557)] Processing and
[c(30,491)][f(28,595)] Fabrication

[-][f(117,43)] Chemical synthesis

[-][-] Sol-gel methods

[-][-] Colloidal sol-gel

[-][-] Inorganic polymeric gel

[-][-] Organic polymeric gel

[-][-] Molecular Tectonics

[-][-] Molecular Encapsulation

[-][-] Dendritic Encapsulation

[-][-] Nanoscale crystal growth

[-][f(20,24)] Molecular beam epitaxy

[-][-] Homoepitaxy

[c(411,3)][f(417,3)] Heteroepitaxy

[-][-] Epitaxy of Ion-Irradiated Quartz

[c(50,293)][f(63,307)] Self-assembly

[c(348,6)][f(344,8)] Chemisorption

[-][-] Physical adsorption ([-][f(464,1)] layer-by-layer

technique)

[-][-] Techniques of deposition

[c(180,41)][f(182,51)] Electrodeposition

[-][f(9,40)] Chemical vapor deposition

[-][f(53,2)] Physical vapor deposition

[-][-] Glancing Angle Deposition

[-][-] Plasma Chemical Vapor Deposition

[-][-] Top Down Molding

[-][-] Nanoembossing Techniques

[-][f(366,4)] Atom Optics / [-][-] Irradiation Preparation of

Nanomaterials

[-][-] Laser Induced Surface Nanostructuring

[-][-] Laser focused atom deposition

[-][f(390,3)] Laser collimation

[-][-] Focused Ion Beam Nanofabrication

[-][-] LaserAssisted Scanning Probe Microscope

Nanofabrication

[-][-] Fabrication via reactive-ion etching laser focusing

[c(233,23)][f(207,36)] Nanolithography (or [-][-] Dynamic Powing
Lithography)

[-][f(12,37)] Electron beam lithography ([c(168,49)][f(183,50)]

EBL)

[-][f(51,3)] Ion Beam Lithography ([-][-] IBL)

[-][f(49,3)] Dip Pen Nanolithography ([c(293,13)][f(304,13)] DPN)

[-][f(309,7)] Nanoimprint Lithography ([c(390,4)][f(405,4)] NIL)

[-][-] Quantum Interferometric Lithography

[-][f(252,14)] Soft Lithography

[-][-] Monolayer-Based Scanning Probe Lithography

[c(200,32)][f(219,32)] Photolithography

[-][-] Monolayer-Assisted Electrochemical Nanopatterning

[-][f(68,69)] Quantum dot (or [c(108,97)][f(127,101)] nanocrystal)

[c(363,5)][f(375,5)] Double-dot

[c(218,27)][f(218,32)] Langmuir-Blodgett

[-][f(54,75)] Self-Assembled Monolayers

[-][-] Chemical Derivatization

[-][f(443,1)] Quantum Cryptography

- [-][f(58,1)] Superlattice Nanowire Pattern ([c(260,18)][f(272,19)] SNAP)
- [-][f(233,18)] Low-power sonication
- [-][-] Microemulsion Process
- [-][-] UHV-SPM Nanofabrication
- [-][-] Ion Sputtering on Metal Surfaces
- [-][f(41,7)] Sequential Growth Method
- [-][f(383,3)] Exponential assembly
- [-][-] Molecular imprinted polymers ([c(339,7)][f(309,12)] MIP)
- [-][-] Synthesis by Arc Discharge Technique
- [-][-] Cell Engineering
- [-][-] Discotic Liquid Crystal Fabrication
- [c(442,2)][f(451,2)] Mechanochemistry / [c(441,2)][f(473,2)]
- Mechanochemistry
 - [-][-] Diamond Mechanochemistry
 - [-][f(272,12)] Bulk technology
 - [-][-] Iterative chemical reactions ([-][f(361,4)] Branched polymers)
 - [-][-] Optical Tunneling
 - [-][-] Electrically Detected Magnetic Resonance
 - [-][-] Atomic Manipulation by Scanning Tunneling Microscopy
 - [-][f(59,1)] Inelastic Electron Tunneling
 - [-][-] Analytical Ultracentrifugation of Nanoparticles
 - [-][-] Dendrimer synthesis
 - [-][f(411,2)] Convergent synthesis
 - [-][-] Divergent synthesis
- [c(7,1938)][f(6,2631)] Materials
 - [c(82,166)][f(89,184)] Metals and [c(145,63)][f(159,71)] alloys
 - [-][-] Bimetallic nanoparticles
 - [-][-] Noble Metal Nanocolloids
 - [-][-] Embedded Metals
 - [-][f(330,6)] Nanophase Metals
 - [-][-] Bulk Nanostructured Alloys
 - [c(134,73)][f(133,89)] Aluminum
 - [-][-] Aluminium alloys
 - [c(81,168)][f(85,202)] Silver
 - [c(146,63)][f(138,86)] Calcium
 - [c(123,80)][f(130,90)] Cobalt
 - [c(112,92)][f(117,109)] Copper
 - [-][-] Copper alloys
 - [c(40,393)][f(32,569)] Gold
 - [-][-] Gold-palladium alloy
 - [-][f(224,19)] Colloidal Gold
 - [c(95,133)][f(94,170)] Iron
 - [c(21,726)][f(25,735)] Lead
 - [c(270,16)][f(241,25)] Lithium
 - [c(206,30)][f(202,38)] Magnesium
 - [-][-] Magnesium alloys
 - [c(351,6)][f(363,6)] Magnetite
 - [c(298,12)][f(284,16)] Mercury
 - [c(302,11)][f(311,11)] Molybdenum
 - [c(111,94)][f(120,104)] Nickel
 - [-][-] Nickel alloy
 - [-][-] Nickel-iron alloy
 - [c(492,1)][f(493,1)] Niobium
 - [c(194,35)][f(195,40)] Palladium
 - [c(204,31)][f(197,40)] Platinum
 - [c(118,84)][f(137,86)] Steel
 - [c(357,6)][f(373,6)] Superalloys

- [c(288,14)][f(298,14)] Superconductors
 - [-][-] Nanopinning in High-Temperature
- [c(149,63)][f(124,102)] Titanium
 - [-][-] Titanium alloy
- [c(185,40)][f(152,77)] Tungsten
- [c(96,126)][f(99,156)] Zinc
 - [-][-] Zinc alloys
 - [-][-] Fe-Cu Nanoalloying
- [-][-] Electrodeposited Nanogranular Magnetic Alloys
- [c(163,52)][f(181,52)] Gases and [c(424,3)][f(404,4)] vapors
- [c(208,29)][f(55,337)] Acids
- [-][-] Metallic complexes
 - [-][-] Ruthenium complexes
 - [-][-] Zinc complexes
 - [-][-] Iron complexes
 - [-][-] Manganese complexes
 - [-][-] Cobalt complexes
 - [-][-] Vanadium complexes
 - [-][-] Europium complexes
 - [-][-] Samarium complexes
 - [-][-] Terbium complexes
 - [-][-] Ytterbium complexes
 - [-][-] Silver complexes
 - [-][-] Nickel complexes
 - [-][-] Chromium complexes
 - [-][-] Platinum complexes
- [-][f(478,1)] Inorganic Semiconductors
 - [c(16,827)][f(18,941)] Silicon
 - [-][-] Nanocrystalline Silicon Superlattices
 - [-][f(107,46)] Porous silicon
 - [-][-] Nanoporous silicon
 - [c(305,10)][f(303,13)] Germanium
 - [-][-] Boron nitride nanotubes
 - [-][f(14,169)] Quantum dots
 - [-][-] Quantum Dot Infrared Photodetector
 - [-][f(23,13)] Semiconductor Quantum Dots
 - [-][-] Silicon Quantum Dots
- [c(183,40)][f(175,53)] Cadmium
 - [-][-] Gallium e
- [c(40,393)][f(32,569)] Gold
- [c(181,41)][f(176,53)] Gallium
- [c(286,14)][f(250,24)] Indium
 - [-][-] Atomic Structure of Defects in Semiconductors
- [-][f(398,2)] Carbon-based materials
 - [-][f(5,671)] Carbon nanotubes
 - [-][-] Carbon Nanotube-Based Field Emitters
 - [-][-] Carbon Nanotube-Based Supercapacitors
 - [-][f(50,3)] Carbon Nanotube Tips
 - [-][f(68,1)] Doped Carbon Nanotubes
 - [-][-] Carbon Nanotubes in Composite Materials
 - [-][-] Cluster-Assembled Nanostructured Carbon
 - [-][-] Single Wall Carbon Nanotubes
 - [-][f(46,5)] Aligned Carbon Nanotubes
 - [-][-] Macroscopically Aligned Carbon Nanotubes
 - [-][f(15,35)] Multiwalled Carbon nanotubes
 - [-][-] Field Emission of Carbon Nanotubes
 - [-][-] Filling of Carbon Nanotubes

- [-][-] Hydrogen Storage by Carbon Nanotubes
- [-][-] Carbon Nanotube Sensors
- [-][-] Nanoporous Carbons
- [c(155,59)][f(163,65)] Fullerenes / [-][-] Buckminsterfullerenes
 - [c(296,12)][f(322,10)] Buckyballs
 - [-][-] Fullerites
 - [-][-] Fullerides
 - [-][-] Endohedral fullerenes
 - [-][-] Exohedral fullerenes
 - [-][-] Heterofullerenes
 - [-][-] Metcars
 - [-][-] Fullerene Dimers
 - [-][-] Fullerene Lipid Films
 - [-][f(334,6)] Uncoated Fullerenes
- [-][f(271,12)] Graphene sheet
- [-][f(264,13)] Carbon black
- [-][-] C60-Based Materials
- [-][-] Nanostructured Carbide-Derived Carbon
- [-][-] Carbon Nanostructures for Cold Electron Sources
- [-][f(436,2)] Carbon Composites
- [c(172,46)][f(186,49)] Graphene
- [-][-] Highly Oriented Pirolytical Graphite
- [-][f(237,18)] Carbon fibers
- [-][-] OLED or [-][-] Organic LED
- [-][-] Boron-Carbon Nitride Nanohybrids
- [-][-] Boron Nitride Nanotubes
- [-][f(300,9)] Carbon fiber
- [-][f(251,15)] polymer composites
- [-][-] Carbon nanohorns
- [c(80,170)][f(90,181)] Diamond
 - [-][-] Diamond Nanocrystals
- [c(196,34)][f(212,34)] Diamondoid
- [c(92,141)][f(101,152)] Graphite
- [-][f(129,40)] Multiwalled carbon
- [-][f(131,40)] Single-walled carbon
- [-][f(204,24)] Vulcan carbon
- [c(314,9)][f(331,9)] Nanocones
- [c(182,41)][f(150,78)] Oxides and [c(235,23)][f(252,23)] salts
 - [-][-] Nanogranular Metal Oxides
 - [-][-] Ferroelectric Nanocrystal Dispersed Oxide Glasses
 - [-][f(144,34)] Titanium dioxide
 - [-][-] Sílica
 - [-][-] Bioconjugated Silica
 - [-][-] Molecular Sieve Silica Membranes
 - [-][-] Protein-Doped Nanoporous Silica Gels
- [-][f(450,1)] Vanadium pentoxide
- [c(90,143)][f(92,178)] Alumina
 - [-][-] Aluminium silicate
 - [-][-] Aluminosilicate powder
 - [-][-] Barium sulphate
 - [-][f(467,1)] Barium titanate
 - [-][-] Barium titanium oxide ([-][-] BaTiO3)
 - [-][-] Bismuth oxide
 - [-][-] Calcium carbide
 - [-][f(470,1)] Calcium carbonate
 - [-][f(419,2)] Calcium fluoride
 - [-][f(321,6)] Calcium phosphate

- [-][-] Cerium oxide
- [-][-] Lathanum oxide
- [-][f(373,4)] Zirconium oxide
- [-][-] Praeseodymium oxide
- [-][-] Copper oxide
- [-][-] Indium oxide
- [-][f(36,7)] Indium Tin Oxide ([c(306,10)][f(301,13)] ITO)
- [-][f(279,11)] Iron oxide
- [-][-] Lithium carbonate
- [-][-] Lithium cobalt oxide
- [-][-] Lithium manganese oxide
- [-][-] Lithium molybdenum selenide
- [-][-] Lithium niobate
- [-][f(451,1)] Lithium titanate
- [-][f(165,31)] Tungsten oxide
- [-][f(180,29)] Walled carbon
- [-][-] Sulfur dioxide
- [-][f(243,16)] Zinc oxide
- [-][-] Zinc sulphide
- [-][-] Zirconium dioxide
- [-][f(373,4)] Zirconium oxide
- [-][-] Mixed composition materials
 - [c(176,44)][f(125,102)] Ceramics and [c(477,1)][f(503,1)] Clays
 - [c(248,20)][f(239,25)] Hydroxyapatite
 - [c(367,5)][f(317,10)] Montmorillonite
 - [c(360,6)][f(368,6)] Zeolites
 - [-][-] Ball clays
 - [-][-] Bentonite
 - [-][-] Ceramic Nanopowders
 - [-][-] Common clay
 - [-][-] Fire clay
 - [-][-] Fuller's clay
 - [-][-] Kaolin
 - [c(382,4)][f(381,5)] Electroceramic
 - [c(68,211)][f(65,290)] Crystals
 - [-][f(227,19)] Photonic crystals
 - [-][-] Photonic Crystal Laser
 - [c(161,53)][f(178,53)] Quartz
 - [c(227,24)][f(244,24)] Rubber
 - [-][-] Nanoicosahedral Quasicrystal
 - [-][f(421,2)] Silicone oil
 - [-][-] Hydrogenated Nanocrystalline Silicons
 - [-][-] Silicone rubber
 - [c(334,8)][f(296,14)] Textiles
 - [c(242,21)][f(230,28)] Cotton
 - [c(301,12)][f(300,13)] Wax
 - [-][f(298,9)] Fossil fuels
 - [c(98,118)][f(109,131)] Oil
 - [c(213,28)][f(225,30)] Petroleum
 - [c(284,14)][f(297,14)] Coal
 - [-][f(355,4)] Natural Gas
 - [-][-] Natural oil
 - [-][-] Bimetallic Ferrofluids
 - [-][-] Bioinorganics / [-][-] Supramolecular Molecules
 - [-][-] Phthalocyanines
 - [c(319,9)][f(321,10)] Porphyrins
 - [-][-] Azobenzenes

[c(474,1)][f(483,1)] Calixarenes
 [c(283,14)][f(266,20)] Chlorophyll
 [c(207,30)][f(206,36)] Rotaxanes
 [c(282,14)][f(293,15)] Catenanes
 [c(43,331)][f(50,384)] Polymers
 [c(214,28)][f(229,28)] Plastics
 [c(256,19)][f(236,27)] Lignin
 [-][-] Matrix polymers
 [-][-] Nanostructured Bipolar Organic Polymers
 [-][f(329,6)] Conducting Polymer
 [-][-] Phthalocyanines
 [-][-] Block polymers
 [-][f(318,7)] Polymer brushes
 [c(151,61)][f(118,107)] Dendrimers
 [-][f(213,22)] Pamam dendrimers
 [-][-] Polyamineamide
 [-][-] Biodendrimers
 [-][-] Stilbenoid Dendrimers
 [-][f(363,4)] Conjugated polymers
 [-][-] Polyacetylenes
 [-][-] Polyanilines
 [c(497,1)][f(494,1)] Polypyrroles
 [c(458,2)][f(428,3)] Polythiophenes
 [-][-] Luminescent Polymers
 [-][-] Poly(p-phenylene vinylenes)
 [-][f(490,1)] Polyfluorenes
 [-][-] Polycarbazoles
 [-][-] Ferroelectric polymers
 [-][f(439,2)] Polyvinylidene fluoride ([c(373,5)][f(380,5)]
 PVDF)
 [-][-] Inherently Conducting Polymer
 [-][-] Insulating polymers
 [c(341,7)][f(233,28)] Polyethylene
 [-][f(437,2)] Polyethylene terephthalate
 [-][-] Polytetrafluorethylene
 [c(496,1)][f(506,1)] Polyesters
 [-][-] Polyvinyl chloride
 [c(272,16)][f(285,16)] Nylon
 [-][-] Poly(methyl methacrylate)
 [-][-] Polyacrylates
 [-][f(469,1)] Polyacrylic acid
 [c(355,6)][f(353,7)] Polycarbonate
 [c(420,3)][f(413,3)] Polyolefins
 [c(372,5)][f(360,6)] Polypropylene
 [-][-] Polypropylene resins
 [c(498,1)][f(511,1)] Polysiloxane
 [c(356,6)][f(358,7)] Polystyrenes
 [-][-] Polysulfones
 [c(499,1)][f(495,1)] Polyurethanes
 [-][-] Supramolecular Coordination Polymers
 [-][-] Polymeric Drug
 [c(310,10)][f(270,19)] Polysaccharides
 [c(192,35)][f(192,43)] Cellulose
 [c(349,6)][f(350,8)] Chitin
 [c(292,13)][f(276,17)] Chitosan
 [-][f(332,6)] Biodegradable polymers
 [c(330,8)][f(290,15)] Polyelectrolytes

- [-][f(253,14)] Polyethylene glycol
- [-][f(176,30)] Polymer matrix
- [c(141,69)][f(156,73)] Solvents
- [-][f(284,11)] Biological materials
 - [-][-] Adenosines
 - [-][f(350,5)] Adenosine Triphosphate
- ([c(105,100)][f(112,125)] ATP)
 - [-][f(444,1)] Adenosine Diphosphate ([c(379,4)][f(407,4)] ABP)
 - [-][f(472,1)] Adenosine Monophosphate
- ([c(202,31)][f(224,31)] AMP)
 - [c(121,81)][f(131,90)] Microorganisms
 - [c(23,682)][f(23,806)] Bacteria
 - [c(102,103)][f(110,128)] Fungi
 - [c(276,15)][f(288,16)] Protozoa
 - [c(76,184)][f(86,199)] Viruses
 - [c(188,39)][f(190,47)] Lipids
 - [-][f(219,21)] Fatty acids
 - [-][-] Glycerophospholipids
 - [c(462,2)][f(458,2)] Sphingolipids
 - [-][-] Sterol lipids
 - [c(238,22)][f(196,40)] Cholesterol
 - [-][-] Secosteroids
 - [-][-] Bile acids
 - [-][-] Hopanoids
 - [-][-] Steroid conjugates
 - [-][-] Prenol lipids
 - [c(297,12)][f(310,12)] Isoprenoids
 - [-][-] [-][-] Quinones and [-][-] hydroquinones
 - [-][-] Polyprenols
 - [-][-] Saccharolipids
 - [-][-] Acylaminosugars
 - [-][-] Acylaminosugar glycans
 - [c(470,1)][f(487,1)] Acyltrehaloses
 - [-][-] Acyltrehalose glycans
 - [-][-] Polyketides
 - [-][-] Macrolide polyketides
 - [-][-] Aromatic polyketides
 - [-][f(404,2)] Non-ribosomal peptide /
 - [c(295,13)][f(283,16)] polyketide
 - [c(262,17)][f(220,32)] Liposomes
 - [-][f(69,1)] Solid Lipid Nanoparticles
 - [-][-] Nanostructured Lipid Carriers
 - [c(2,3239)][f(3,3998)] Proteins
 - [-][f(17,159)] Amino acids
 - [c(66,218)][f(66,286)] Peptides
 - [-][f(173,30)] Protein fold
 - [c(52,286)][f(60,314)] Homology
 - [c(4,2823)][f(4,3268)] Structure
 - [-][f(427,2)] Quaternary structure
 - [-][f(215,22)] Tertiary structure
 - [-][f(15,166)] Secondary structure
 - [-][f(260,14)] Primary Structure
 - [c(31,479)][f(36,519)] Enzymes
 - [c(267,16)][f(269,19)] ATPases
 - [c(331,8)][f(332,9)] Ribonuclease
 - [c(221,27)][f(209,34)] Phosphatases

- [c(258,18)][f(255,23)] Hydrolases
- [c(413,3)][f(422,3)] Lipases
- [-][-] Carbohydrases
- [c(174,45)][f(170,56)] Proteases
- [c(385,4)][f(341,8)] Holoenzyme
- [-][-] Hydrogen peroxidase
- [-][-] Oxireductases
- [c(481,1)][f(496,1)] Lyases
- [c(412,3)][f(427,3)] Isomerases
- [c(117,87)][f(126,102)] Kinases
- [-][f(231,18)] Catalytic activity
- [-][f(337,6)] Globular proteins
- [-][f(42,85)] Membrane proteins
 - [-][f(247,16)] Transmembrane protein
 - [-][-] Integral protein
 - [-][-] Peripheral protein
 - [-][-] Anchored protein
- [c(58,241)][f(67,274)] Antibodies
- [c(113,90)][f(123,103)] Antibiotics
- [-][f(130,40)] Ribosomal protein
- [c(193,35)][f(203,37)] Hormones
- [c(147,63)][f(148,79)] Cytochrome
- [c(187,39)][f(177,53)] Collagen
- [-][f(78,63)] Fluorescent protein
- [-][f(7,57)] Green fluorescent protein
- [-][f(93,53)] Binding protein
- [-][f(112,44)] Fusion proteins
- [-][f(155,32)] Target proteins
- [-][-] 2D Protein Crystals
- [-][f(278,11)] Molecular Docking
- [-][f(293,9)] Molecular Chaperones
- [c(255,19)][f(268,19)] Carbohydrates
 - [c(444,2)][f(469,2)] Monosaccharides
 - [c(409,3)][f(418,3)] Disaccharides
 - [c(310,10)][f(270,19)] Polysaccharides
 - [-][-] Homopolysaccharides
 - [c(192,35)][f(192,43)] Cellulose
 - [-][-] Carrageen
 - [c(346,6)][f(355,7)] Amylose
 - [-][f(507,1)] Inulin
 - [c(349,6)][f(350,8)] Chitin
 - [c(292,13)][f(276,17)] Chitosan
 - [-][f(401,4)] Cyclodextrin
 - [c(400,3)][f(419,3)] Amylopectin
 - [c(438,2)][f(436,3)] Glycogen
 - [c(455,2)][f(406,4)] Pectin
 - [-][-] Heteropolysaccharides
 - [c(479,1)][f(492,1)] Gums
 - [-][-] Chiral Macrocycles
 - [-][-] Hemicelluloses
 - [-][-] Glucomannan
 - [-][-] Galactoglucomannan
 - [c(508,1)][f(475,2)] Xyloglucan
 - [-][-] 4-O-methylglucuronoxylan
 - [-][-] Arabinoxylan
 - [-][-] 4-O-Methylglucuronoarabinoxylan
 - [c(366,5)][f(361,6)] Glycosaminoglycans

```

[c(427,2)][f(399,4)] Chondroitin
[-][-] Hyaluronic acid
[-][-] Alginate acid
[-][f(31,98)] Nucleic acids
[c(130,76)][f(146,82)] Nucleotides
[-][-] Adenines
[c(285,14)][f(273,18)] Cytosine
[c(261,17)][f(275,18)] Guanine
[c(423,3)][f(383,5)] Uracil
[c(376,5)][f(370,6)] Thymine
[-][f(58,74)] Nucleotide polymorphisms
[-][f(187,28)] Antisense oligonucleotides
[-][f(114,43)] Nucleotide polymorphism
[-][f(57,2)] Nucleic acid structure
[-][f(280,11)] Deoxyribonucleic Acid ([c(3,3046)][f(2,4424)]
DNA)
[-][f(106,46)] DNA binding
[-][f(175,30)] DNA oligonucleotides
[-][f(276,11)] Molecular beacons
[-][f(10,209)] Sequence tags
[-][f(157,32)] Mitochondrial DNA
[-][f(168,30)] DNA strands
[c(72,202)][f(42,446)] Polymorphisms
([c(99,114)][f(115,117)] SNPS)
[-][f(160,31)] Flanking sequences
[-][f(362,4)] Ribonucleic Acid ([c(15,853)][f(14,1155)] RNA)
[-][f(434,2)] RNA oligonucleotides
[-][f(190,28)] RNA polymerase
[-][f(181,29)] Interfering RNA
[-][f(359,4)] Non-coding RNA
[c(1,6040)][f(1,6927)] Genes
[-][f(98,49)] Virulence genes
[-][f(99,49)] Receptor gene
[-][f(101,49)] Microbiology genomics
[-][f(126,40)] Differential gene
[-][f(134,39)] Disease genes
[-][f(137,37)] Gene delivery
[-][f(145,34)] Protein-coding genes
[-][f(152,33)] Orthologous genes
[-][f(154,32)] Gene disruption
[-][f(156,32)] Gene ontology
[-][f(169,30)] Resistance gene
[-][f(177,30)] Plant genes
[-][f(132,39)] Essential genes
[-][f(396,2)] Animal genes
[-][f(445,1)] Bacteria genes
[-][f(415,2)] Virus genes
[-][-] Fungi genes
[-][-] Protozoa genes
[-][f(196,27)] Genes required
[-][f(53,75)] Regulatory elements
[-][f(66,71)] Base pairs
[-][f(116,43)] Transposable element
[-][f(124,40)] Gene clusters
[-][-] Chromosomes
[-][f(144,83)] Nucleotide-sequence
[c(5,2232)][f(5,2747)] Cells

```

- [c(32,454)][f(39,478)] Tissues
 - [-][f(67,69)] Cell cycle
 - [-][f(406,2)] Cell metabolism
 - [-][f(268,12)] Cell signaling
 - [c(394,4)][f(410,4)] Supercell
 - [-][-] Cell chemical reactions
 - [-][f(35,90)] Cell lines
 - [-][f(128,40)] Dendritic cells
 - [-][f(38,87)] Cancer cells
 - [-][f(200,25)] Eukaryotic cells
 - [-][f(384,3)] Prokaryotic cells
 - [c(217,27)][f(234,27)] Cytoplasm
 - [c(162,52)][f(149,79)] Chloroplast
 - [c(226,24)][f(199,38)] Ribosome
 - [-][-] Golgi body
 - [c(340,7)][f(354,7)] Mitochondrion
 - [-][f(49,80)] Aqueous Solution
 - [c(476,1)][f(453,2)] Centrosome
 - [c(439,2)][f(438,2)] Lysosome
 - [c(279,15)][f(286,16)] Vacuole
 - [-][-] Rough Endoplasmic reticulum
 - [-][-] Smooth Endoplasmic reticulum
 - [-][f(289,10)] Cell membrane
 - [c(188,39)][f(190,47)] Lipids
 - [c(2,3239)][f(3,3998)] Proteins
 - [-][-] Bylayer structure
 - [-][f(192,27)] Ion channels
 - [-][-] Nanostructured Extracellular Matrix
 - [c(128,77)][f(134,89)] Nucleus
 - [c(391,4)][f(335,9)] Nucleolus
 - [-][f(418,2)] Nuclear membrane
 - [-][f(46,81)] Cell wall
 - [-][-] Extra cellular environment
 - [-][-] Natural substances
 - [c(300,12)][f(308,12)] Vitamins
 - [-][-] Vitamin A
 - [-][-] Vitamin B1
 - [-][-] Vitamin B2
 - [-][-] Vitamin B3
 - [-][-] Vitamin B5
 - [-][-] Vitamin B6
 - [-][-] Vitamin B6
 - [-][-] Vitamin B12
 - [-][-] Vitamin C
 - [-][-] Vitamin D
 - [-][-] Vitamin E
 - [-][-] Vitamin K
 - [c(326,8)][f(324,10)] Flavonoids
 - [-][-] Flavones
 - [c(480,1)][f(446,2)] Isoflavones
 - [-][-] Flavonols
 - [-][-] Flavonones
 - [-][-] Xantolones
- [c(201,32)][f(198,39)] Surfactants / [c(224,24)][f(246,24)] Colloids
 - [c(408,3)][f(396,4)] Detergents
 - [c(2,3239)][f(3,3998)] Proteins

- [c(138,71)][f(121,104)] Micelles
- [c(43,331)][f(50,384)] Polymers
- [c(274,15)][f(291,15)] Bubble
- [c(383,4)][f(391,4)] Foam
- [c(188,39)][f(190,47)] Lipids
- [c(138,71)][f(121,104)] Micelles
- [c(110,94)][f(88,184)] Monolayers
- [c(478,1)][f(514,1)] Emulsions
- [c(186,40)][f(187,49)] Vesicles
 - [c(262,17)][f(220,32)] Liposomes
- [c(410,3)][f(408,4)] Ferroelectrics
 - [-][f(234,18)] Magnetic materials
 - [-][f(273,12)] Giant Magnetoresistance
 - [-][-] Ferroelectric Nanodomains
- [-][-] Humic substances
 - [-][-] Humic acid
 - [-][-] Humic salts
- [c(154,60)][f(132,89)] Gels
 - [c(344,6)][f(372,6)] Aerogels
 - [c(269,16)][f(222,31)] Hydrogels
- [-][-] Materials in the nanoscale
 - [c(483,1)][f(505,1)] Nanoaccelerometers
 - [c(387,4)][f(411,4)] Nanoantenna
 - [c(446,2)][f(454,2)] Nanoartefacts
 - [-][-] Nanobrushes
 - [c(251,20)][f(261,21)] Nanocapsules
 - [c(250,20)][f(257,23)] Nanobelts
 - [-][-] Nano-emulsions
 - [c(70,202)][f(78,223)] Nanofibers
 - [-][-] Nanoflighter
 - [c(307,10)][f(316,10)] Nanofluids
 - [-][-] Nanocatalysts
 - [c(75,184)][f(80,213)] Nanocomposites
 - [-][-] Glasses with metal nanoclusters
 - [-][-] Biodoped Sol-Gel Polymer Nanocomposites
 - [-][-] Dendrimer-Metal Nanocomposites
 - [-][-] Dye Nanocomposites
 - [-][-] Inorganic Nanocomposites
 - [-][-] Polymers Particles
 - [-][-] Polymer Electrolyte Nanocomposites
 - [-][-] Polyaniline Fractal Nanocomposites
 - [-][f(246,16)] Epoxy Nanocomposites
 - [-][-] Clay Nanocomposites
 - [-][-] Manganite Nanocomposites
 - [-][-] Superhard Nanocomposites
 - [-][-] Nanoparticle Reinforced Thermoplastic Composites
 - [-][f(228,19)] Carbon Nanocomposites
 - [-][f(246,16)] Epoxy Nanocomposites
- [c(122,81)][f(141,84)] Nanocomputers
 - [-][-] Nanomechanical Computers
 - [-][-] Nanoelectronic Computers
 - [-][f(193,27)] Molecular Wires
 - [-][-] Electromechanical Molecular Switching Devices
 - [-][-] Field-Controlled Molecular Switching Devices
 - [-][-] Molecular Electrostatic Field Computers
 - [-][-] Biocomputers
 - [-][-] Biochemical Computers

- [-][-] Biomechanical Computers
- [-][-] Organic Computers
- [-][-] Bioelectronic Computers
- [-][-] Reversible Computers
- [-][f(203,24)] Quantum Computers
 - [-][f(313,7)] Quantum algorithms
 - [-][f(438,2)] Quantum communication
 - [-][f(443,1)] Quantum cryptography
 - [-][f(274,12)] Quantum devices
 - [-][-] Quantum information theory
- [-][-] Bekenstein-Bounded Computation
- [c(223,26)][f(238,26)] Nanocubes
- [c(447,2)][f(463,2)] Nanobatteries
- [-][-] Molecular Integrated Microsystems ([-][-] MIMS)
- [c(132,75)][f(153,75)] Nanodots
- [-][-] MEMS-Based Nanotechnology
- [c(484,1)][f(512,1)] Nanoactuators
- [-][-] Nanocables
- [c(42,358)][f(46,410)] Nanocrystals
 - [-][f(205,24)] Semiconductor nanocrystals
 - [-][-] Ferroelectric Nanocrystal Dispersed Oxide Glasses
 - [-][-] Nanocrystals Assembled from the Bottom Up
 - [-][-] Nanocrystals from Solutions
 - [-][-] Nanocrystals from Gels
 - [-][-] Nanocrystals in Organic Materials
 - [-][-] Nanocrystals in Inorganic Materials
 - [-][-] Low-Dimensional Nanocrystals
 - [-][-] Nanocrystal Memories
 - [-][-] Quantum Confined Atoms ([c(47,306)][f(64,306)] QCA)
 - [-][-] Drug Nanocrystals of Poorly Soluble Drugs
 - [-][-] Drug Nanocrystals of Poorly Soluble Drugs
 - [-][-] Nanocrystalline Phosphors
 - [-][f(345,6)] Ferrite Nanocrystals
 - [-][f(348,6)] Chrysotile Nanocrystals
 - [c(406,3)][f(420,3)] Crystallogenes
 - [-][f(348,6)] Chrysotile Nanocrystals
 - [-][-] Nanocrystalline Film Dye-Sensitized
- [-][-] Nanoscale End-Effectors and [-][-] Tool Tips
- [c(449,2)][f(474,2)] Nanocontainers
- [c(251,20)][f(261,21)] Nanocapsules
- [-][-] Nanocentrifuge sortation / [-][-] Nanoscale centrifuges
- [-][-] Nanostructured Chalcogenide Glasses
- [c(416,3)][f(424,3)] Nanojunctions
- [-][-] Nanoscopic Optical Tracers
- [-][-] Electrochemical Nanoelectrodes
- [-][-] Nanodumbbells
- [c(70,202)][f(78,223)] Nanofibers
 - [-][f(331,6)] Electrospun Nanofibers
- [c(415,3)][f(415,3)] Nanofillers
- [c(388,4)][f(409,4)] Nanofilms
- [c(485,1)][f(509,1)] Nanofilaments
- [-][-] Nanofilter
- [c(352,6)][f(374,6)] Nanofoam
- [-][-] Nanofuels
- [-][-] Nanogellant
- [-][-] Nanohelices
- [c(486,1)][f(485,1)] Nanohorns

- [-][-] Nanohybrids
 - [-][-] Luminescent Organic-Inorganic Nanohybrids
 - [-][-] Boron-Carbon Nitride Nanohybrids
- [-][-] Nanoinks
- [-][-] Ion Implanted Nanostructures
- [-][-] Nanolaminates
- [-][-] Nanomembranes
- [c(418,3)][f(433,3)] Nanoneedles
- [c(369,5)][f(329,9)] Nanoindentation
- [c(11,1006)][f(13,1329)] Nanoparticles
 - [-][-] Biogenic Nanoparticles
 - [-][f(259,14)] Magnetic Nanoparticles
 - [-][f(371,4)] Polymeric Nanoparticles
 - [-][-] Fivefold Twinned Nanoparticles
 - [-][-] Chalcogenide Nanoparticles
 - [-][f(220,20)] Silver nanoparticles
 - [-][f(242,17)] Silica particles
 - [-][f(333,6)] Biodegradable Nanoparticles
 - [-][f(171,30)] Metal nanoparticles
 - [-][-] Metal Nanoparticle Superlattices
 - [-][-] Cylindrically-shaped colloidal metal
- nanoparticles
 - [-][-] Nanobarcodes
 - [c(450,2)][f(456,2)] Nanogears
 - [-][-] Nanogolds
 - [c(315,9)][f(336,9)] Nanomotors
 - [-][-] Molecular Nanogenerator
 - [-][-] Nanostructured Hybrids from Layered Double Hydroxides
 - [c(487,1)][f(489,1)] Nanopipes
 - [c(451,2)][f(471,2)] Nanoplates
 - [c(489,1)][f(502,1)] Nanoprisms
 - [c(167,50)][f(179,53)] Nanopores
 - [-][-] Confined Molecules in Nanopores
 - [-][f(471,1)] Nanoporous membranes
 - [c(317,9)][f(334,9)] Nanopowders
 - [-][-] Nanopowders Produced Using Microreactors
 - [-][-] Low-Dimensional Nanocrystals
 - [c(303,11)][f(315,11)] Nanoribbons
 - [-][-] Nanorings
 - [-][-] Nanoprecipitates
 - [-][-] Stealth Core-Corona Nanoparticles
 - [-][-] Biomimetic Core-Corona Nanoparticles
 - [c(414,3)][f(414,3)] Nanocavities
 - [-][-] Nanopens
 - [-][-] Nanopencils
 - [c(452,2)][f(464,2)] Nanoreactor
 - [c(259,18)][f(274,18)] Nanorobots
 - [-][-] Metamorphic Bumpers
 - [-][-] Nanorobot Communications
 - [-][-] Rheology of Nanorobot-Rich Biofluids
 - [-][-] Nanorobot Diapedesis
 - [-][-] Nanorobot Volumetric Intrusiveness
 - [c(83,161)][f(84,202)] Nanorods
 - [-][-] Metal Polyhedral Nanorods
 - [c(449,2)][f(474,2)] Nanocontainers
 - [-][-] Nanorotor
 - [-][-] Nanobattery

- [c(309,10)][f(306,13)] Nanoshells
- [c(353,6)][f(371,6)] Nanogenerators
- [c(126,79)][f(136,87)] Nanoclusters
 - [-][-] Metal Nanoclusters by Ion Implantation
 - [-][-] Metal Nanoclusters as Quantum Dots
 - [-][-] Metal Nanoclusters on Oxide Surfaces
 - [-][-] Organic Polyradical Magnetic Nanoclusters
- [c(210,29)][f(201,38)] Nanospheres / [-][-] Spiral Materials
 - [-][f(294,9)] Polydymoty Nanospheres
 - [-][f(339,6)] Carbon Nanospheres
 - [-][-] Dyson Spheres
 - [-][-] Bioadhesive Nanospheres
- [c(491,1)][f(488,1)] Nanosprings
- [c(28,507)][f(33,558)] Nanostructures
 - [-][-] Light-Harvesting Nanostructures
- [-][-] Nanotrees
- [c(19,754)][f(12,1465)] Nanotubes
 - [-][f(232,18)] Peptide Nanotubes
 - [-][f(305,8)] Nanotubes made
 - [-][f(311,7)] Nanotube walls
 - [-][f(342,6)] Nanotube tips
 - [-][f(320,7)] Nanotube electronics
 - [-][f(322,6)] Nanotube devices
 - [c(453,2)][f(455,2)] Nanoropes
- [c(20,740)][f(21,873)] Nanowires / [-][f(358,4)] Atomic wires
 - [-][-] Nanocrystalline Magnetic Microwires
 - [-][-] Amorphous Magnetic Microwires
 - [-][f(310,7)] Nanowire Laser
 - [-][f(324,6)] Nanowire Cavity
 - [-][f(327,6)] Free-Standing Nanowires
 - [-][f(336,6)] Finite Nanowire
 - [-][f(341,6)] Ferromagnetic Nanowires
 - [-][f(327,6)] Free-Standing Nanowires
 - [-][f(461,1)] Superlattice Nanowire
 - [-][f(182,29)] Oxide nanowires
- [c(454,2)][f(423,3)] Nanowhiskers
- [-][-] Nanosources
- [-][-] Nanozeolite
- [-][f(194,27)] Nanofiber alumina
- [c(327,8)][f(342,8)] Nanomotor
- [c(490,1)][f(497,1)] Nanosensor
 - [-][-] Broadband Receptor Arrays
 - [-][-] Narrowband Receptor Arrays
 - [-][-] Counting Rotors
 - [-][-] Chemical Assay
 - [-][-] Chemical Nanosensor Theoretical Limits
 - [-][-] Spatial Concentration Gradients
 - [-][-] Temporal Concentration Gradients
 - [-][-] Chemotactic Sensor Pads
 - [-][-] Receptor Sensors
 - [-][-] Displacement Sensors
 - [-][-] Velocity Rate Sensors
 - [-][-] Flow Rate Sensors
 - [-][f(397,2)] Acceleration Sensors
 - [-][-] Box-Spring Accelerometers
 - [-][-] Displacement Accelerometers
 - [-][-] Fluid Acceleration Sensors

- [-][-] Pivoted Gyroscopic Accelerometers
 - [-][-] Accelerative Onset
 - [-][f(221,20)] Angular Displacement
 - [-][-] Gimballed Nanogyroscopes
 - [-][-] Nanopendulum Orientation Sensing
 - [-][-] Nanopendulum Tachometry
 - [-][-] Force Nanosensors
 - [-][-] Minimum Detectable Force
 - [-][-] Nanogravimeters
 - [-][-] Single-Proton Massometer
 - [-][-] Isotope Discrimination
 - [-][-] Ullage Sensors
 - [-][-] Thermal Nanosensors
 - [-][-] Minimum Detectable Temperature Change
 - [-][-] Piston-Based Temperature Sensors
 - [-][-] Thermal-Expansion Temperature Sensors
 - [-][-] Mechanochemical Temperature Sensors
 - [-][-] Spatial Thermal Gradients
 - [-][-] Temporal Thermal Gradients
 - [-][-] Nonorobot
 - [-][-] Nano Solar Cells
 - [-][-] Nanotransistor
 - [-][-] Nanofluidic transistor
 - [-][-] Semiconductor Nanotransistors
 - [-][f(212,22)] Single-Electron Transistors
 - [-][f(113,43)] Field-effect transistors
 - [-][f(236,18)] Nanotube transistors
 - [-][f(38,7)] Power Switch Transistors
 - [c(56,253)][f(68,254)] Assemblers
 - [-][-] Directed-Assemblers
 - [-][f(159,32)] [-][f(159,32)] Replicating assemblers or [-][f(159,32)] nanoreplicators
 - [c(268,16)][f(287,16)] Disassemblers
 - [-][f(466,1)] Limited Assembler
 - [-][f(256,14)] Molecular Assemblers
 - [c(10,1605)][f(11,1767)] Properties and [-][f(266,13)] Characterization techniques
 - [-][-] Augmented Waves
 - [-][-] Projector Augmented Wave Method
 - [-][-] Ballistic Magnetoresistance ([c(403,3)][f(386,5)] BMR)
 - [c(502,1)][f(366,6)] Pseudopotentials
 - [c(46,307)][f(30,583)] Spectroscopy
 - [-][-] Nuclear Magnetic Resonance
 - [-][-] Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy
 - [-][f(254,14)] Loss spectroscopy
 - [-][f(283,11)] Optical spectroscopy
 - [-][f(240,17)] Absorption spectroscopy
 - [c(24,646)][f(16,1092)] Electronic
 - [c(468,2)][f(462,2)] Ultraviolet-visible
 - ([c(230,24)][f(247,24)] UV-vis)
 - [-][f(388,3)] Vibrational spectroscopy
 - [-][f(455,1)] Fourier-transformed infrared
 - ([c(190,36)][f(204,36)] FTIR)
 - [-][-] PM-IRRAS
 - [-][f(198,26)] Correlation spectroscopy
 - [c(73,191)][f(77,226)] Raman

- [-][-] Surface Enhanced Raman Spectroscopy
- [-][f(209,22)] Circular dichroism
- [-][f(317,7)] x-Ray Spectroscopy
 - [c(97,122)][f(75,235)] Crystallography
 - [-][-] EXAFS Spectroscopy
- [-][-] Linear spectroscopy
- [-][-] nonlinear spectroscopy
- [-][f(42,6)] Correlation phase Spectroscopy
- [-][-] Current imaging tunneling spectroscopy
- [-][-] Dynamic Force Spectroscopy
- [-][-] Ballistic Electron Emission Spectroscopy
- [-][-] Localized Electrochemical Impedance Spectroscopy
- [-][-] Light Emission Spectroscopy
- [-][-] Distance tunnel spectroscopy
- [-][f(55,75)] NMR spectroscopy
 - [-][-] Time-resolved photoelectron spectroscopy
- [-][-] Evanescent Wave Spectroscopy Tribology
- [-][-] Charge Carrier Dynamics
- [-][f(18,26)] Focused Ion Beam
- [-][-] Kelvin Probe Technique
- [-][f(141,36)] Electrical Properties
 - [-][f(281,11)] Electronic transport
- [-][f(86,59)] Optical Properties
 - [c(371,5)][f(400,4)] Photorefractive
 - [-][f(395,2)] Near-field optics
 - [-][f(433,2)] Nonlinear Optics
- [-][-] Laser-based techniques
- [-][f(306,8)] Laser-capture Microdissection
 - [-][-] Laser cooling and [c(158,55)][f(154,74)] trapping
 - [-][f(199,26)] Laser ablation
 - [-][-] Laser desorption-ionization
- [-][f(44,6)] Resonant Magnetic Scattering
- [-][f(43,6)] Resonance Contact Photoionization
- [c(84,149)][f(22,824)] Microscopy
 - [-][f(344,6)] Confocal Microscopy
 - [-][f(191,28)] Optical Microscopy
 - [-][f(24,11)] Near-Field Optical Microscopy
 - [-][f(218,21)] Fluorescence Microscopy
 - [-][-] Brewster Angle Microscopy
 - [-][f(9,252)] Electron microscopy
 - [-][f(6,61)] Scanning electron microscopy
 - [-][-] Scanning Near Field Optical Microscopy
 - [-][f(1,142)] Transmission electron microscopy
 - [-][-] High Resolution Transmission Electron Microscopy
- ([c(93,137)][f(104,144)] HRTEM)
 - [-][-] Scanning tunneling spectroscopy ([c(222,27)][f(214,33)]
- STS)
 - [-][f(393,2)] Electron Holography
 - [-][f(8,53)] Scanning probe microscopy ([c(139,71)][f(143,83)]
- SPM)
 - [c(419,3)][f(432,3)] Piezo-positioners
 - [-][-] Kelvin Probe Force Microscopy
 - [-][-] AFM Atomic Force Microscopy
 - [-][-] FFM Friction Force Microscopy
 - [-][-] MRFM Magnetic Resonance Force Microscopy
 - [-][-] Attractive-mode Force Microscopy
 - [-][f(364,4)] Acoustic microscopy

- [-][f(11,39)] Scanning Tunneling Microscopy
- ([c(64,223)][f(69,247)] STM)
 - [-][-] Low-Temperature Scanning Tunneling Microscopy
 - [-][-] Dynamic Probe Microscopy
 - [-][-] Cell Mimetic Microscope
 - [-][-] Manipulation Force Microscopy
 - [-][-] Quasiconnact Force Microscopy
 - [-][-] Maxwell-stress microscopy
 - [-][-] Quantum Proximity Microscopy
 - [-][-] Resonance contact scanning force microscopy
- [-][-] Resonant Tapping-Force Microscopy
- [-][f(59,1)] Inelastic Electron Tunneling
- [-][-] Interfacial Force Microscopy
- [-][f(21,22)] Scanning Force Microscopy ([c(277,15)][f(282,16)])
- SFM)
 - [-][-] Heterodyne Force Microscopy
 - [-][-] Proximity Probe Microscopy
 - [-][-] Photonic Force Microscopy
 - [-][-] Force Modulation Microscopy
 - [-][-] Electric Force Microscopy
 - [-][-] Electric Scanning Force Microscopy
 - [-][-] Dynamic Contact Mode Electrostatic Force Microscopy
 - [-][-] Frictional Force Microscopy
 - [-][-] Scanning Nearfield Optical Microscopy
- ([c(228,24)][f(243,25)] SNOM)
 - [-][f(35,8)] Magnetic Force Microscopy ([-][-] MFM)
 - [-][f(65,1)] Scanning Capacitance Microscopy ([c(505,1)][f(500,1)])
- SCM)
 - [-][-] Cemical Force Microscopy
 - [-][-] Scanning Thermal Microscopy ([-][-] SThM)
 - [-][-] Amplitude HFM ([-][-] Heterodyne Force Microscopy)
 - [-][-] Near-Field Lorentz Force Microscopy
 - [-][-] Piezoresponce Force Microscopy
 - [-][-] Electrostatic Force Microscopy
 - [-][-] Electrostatic Force Modulation Microscopy
 - [-][f(2,120)] Atomic Force Microscopy
 - [c(62,226)][f(52,370)] Lithography
 - [-][-] Phase mode
 - [-][-] High mode
 - [-][-] Contacting mode
 - [-][-] Non-contacting mode
 - [-][f(250,15)] Tapping mode
 - [-][-] Extreme Ultraviolet Nanolithography
 - [-][-] Fast Atomic Force Microscopy
 - [-][-] Low Temperature Scanning Probe Microscopy
 - [-][-] Dynamic Force Microscopy
 - [-][-] Molecular Recognition Force Microscopy
 - [-][-] Ligand Tip Chemistry
 - [-][-] Fixation of Receptors to Probe Surfaces
 - [-][-] Single-Molecule Recognition Force Detection 479
 - [-][-] Recognition Force Spectroscopy
 - [-][-] Recognition Imaging
 - [-][-] Electric force microscopy
 - [-][f(35,8)] Magnetic force microscopy
 - [-][f(63,1)] Friction force microscopy
 - [-][f(79,62)] x-Ray Crystallography

- [c(389,4)][f(395,4)] Nanometrology
- [-][f(297,9)] Excimer Laser
- [-][f(269,12)] Electron Microscopic
- [c(115,87)][f(113,121)] Chromatography
 - [-][f(230,18)] Affinity Chromatography
 - [-][f(282,11)] Gas Chromatography
 - [-][f(150,33)] Liquid Chromatography
 - [-][-] Ion Exchange Chromatography
 - [-][-] Absorption Chromatography
 - [-][-] Partition Chromatography
 - [-][-] Molecular Exclusion Chromatography
 - [-][f(423,2)] Column Chromatography
 - [-][-] Thin Layer Chromatography
- [-][-] Optical Beam Induced Resistance Change ([-][-] OBIRCH)
 - [-][-] Near-Field OBIRCH
- [c(53,279)][f(51,375)] Fluorescence
 - [-][-] Thermoluminescence
 - [-][-] Photostimulated
 - [c(166,50)][f(174,54)] Luminescence
- [c(273,16)][f(58,315)] Spectrometry
 - [-][f(8,268)] Mass Spectrometry
 - [-][f(29,9)] Chromatography mass Spectrometry
 - [-][f(39,7)] Electrospray mass Spectrometry
 - [-][f(22,15)] Ionization Mass Spectrometry
- [-][-] Resonance techniques
 - [-][f(13,37)] Nuclear Magnetic Resonance ([c(49,297)][f(43,438)])

NMR)

- [-][f(45,5)] Ion Cyclotron Resonance
- [-][f(105,47)] Synchrotron Radiation
- [-][f(25,10)] Differential Scanning Calorimetry
- [-][f(456,1)] Plasmon resonances
 - [-][f(164,31)] Surface Plasmon
- [-][f(407,2)] Diffraction techniques
 - [-][f(77,63)] Electron diffraction
 - [-][f(424,2)] Neutron diffraction
 - [-][f(25,109)] x-ray diffraction ([c(61,228)][f(76,228)] XRD)
 - [-][-] Small angle x-ray diffraction
 - [-][-] SAXS diffraction
- [c(178,42)][f(56,333)] Electrophoresis
 - [-][-] 2-Dimensional electrophoresis
 - [-][f(29,101)] Gel electrophoresis
 - [-][f(409,2)] Dimensional gel-electrophoresis
 - [-][f(136,37)] Capillary electrophoresis
 - [-][f(170,30)] Two-dimensional electrophoresis
- [-][f(96,52)] NAND multiplexing
- [-][f(104,48)] Duty cycle
- [c(62,226)][f(52,370)] Lithography
 - [-][f(217,21)] Optical lithography
 - [-][f(123,41)] Beam lithography
 - [-][f(161,31)] Electron-beam lithography
 - [-][f(288,10)] Interference lithography
- [-][f(226,19)] High-throughput methods
 - [-][f(338,6)] High-throughput x-ray
- [c(91,143)][f(79,218)] Scattering
 - [-][f(148,33)] Raman Scattering
 - [-][-] Electron Raman Scattering
 - [-][f(270,12)] Light Scattering

- [-][f(216,22)] [-][f(216,22)] Zeta potential / [-][-] Zeta sizer
- [-][f(185,28)] Electrospray ionization
- [-][f(207,23)] Flow cytometry
- [c(14,862)][f(20,885)] Machines and [c(9,1694)][f(9,1955)] Devices
- [-][f(473,1)] Molecular nanomachines
- [-][-] supramolecular nanomachines
- [-][f(214,22)] Molecular Manipulator
- [-][-] Von Neumann Machine
 - [-][-] Von Neumann Probe
- [-][-] Molecular Integrated Microsystems ([-][-] MIMS)
- [c(271,16)][f(281,16)] Nanoprobe
- [-][-] Technocyte
- [-][-] Nanosome
- [-][-] Nanoreplicators
- [-][-] Functional nanostructures incorporating responsive modules
- [c(329,8)][f(330,9)] Photodetectors
 - [-][-] Quantum well infrared photodetectors
- [c(38,405)][f(40,464)] Sensors
- [c(77,174)][f(87,184)] Actuators
 - [-][-] Atomic sensors
 - [-][f(354,4)] molecular sensors
 - [-][-] Cantilever-Based Sensors
 - [c(125,79)][f(116,112)] Biosensors
 - [-][f(287,10)] Gas sensors
 - [-][f(241,17)] Chemical sensors
 - [-][f(30,9)] Sensor Electrical Phasing
 - [-][-] Taste sensors
 - [-][f(211,22)] Protein-coupled receptors
 - [-][f(26,9)] Cell Surface Receptors
 - [-][-] Gas Sensors from Nanostructured Metal Oxide
 - [-][-] Germanium Nanocrystals Structure
- [c(417,3)][f(429,3)] Nanomanipulators
 - [c(318,9)][f(337,9)] Nanotweezers
- [-][-] Electron Beam Writing in Nanoparticle Films
- [-][f(20,123)] Electronic devices
 - [c(322,9)][f(340,9)] Spintronics
- [-][f(286,10)] Self-replicating machines
- [-][f(54,2)] Photochemical Molecular Devices
 - [-][-] Photocathode
- [-][f(312,7)] Optoelectronic devices
- [-][f(426,2)] Magnetic devices and [-][-] new computing systems
- [-][f(304,8)] Biological motors
- [-][f(381,3)] Photovoltaic cells
- [-][f(476,1)] Electroluminescent devices
- [-][-] Plastic logic
- [-][f(223,19)] Molecular switches
- [-][-] Nanotherapeutic devices
- [c(71,202)][f(83,205)] NEMS or [-][-] Resonant nanoelectromechanical systems
- [-][-] Diamondoid mechanosynthesis tool
- [-][-] Photolithographic Mask
- [c(124,80)][f(147,80)] Theories and [-][f(102,48)] Computational methods
 - [-][-] Quantization phenomena
 - [-][f(391,3)] confinement phenomena
 - [c(322,9)][f(340,9)] Spintronics
 - [-][-] Quantum information theory

- [-][-] Computational Atomic Nanodesign
- [-][f(66,1)] Atomistic simulation methods
- [c(127,79)][f(139,85)] Nanoelectronics
- [c(440,2)][f(440,2)] Magnetoelectronics
- [-][f(34,8)] Molecular dynamics simulation
- [-][f(10,39)] High throughput screening
- [-][-] Combinatory chemistry
- [-][f(56,75)] Neural networks
- [-][f(40,7)] Inductive Logic Programming
- [-][f(115,43)] Automated Engineering
- [-][-] Distributed Intelligence
- [c(6,1946)][f(7,2258)] Applications
 - [c(425,2)][f(416,3)] Acoustics / [c(48,298)][f(61,312)] Communication
 - [c(289,14)][f(256,23)] Telecommunications / [-][-] Acoustic
- Broadcast Communication
 - [c(240,22)][f(259,22)] Radio
 - [c(253,20)][f(265,20)] Telephone
 - [c(229,24)][f(240,25)] Television
 - [c(359,6)][f(343,8)] Ultrasound
 - [-][-] Sound absorber
 - [-][-] Sound amplifier
 - [-][-] Noise barriers
 - [-][-] Radio Frequency Identification Tags
- [-][-] Nanomechanical Communication
- [-][-] Cable Communication
 - [-][-] Electrical Cables
 - [-][-] Infrared Cables
 - [-][-] Optical Cables
 - [-][-] Acoustic Cables and [-][-] Transmission Lines
 - [-][-] Mechanical Cables
 - [-][-] Chemomessenger Cables
- [c(106,99)][f(93,175)] Agriculture
 - [c(336,7)][f(356,7)] Agrochemicals
 - [c(294,13)][f(294,14)] Herbicides
 - [-][-] Pest Repellents
 - [c(328,8)][f(320,10)] Pesticides
- [c(324,8)][f(349,8)] Airplanes
 - [c(101,103)][f(122,104)] Aircraft
 - [c(104,101)][f(119,106)] Engines
 - [-][f(432,2)] Jet Engines
 - [c(350,6)][f(359,6)] Gyroscopes
 - [c(467,2)][f(461,2)] Turbines
 - [-][f(474,1)] Turbine Blades
- [c(281,14)][f(295,14)] Automobiles
 - [c(377,5)][f(376,5)] Tires
 - [c(129,76)][f(108,133)] Coatings
 - [-][f(67,1)] Corrosion Resistant Coatings
 - [-][-] Gasoline Tanks
 - [c(211,29)][f(227,30)] Panels
 - [c(426,2)][f(441,2)] Airbags
 - [c(34,432)][f(44,432)] Parts
 - [-][-] Armored vehicles
 - [c(473,1)][f(478,1)] Boats
 - [-][-] Corrosion Inhibitors
 - [-][f(420,2)] Electric vehicles
 - [-][-] Electrochromic Glass
 - [c(104,101)][f(119,106)] Engines

- [-][-] Gaskets
- [-][-] Gearboxes
- [c(199,32)][f(216,33)] Gears
- [-][-] Hybrid Vehicles
- [-][f(376,3)] Smart Coatings
- [-][f(477,1)] Smart windows
- [c(377,5)][f(376,5)] Tires
- [c(397,4)][f(402,4)] Trucks
- [c(59,232)][f(59,314)] Biomedical / [c(209,29)][f(221,31)]
- Bioengineering
 - [-][f(118,42)] Personalized medicine
 - [-][-] Cell engineering
 - [-][f(314,7)] Cell surgery
 - [-][f(122,41)] Molecular Motors
 - [-][f(299,9)] Wound Healing
 - [-][-] Neuro-Electronic Interfaces
 - [-][-] NanoLuminescent Tags
 - [c(337,7)][f(357,7)] Antibacterials
 - [c(401,3)][f(388,4)] Antifungals
 - [c(304,10)][f(323,10)] Antimicrobials
 - [-][-] Antiseptics
 - [-][-] Artificial Tissues
 - [-][-] Artificial Bones
 - [-][-] Artificial Joints
 - [-][f(479,1)] Artificial Muscles
 - [-][f(257,14)] Artificial Organs
 - [-][f(392,2)] Artificial Skin
 - [-][-] Bandages
 - [-][-] Biocompatible Core-Shell Nanoparticles for Biomedicine
 - [-][f(385,3)] Biomimetic systems
 - [-][f(441,1)] Blood Clotting
 - [-][-] Oral controlled release
 - [-][-] Blood Glucose Monitors
 - [-][-] Blood Pressure Monitors
 - [-][f(109,45)] Cancer research
 - [-][f(295,9)] Cancer Detection
 - [-][f(238,17)] Cancer Prevention
 - [-][-] Cancer Treatments
 - [-][-] Cardiac Pacemaker
 - [-][f(74,64)] Cardiovascular system
 - [c(362,5)][f(385,5)] Catheters
 - [-][-] Chemoelectric Cells
 - [-][f(48,80)] Chemistry medicinal
 - [-][f(267,12)] Clinical Diagnostics
 - [-][f(138,36)] Clinical neurology
 - [-][f(40,85)] Clinical trials
 - [-][f(265,13)] Contrast Agents
 - [-][-] Effect of Mucus
 - [-][f(335,6)] Gastrointestinal Tract
 - [-][-] Diabetes Treatments
 - [c(225,24)][f(248,24)] Dialysis
 - [-][f(73,64)] Nutrition dietetics
 - [-][-] DNA-Based Nanodevices
 - [-][f(457,1)] DNA Electronics
 - [-][f(119,42)] DNA chips
 - [-][-] Gene-chips

- [c(29,504)][f(35,521)] Drugs
 - [-][f(23,116)] Drug Delivery
 - [c(262,17)][f(220,32)] Liposomes
 - [-][f(32,8)] Targeted Drug Delivery
 - [-][f(18,156)] Drug targets
 - [-][f(94,53)] Target Validation
 - [-][f(7,508)] Drug Discovery
 - [-][f(19,146)] Drug Development
 - [-][-] Smart Drugs
 - [-][f(414,2)] Drug Absorption
 - [-][f(292,9)] Drug administration
 - [-][f(413,2)] Drug concentration
 - [-][f(19,146)] Drug development
 - [-][-] Drug particle
 - [-][f(33,96)] Drug Design
 - [-][f(172,30)] Drug Metabolism
 - [-][-] Drug Nanocrystals of Poorly Soluble Drugs
 - [-][f(108,46)] Drug Response
 - [-][-] Self-emulsifying Drug
 - [-][-] Self-emulsifying Drug Delivery
 - [-][f(82,61)] Endocrinology metabolism
 - [-][f(135,39)] Gastroenterology hepatology
 - [-][f(12,171)] Gene Therapy
 - [-][f(70,1)] Genetic Disease Diagnosis
 - [-][-] Optical Contrast Agents
 - [-][f(75,63)] Histocompatibility complex
 - [-][f(92,54)] Human diseases
 - [c(169,49)][f(169,57)] Implants
 - [c(472,1)][f(491,1)] Bioimplants
 - [-][f(374,4)] Retinal Implants
 - [-][f(72,64)] Immune Response
 - [-][f(261,13)] Immune Machines
 - [-][-] Joint Replacements
 - [-][-] Titanium-coated Joint Replacements
 - [-][f(235,18)] Medical Imaging
 - [-][-] Medical Diagnosis Equipment
 - [-][f(80,62)] Metabolic engineering
 - [-][f(36,88)] Metabolic pathways
 - [-][f(179,30)] Monoclonal Antibody
 - [-][f(239,17)] Nuclear Medicine
 - [c(398,4)][f(392,4)] Vasodilation
 - [-][-] Nuclear Protective Suits
 - [-][-] Nuclear Sensors
 - [-][f(60,73)] Occupational health
 - [c(493,1)][f(390,4)] Orthopedics
 - [-][f(52,76)] Oxidative stress
 - [c(160,54)][f(37,518)] Pharmacology
 - [-][f(188,28)] Microbiology pharmacology
 - [-][f(62,73)] Pharmaceutical industry
 - [-][f(189,28)] Phylogenetic trees
 - [-][f(291,10)] Photodynamic Therapy
 - [-][f(147,34)] Protein Engineering
 - [c(393,4)][f(394,4)] Prostheses
 - [-][f(262,13)] Protein Chips
 - [-][f(30,99)] Public health
 - [-][-] Regenerative Medicines
 - [c(507,1)][f(498,1)] Stents

- [-][-] Surgical Equipment
- [-][-] Surgical Instruments
- [-][-] Surgical Lasers
- [-][-] Surgical Needles
- [-][-] Synthetic Bone
- [-][-] Synthetic Hydrogels
- [-][-] Synthetic Muscles
- [c(332,8)][f(347,8)] Syringes
- [-][f(76,63)] Therapeutic targets
- [c(86,146)][f(103,147)] Therapeutics
- [-][f(85,59)] Tissue Engineering
- [-][-] Toxology
- [c(312,10)][f(312,11)] Transplants
- [-][f(81,61)] Vascular disease
- [c(67,217)][f(71,241)] Vaccines
 - [-][f(301,9)] Vaccine Strains
- [c(280,15)][f(162,68)] Veterinary
- [c(100,112)][f(107,134)] Catalysis
 - [-][-] Catalysis by Gold Nanoparticles
 - [c(361,5)][f(313,11)] Biocatalysis
 - [-][-] Inorganic catalysis
- [c(176,44)][f(125,102)] Ceramics
 - [-][f(399,2)] Advanced Ceramics
 - [c(500,1)][f(484,1)] Pottery
 - [-][-] Nanocrystalline Ceramics by Mechanical Activation
 - [c(257,19)][f(271,19)] Sintering
 - [-][-] Glassification
 - [-][-] Fritting
 - [c(246,21)][f(263,21)] Tiles
- [-][f(57,75)] Cognitive science
- [-][f(37,87)] Combinatorial chemistry
- [c(120,81)][f(135,88)] Communications
 - [c(26,523)][f(24,754)] Networks
 - [-][f(452,1)] Wireless Networking
 - [-][f(435,2)] Optical fibers
 - [-][f(483,1)] Optical Communication
 - [-][f(368,4)] Optical Switching
 - [-][f(360,4)] Optical Waveguides
 - [-][f(263,13)] Optical Tweezers
 - [c(241,22)][f(253,23)] Satellites
 - [-][f(460,1)] POSS Nanotechnology
 - [-][-] Polyhedral Oligomeric Silsesquioxanes Nanotechnology
- [c(289,14)][f(256,23)] Telecommunications
 - [-][-] Telecommunication Components
- [c(396,4)][f(387,4)] Telematics
- [c(333,8)][f(346,8)] Telephones
- [c(421,3)][f(431,3)] Televisions
- [-][f(428,2)] Wireless Communications
- [c(35,430)][f(41,459)] Computers
 - [-][-] High Speed Computers
 - [-][-] Notebook Computers
 - [-][-] Portable Computers
 - [-][f(203,24)] Quantum Computers
 - [-][f(59,74)] Information Science
 - [c(278,15)][f(292,15)] Supercomputers
 - [-][-] Biomolecules for computation
 - [-][-] Directed evolution of molecules and software

- [-][-] Bioinspired computation
- [-][f(353,5)] Molecular computation
- [-][f(178,30)] Virtual reality
- [c(405,3)][f(425,3)] Computer-Aided-Design
- [c(79,171)][f(70,246)] Chips
 - [c(175,44)][f(189,47)] Biochips
 - [-][-] Integrated Passive Components ([-][-] IPC)
 - [-][f(55,2)] Molecular Logic Gates
 - [-][-] Nanocell Chips
 - [-][f(244,16)] Silicon Chips
- [-][f(146,34)] Mouse Models
- [c(170,48)][f(185,49)] Memories
 - [-][f(62,1)] Magnetic Recording Media
 - [c(347,6)][f(327,9)] BioMems
 - [-][f(61,1)] High-density information storage
 - [c(325,8)][f(279,17)] Flash
 - [-][f(465,1)] Memory Cards
 - [-][f(343,6)] Memory Chips
 - [-][f(440,1)] Optical Memory
 - [-][f(64,1)] Shape Memory Alloys
 - [-][-] Nanoscale Magnetic Random Access Memory Elements
- [c(243,21)][f(213,34)] Disks
 - [-][f(290,10)] Hard Disks
- [-][f(16,165)] Information Technology
- [c(87,145)][f(102,149)] Internet
 - [-][-] Internet Routers
- [c(26,523)][f(24,754)] Networks
- [c(85,147)][f(100,155)] Screens
- [-][f(61,73)] Cellular automata
- [-][f(27,103)] Artificial intelligence
- [-][f(97,51)] Fault tolerance
- [c(39,401)][f(38,515)] Construction
 - [-][-] Electrochromic Glass
 - [-][-] Electroconductive Coatings
 - [-][f(376,3)] Smart Coatings
 - [-][-] Thermal Insulation
 - [c(466,2)][f(449,2)] Timber
 - [-][-] Wall Coverings
 - [c(177,44)][f(191,46)] Windows
 - [-][f(477,1)] Smart windows
 - [-][-] Wood Preservation
- [c(216,27)][f(228,29)] Cosmetics [c(109,95)][f(128,95)] Healthcare and
- [c(74,191)][f(81,207)] Safety
 - [c(407,3)][f(325,9)] Dentistry
 - [-][-] Dental Materials
 - [-][-] Dental Prosthetics
 - [-][-] Dental Tools
 - [-][-] Deodorants
 - [-][-] Eye care
 - [-][f(400,2)] Contact Lenses
 - [c(365,5)][f(379,5)] Eyeglasses
 - [-][-] Safety Glasses
 - [c(506,1)][f(499,1)] Spectacles
 - [c(463,2)][f(452,2)] Sunglasses
 - [-][f(513,1)] Disinfectants
 - [-][-] Gas Masks
 - [-][-] Health Supplements

- [-][f(417,2)] Hearing Aids
- [c(114,90)][f(97,163)] Nutrition
- [-][-] Ointments
- [-][-] Perfumes
- [c(459,2)][f(437,3)] Preservatives
- [-][-] Protective Equipment
 - [-][-] Radiation Shields
- [-][-] Protective Suits
 - [-][-] Radiation Suits
- [-][-] Rubber Gloves
- [c(236,23)][f(254,23)] Sunscreens
- [c(179,41)][f(194,41)] Electricity
 - [c(27,513)][f(29,584)] Generation
 - [c(51,292)][f(57,333)] Storage
 - [-][-] High-efficiency Lighting
 - [c(386,4)][f(348,8)] Insulation
 - [c(44,319)][f(53,364)] Wires
- [-][-] Electro systems
- [-][f(255,14)] mechanical systems
- [c(57,252)][f(48,399)] Electronics
 - [-][-] Anti-static Applications
 - [-][-] Vacuum Nanoelectronics
 - [-][-] Hybrid Solar Cells
 - [-][-] High-Field Conduction in Nanostructures
 - [c(291,13)][f(302,13)] Cameras
 - [-][-] Single-molecule electronics / [-][f(22,118)] molecular electronics
- [c(231,23)][f(245,24)] Capacitors
- [-][f(402,2)] Cd Players
- [-][f(319,7)] Cell Phones
- [-][f(416,2)] Circuit Boards
- [c(119,82)][f(142,83)] Circuitry
- [-][f(410,2)] Compact Discs
- [c(173,45)][f(184,49)] Detectors
 - [-][f(401,2)] Infrared detectors
 - [-][-] Germanium-on-Silicon Infrared Detectors
 - [-][-] Quantum Well Infrared Detectors
 - [-][-] Signal Detectors
- [c(157,55)][f(157,72)] Diodes
 - [-][f(47,5)] Light emitting diodes
 - [-][-] Organic Light Emitting Diodes
- [c(103,101)][f(114,120)] Displays
 - [-][-] Electroluminescent Displays
 - [-][f(37,7)] Field Emission Displays
 - [-][-] Flexible Displays
 - [-][f(48,4)] Liquid Crystal Displays
 - [-][f(33,8)] Flat Panel Displays
 - [-][-] Organic Light Emitting Displays
 - [-][-] Plasma Display
- [c(431,2)][f(468,2)] DVDs
- [-][-] Electronic Paper
- [-][-] Electrophotography
- [-][f(71,65)] Integrated Circuits
- [-][f(65,71)] Information systems
- [c(198,33)][f(217,33)] Lab-on-a-chip
- [-][-] Nanodielectrophoresis / [-][-] Electronic Nanotweezers

- [c(62,226)][f(52,370)] Lithography
 - [c(482,1)][f(486,1)] Nano-imprint
 - [c(445,2)][f(460,2)] Nano-lithography
- [c(197,34)][f(200,38)] Mosfets
- [-][f(357,4)] Optical Circuits
 - [-][-] Optical Circuit Boards
 - [-][f(468,1)] Optical control
- [-][f(56,2)] Optical Data Storage
- [-][f(210,22)] Quantum wires
 - [-][-] Semiconductor Quantum Wires
- [-][f(453,1)] Portable Electronics
- [-][f(405,2)] Power Amplifiers
- [-][f(389,3)] Power Supplies
- [-][-] Printed Circuits
- [-][-] Reconfigurable Logic Devices
- [c(374,5)][f(364,6)] Resonators
- [-][f(245,16)] Semiconductor Devices
 - [-][-] Doped II-VI Semiconductor Nanoparticles
 - [-][-] Doubly Connected Mesoscopic Superconductors
 - [-][-] Nanoscale Dilute Magnetic Semiconductors
- [c(38,405)][f(40,464)] Sensors
 - [-][f(287,10)] Gas sensors
 - [c(125,79)][f(116,112)] Biosensors
 - [-][f(21,118)] Signal Transduction
 - [-][f(241,17)] Chemical sensors
 - [-][-] Taste sensors
 - [-][f(127,40)] Logic block
 - [-][f(201,25)] Actuators sensors
- [-][-] Smart Cards
- [c(107,99)][f(111,125)] Switches
 - [-][f(223,19)] Molecular Switches
- [c(358,6)][f(369,6)] Supercapacitors
- [c(395,4)][f(393,4)] System-on-a-chip
- [c(229,24)][f(240,25)] Television
- [-][f(454,1)] Touch Screens
- [c(205,31)][f(208,35)] Transducers
- [c(55,256)][f(54,352)] Transistors
 - [-][f(113,43)] Field-effect transistors
 - [-][f(212,22)] Single-electron transistors
 - [-][f(236,18)] Nanotube Transistors
- [-][-] Wearable Electronics
- [c(44,319)][f(53,364)] Wires
- [-][f(431,2)] Energy systems
 - [c(215,27)][f(226,30)] Antennas
 - [c(247,20)][f(242,25)] Batteries
 - [-][f(394,2)] Lithium Batteries
 - [-][-] Cathode Materials
 - [-][-] Magnesium-Nickel Nanocrystalline
 - [-][-] Amorphous Alloys for Batteries
 - [-][f(408,2)] Rechargeable Batteries
 - [-][-] Rechargeable Lithium Batteries
 - [-][f(167,31)] Fuel Cells
 - [-][f(380,3)] Hydrogen Production
 - [-][f(229,19)] Hydrogen Storage
 - [-][-] Polymer Electrolyte Fuel Cells
 - [-][-] Solid Oxide Fuel Cells
- [-][-] Power Generators

- [-][-] Power suppliers
- [-][f(448,1)] Power Storage
- [-][f(110,45)] Solar cells or [-][f(381,3)] Photovoltaic Cells
 - [-][-] Organic Solar Cells
 - [-][-] Grätzel Solar Cells
 - [-][-] Light-harvesting Materials
 - [-][-] Photovoltaic films
- [c(501,1)][f(501,1)] Propellants
- [-][f(377,3)] Renewable Energy
- [c(22,706)][f(26,726)] Environment
 - [-][f(425,2)] Air quality
 - [-][-] Contaminant sensors
 - [-][f(64,72)] Environmental sciences
 - [-][f(346,6)] Environmental Cleanup
 - [-][-] Governmental Industrial Hygienist
 - [-][f(325,6)] Environmental Monitoring
 - [-][-] Erosion Control
 - [-][-] Governmental industrial hygienist
 - [c(456,2)][f(447,2)] Photocatalysis
 - [-][-] Photocatalytic Water Treatment
 - [-][-] Pollution Cleaning
 - [-][f(323,6)] Pollution Control
 - [-][-] Waste Water Treatment
 - [-][-] Water Filtration
 - [c(469,2)][f(450,2)] Water-Extraction
 - [-][-] Golden Goo
 - [-][f(459,1)] Water Purification
- [-][f(275,11)] Food industry
 - [-][-] Beverages
 - [c(313,9)][f(333,9)] Bottles
 - [c(338,7)][f(351,7)] Brewing
 - [c(224,24)][f(246,24)] Colloids
 - [-][-] Colorants
 - [-][f(296,9)] Food Safety
 - [c(159,54)][f(168,58)] Packaging
 - [-][-] Vegetable Oil
 - [c(300,12)][f(308,12)] Vitamins
- [c(8,1710)][f(10,1777)] Energy
 - [c(244,21)][f(215,33)] Fuels
 - [c(133,74)][f(140,85)] Alcohol
 - [c(429,2)][f(434,3)] Diesel
 - [c(471,1)][f(510,1)] Biodiesel
 - [-][-] Petrochemicals
 - [c(213,28)][f(225,30)] Petroleum
 - [-][-] Rocket Fuels
 - [c(33,443)][f(31,577)] Nuclear
 - [-][-] Nuclear Engineering
 - [-][f(326,6)] Nuclear Fusion
 - [-][f(375,3)] Nuclear Imaging
 - [-][-] Nuclear fission
 - [-][f(326,6)] Nuclear fusion
 - [-][f(206,24)] Solar energy
 - [-][-] Aeolian energy
- [c(17,782)][f(8,2157)] Genetics
 - [-][-] Genome determination
 - [-][f(153,32)] DNA Analysis
 - [-][f(430,2)] DNA Separation

- [-][f(70,68)] DNA Sequencing
 - [-][-] Nanopore Analysis
- [-][f(372,4)] RNA Analysis
 - [-][-] RNA Separation
 - [-][-] RNA Sequencing
- [-][-] Paternity test
- [-][f(225,19)] Genetic-linkage map
- [-][f(16,34)] Differential gene expression
- [-][f(186,28)] Inbred strains
- [-][f(17,32)] Quantitative trait locus
- [-][f(69,69)] Molecular markers
 - [-][f(140,36)] Microsatellite markers
- [-][f(87,58)] Complex traits
- [-][f(100,49)] Frames orfs
- [-][f(103,48)] Fold recognition
- [-][f(121,41)] Genomics Biotechnology
 - [-][f(47,81)] Chemical genomics
 - [-][f(1,1862)] Functional genomics
 - [-][f(50,79)] Microbial genomics
 - [-][f(4,698)] Structural genomics
 - [-][f(45,81)] Comparative genomic
 - [-][f(158,32)] Genomics consortium
 - [-][f(43,82)] Insertional mutagenesis
 - [-][f(63,72)] Regulatory networks
 - [-][f(139,36)] Plant functional
 - [-][f(3,91)] Polymerase chain reaction
- ([c(45,311)][f(49,387)] PCR)
 - [-][f(12,171)] Gene Therapy
 - [-][f(111,45)] DNA Repair
 - [-][f(5,64)] Gene Expression Analysis
 - [-][f(13,169)] Protein Expression
 - [-][f(14,36)] Protein structure prediction
 - [c(135,73)][f(151,78)] Genotyping
 - [-][f(88,58)] Heredity Genomics
 - [c(220,27)][f(237,27)] Phenotyping
 - [-][-] Traduction Factors
 - [-][f(11,176)] Transcription Factors
 - [-][-] [-][-] Trait analysis ([-][f(183,29)] QTL analysis)
- [-][f(41,85)] Genetic Engineering
 - [-][f(95,53)] Artificial chromosomes
 - [-][f(208,23)] Chromosome Painting
 - [-][f(149,33)] Deletion mutants
 - [-][f(91,54)] DNA arrays
 - [-][f(162,31)] DNA Chip
 - [-][f(328,6)] DNA Clones
 - [-][-] Positional Clones
 - [-][f(195,27)] Gene Array
 - [-][f(166,31)] Gene regulatory
 - [-][f(174,30)] Genetic factors
 - [-][f(151,33)] Gene targeting
 - [-][f(34,94)] Gene silencing
 - [-][f(163,31)] Gene Trap
 - [-][f(39,85)] Genetic variation
 - [-][f(44,82)] Identify genes
 - [-][f(120,42)] Gene Transcription

- [-][f(24,110)] Genomics Proteomics
- [-][f(83,60)] Phage display
- [-][f(26,107)] Linkage map
- [c(37,410)][f(27,630)] Mutations
 - [-][f(143,34)] Point mutations
 - [-][f(84,59)] Alternative splicing
 - [-][f(133,39)] Transposon mutagenesis
 - [c(436,2)][f(445,2)] Genotoxins
 - [c(435,2)][f(477,2)] GeneSequer
 - [c(434,2)][f(472,2)] Gene-expression-microarray
 - [c(433,2)][f(443,2)] Gene-delivery
- [-][f(51,76)] Phylogenetic analysis
- [c(137,71)][f(155,73)] Home and [-][-] personal appliances
 - [-][f(481,1)] Air Conditioners
 - [-][-] Air Filtration
 - [-][-] Air Purification
 - [c(404,3)][f(421,3)] Carpets
 - [c(232,23)][f(249,24)] Cleaning
 - [-][-] Cleaning Products
 - [c(381,4)][f(398,4)] Cans
 - [-][-] Cookware
 - [c(142,68)][f(160,70)] Cooling
 - [c(428,2)][f(457,2)] Cryogenics
 - [-][f(403,2)] Cutting Tools
 - [c(378,5)][f(378,5)] Watches
 - [c(107,99)][f(111,125)] Switches
 - [c(311,10)][f(319,10)] Shoes
 - [c(432,2)][f(439,2)] Exhausts
 - [-][f(28,101)] Repair machines
 - [-][f(315,7)] Microwave oven
 - [-][-] Fire Retardants
 - [c(239,22)][f(258,22)] Furniture
 - [-][-] Super Absorbants
 - [-][-] Tennis Balls
 - [-][-] Glassware
 - [-][-] Children's Toys
 - [c(214,28)][f(229,28)] Plastics
 - [c(212,28)][f(232,28)] Additives
 - [c(313,9)][f(333,9)] Bottles
 - [c(159,54)][f(168,58)] Packaging
 - [c(12,1003)][f(17,1035)] Products
 - [-][-] Sacks
 - [c(148,63)][f(164,64)] Sheets
 - [c(299,12)][f(307,12)] Tanks
 - [c(63,224)][f(74,236)] Tubes
 - [c(437,2)][f(448,2)] Glues
 - [c(287,14)][f(299,14)] Needles
 - [c(399,3)][f(435,3)] Adhesives
 - [-][-] Bioadhesives
 - [c(384,4)][f(403,4)] Heaters
 - [-][-] Hot Water Heaters
 - [-][f(458,1)] Household Appliances
 - [-][-] Sporting Equipment
 - [-][-] Sporting Goods
 - [c(320,9)][f(338,9)] Refrigerators
 - [-][-] Tablecloths

- [-][f(351,5)] Tennis Rackets
- [-][-] Sequence Signature
- [c(464,2)][f(412,3)] Thermometers
- [c(392,4)][f(389,4)] Pens
- [-][f(504,1)] Pencils
- [-][f(378,3)] Washing Machines
- [-][-] Water Filtration
- [-][f(459,1)] Water Purification
- [c(131,75)][f(95,166)] Instrumentation & [c(36,413)][f(45,428)] Testing
 - [-][f(307,8)] Analytical Instruments
 - [-][-] Chromatographs
 - [-][-] Nanopipettes
 - [-][f(302,8)] AFM Cantilevers
 - [c(173,45)][f(184,49)] Detectors
 - [c(329,8)][f(330,9)] Photodetectors
 - [-][-] Radiation detectors
 - [-][f(9,252)] Electron Microscopy
 - [-][-] Hardness Testing
 - [c(41,358)][f(47,407)] Imaging
 - [-][-] Thermal Imaging
 - [-][-] Thermal Imaging Equipment
 - [-][f(9,252)] Electron Microscopy
 - [-][f(191,28)] Optical Microscopy
 - [-][f(8,53)] Scanning Probe Microscopy
 - [-][-] Near-infrared Fluorescence
 - [-][-] Near-infrared Luminescence
 - [-][-] Nonlinear Spectroscopy
 - [c(38,405)][f(40,464)] Sensors
 - [-][-] Magnetostrictive Nanomaterials
 - [c(125,79)][f(116,112)] Biosensors
 - [c(465,2)][f(459,2)] Thermosensors
 - [-][f(387,3)] Particle Accelerators
 - [-][-] Particle Size Analyser
 - [-][-] Pump lasers
 - [-][f(197,26)] Matrix-assisted laser
 - [c(503,1)][f(508,1)] Radars
 - [-][-] Spectrography
 - [-][-] Raman spectrography
 - [-][-] FTIR spectrography
 - [-][-] UV-VIS spectrography
 - [-][-] Stereolithography
 - [-][f(365,4)] Test Tubes
 - [-][-] Testing Equipment
 - [c(464,2)][f(412,3)] Thermometers
 - [-][-] X-ray Equipment
 - [-][f(303,8)] X-ray Fluorescence
 - [-][f(442,1)] X-ray Microscopy
 - [-][f(475,1)] X-ray Tubes
- [c(219,27)][f(210,34)] Lubrication
 - [-][-] Nanolubricants
 - [-][f(347,6)] Ultra-Thin Lubricants
- [-][-] Industry of Nanomachines
- [-][-] Fabrication of Nanomachines
 - [c(129,76)][f(108,133)] Coatings
 - [-][f(463,1)] Powder Coatings
 - [-][-] Thermal Coatings
- [-][-] Furnaces

- [-][-] Industrial Controls
- [c(78,174)][f(91,179)] Etching
- [c(203,31)][f(223,31)] Machining
 - [-][-] Machining Tools
 - [-][-] Milling Machines
- [c(263,17)][f(267,20)] Metrology
 - [-][-] Impact Testing
- [-][f(367,4)] Molecular Sieves
- [c(89,144)][f(96,165)] Mining
- [c(60,230)][f(73,238)] Glass
 - [-][-] Glass Manufacturing
 - [-][-] Glass-polishing
- [-][f(89,58)] Logic gates
- [-][f(426,2)] Magnetic Devices
 - [-][-] Magnetic Fluid Seals
 - [-][f(27,9)] Magnetic Resonance Imaging
- [-][f(90,55)] CDS nanoparticles
- [c(275,15)][f(289,15)] Pipes
- [-][f(482,1)] Radioactive Waste
- [c(54,260)][f(62,312)] Separation
 - [-][-] Nano-motors
- [c(368,5)][f(377,5)] Nanoassembly
- [-][f(277,11)] Nanoelectromechanical Systems
- [-][-] Nanofluidic Systems
 - [-][-] Nanoscale fluid mechanics
- [-][-] Nanolubricants
- [c(88,145)][f(105,143)] Nanomachines
 - [c(94,135)][f(106,136)] Nanodevices
 - [-][-] Free-Floating Solitary Nanodevices
 - [c(153,60)][f(166,61)] Bearing
 - [-][-] Actively Swimming Nanodevices
 - [-][-] Intracellular Nanodevices
 - [-][-] Tessellating Nanodevice Aggregates Nanotissues
 - [-][-] Tiling Nondeforming Surfaces
 - [-][-] Tiling Deforming Surfaces
 - [-][-] Space-Filling Nanodevice Aggregates Nano-Organs
 - [-][-] GaAs-Based Nanodevices
 - [-][-] Mechanical Molecular Nanodevices
 - [-][f(52,2)] Resonant Tunneling Devices
 - [-][-] Room-Temperature Ballistic Nanodevices
 - [c(191,36)][f(205,36)] Nanobots
 - [-][f(202,24)] Gray Goo / [-][f(222,20)] Grey Goo / [-][-] Khaki Goo
 - [-][-] Knowbots
 - [-][-] Nanodefenses
 - [-][-] Nanodisaster
 - [-][-] Cobots
 - [-][-] Nanogate
 - [-][-] Nanoplotter
 - [c(369,5)][f(329,9)] Nanoindentation
 - [-][-] NanoPGM-nanometer-scale patterned granular motion
- [c(417,3)][f(429,3)] Nanomanipulators
 - [c(488,1)][f(482,1)] Nanopositioners
 - [-][-] Biological Cilia
 - [-][-] Nanocilium Manipulators
 - [-][-] Pneumatic Manipulators

- [-][-] Telescoping Manipulators
- [-][-] Stewart Platform Manipulators
- [-][-] Methamorphic Manipulators
- [-][-] Nanoscanning Controllers
- [c(20,740)][f(21,873)] Nanowires
 - [-][f(184,29)] Semiconductor nanowires
- [c(265,17)][f(280,17)] Paints
- [c(456,2)][f(447,2)] Photocatalysis
 - [-][-] Photocatalytic Water Treatment
- [c(354,6)][f(367,6)] Polishing
- [-][-] Polymer Additives
- [-][-] Powder Metallurgy
- [c(144,65)][f(161,68)] Robotics
 - [c(191,36)][f(205,36)] Nanobots
- [-][f(125,40)] Stress response
- [-][-] Surface Treatments
- [c(299,12)][f(307,12)] Tanks
- [-][f(379,3)] Thermoelectric Materials
- [c(69,205)][f(82,206)] Military
 - [c(402,3)][f(430,3)] Bio-weapons
 - [-][f(349,5)] Green Goo
 - [c(290,13)][f(305,13)] Bombs
 - [c(364,5)][f(384,5)] Explosives
 - [-][f(352,5)] Guidance Systems
 - [c(249,20)][f(260,21)] Missiles
 - [-][f(446,1)] Guided Missiles
 - [-][f(382,3)] Night Vision
 - [-][-] Night Vision Systems
 - [-][-] Marine Antifouling
 - [-][-] Marine Antifouling Coatings
- [-][f(449,1)] Military Vehicles
- [c(503,1)][f(508,1)] Radars
- [-][-] Smart Munitions
- [-][f(462,1)] Smart Weapons
- [-][f(356,4)] Space Vehicles
 - [c(150,62)][f(165,62)] Spacecraft
 - [c(321,9)][f(328,9)] Spaceships
- [c(461,2)][f(442,2)] Spacesuits
- [-][-] Surveillance Systems
- [-][-] Torpedos
- [c(143,68)][f(98,161)] Optics and [c(171,48)][f(188,48)] Photonics / [-][-] Nanooptics
 - [c(41,358)][f(47,407)] Imaging
 - [-][f(340,6)] Photonic Devices
 - [c(308,10)][f(314,11)] Nanophotonics
- [c(136,73)][f(145,82)] Lasers
 - [-][-] SemiconductorLasers
 - [c(370,5)][f(382,5)] Nanolasers
 - [-][-] Quantum Dot Lasers
 - [-][-] Surgical Lasers
 - [-][-] Tunable Lasers
 - [-][-] Quantum Well Lasers
- [-][-] Light Absorbers
 - [-][-] Nanooptical Detection
- [-][-] Nanooptical WaveGuiding Devices

- [-][-] Metal Nano-Optics
- [-][f(357,4)] Optical Circuits
 - [-][-] Optical Circuit Boards
- [-][f(483,1)] Optical Communication
- [-][f(386,3)] Optical Components
- [-][-] Optical Computing
- [-][f(56,2)] Optical Data Storage
- [-][f(435,2)] Optical Fibers
- [-][-] [-][-] Optical microelectromechanical systems / [-][f(412,2)] MEMS devices
 - [-][-] Optical Grating Couplers
 - [-][f(285,10)] Optical Imaging
 - [-][-] Optical Microsystems
- [-][-] Optical Networks
- [-][-] Optical Prosthetics
- [-][f(480,1)] Optical Switches
- [-][f(360,4)] Optical Waveguides
- [c(264,17)][f(278,17)] Optoelectronics
- [-][-] Photonic Chips
- [c(495,1)][f(479,1)] Piezoelectrics
- [-][f(227,19)] Photonic Crystals
- [c(164,52)][f(171,56)] Waveguides
- [c(152,61)][f(167,61)] Printing
 - [-][-] Carbon Nanotube Inks
 - [-][-] Conductive Inks
 - [c(460,2)][f(476,2)] Printers
 - [-][-] Inkjet Printers
 - [c(482,1)][f(486,1)] Nano-imprint
 - [c(445,2)][f(460,2)] Nano-lithography
 - [c(316,9)][f(339,9)] Nanopatterning
 - [c(18,774)][f(19,915)] Paper
 - [c(457,2)][f(467,2)] Photocopiers
 - [c(494,1)][f(481,1)] Photography
 - [-][-] Photographic Emulsions
 - [-][-] Photoprinting
 - [c(422,3)][f(426,3)] Toner
- [-][f(370,4)] Textile industry
 - [c(195,34)][f(211,34)] Clothing
 - [c(165,51)][f(180,52)] Fabrics
 - [c(335,8)][f(318,10)] Zipper
 - [c(129,76)][f(108,133)] Coatings
 - [-][-] Protective Suits
 - [-][f(447,1)] Space suits
 - [-][-] Stain Resistant Textiles
 - [-][-] Tablecloths
 - [-][-] Wear Resistant Coatings
- [c(140,71)][f(158,71)] Transportation
 - [c(380,4)][f(397,4)] Buses
 - [c(345,6)][f(362,6)] Airports
 - [-][-] MEMS-Based Nanotechnology
 - [c(156,55)][f(172,56)] Cars
 - [c(375,5)][f(365,6)] Ships
 - [c(430,2)][f(465,2)] Docks
 - [c(343,7)][f(352,7)] Trains
 - [c(473,1)][f(478,1)] Boats

- [c(342,7)][f(345,8)] Submarines
- [c(252,20)][f(264,20)] Roads
 - [c(504,1)][f(480,1)] Railroads
 - [-][-] Rail Equipment
- [-][-] Yachts
 - [-][-] Yacht Masts
- [-][-] Traffic
 - [-][-] Traffic lights
 - [-][-] Traffic control cameras
- [-][-] Public transportation
 - [-][-] Electronic turnstiles
 - [-][-] Urbanrail systems
 - [c(323,9)][f(326,9)] Subway / [c(237,23)][f(251,23)]
- underground
 - [-][-] Surface metrorails
 - [-][-] Commuter trains
 - [-][-] Automatic transporters
 - [c(380,4)][f(397,4)] Buses

Major Topics Related to N&N

- [c(245,21)][f(262,21)] Nanomedicine / [-][f(142,35)] Molecular medicine
 - [-][-] Clinical aspects of nanotechnology
 - [-][f(422,2)] Engineering processes
 - [-][f(369,4)] physical processes
 - [-][f(258,14)] Imaging techniques
 - [-][f(316,7)] Biocompatible materials
 - [-][f(60,1)] Cell surface interactions
 - [c(184,40)][f(173,56)] Embryogenesis
 - [-][-] Blood-Brain Barrier
 - [-][-] Nanochondria
 - [-][f(19,25)] Drug delivery systems
 - [-][f(249,15)] Molecular manipulation
 - [-][f(248,15)] Molecular assembly
 - [c(266,16)][f(277,17)] Anesthesia
 - [-][-] Germ Theory
 - [-][-] Germ Antisepsis
 - [-][-] Blood Transfusions
 - [-][-] Treatment Methodology
 - [c(116,87)][f(129,91)] Examination
 - [c(65,218)][f(72,241)] Diagnosis
 - [-][f(28,9)] Prognosis and Treatment
 - [c(443,2)][f(466,2)] Mitochondriopathies
 - [-][-] Validation and Prophylaxis
 - [c(189,37)][f(193,42)] Tomography
 - [-][f(31,9)] Positron Emission Tomography
 - [-][f(429,2)] Cellular Bioscanning
 - [-][-] Cellular Topographics
 - [-][-] Transcellular Acoustic Microscopy
 - [-][-] Magnetic Resonance Cytotomography
 - [-][-] Near-Field Optical Nanoimaging
 - [-][-] Cell Volume Sensing
 - [-][-] Noninvasive Neuroelectric Monitoring
 - [-][-] Electric Field Neurosensing
 - [-][-] Magnetic Field Neurosensing

- [-][-] Neurothermal Sensing
- [-][-] Direct Synaptic Monitoring
- [-][-] Cellular RF and Microwave Oscillations
- [-][-] Macrosensing
 - [-][-] Acoustic Macrosensing
 - [-][-] Cyto-Auscultation
 - [-][-] Blood Pressure and Pulse Detection
 - [-][-] Respiratory Audition
 - [-][-] Mechanical Body Noises
 - [-][-] Vocalizations
 - [-][-] Environmental Sources
 - [-][-] Proprioceptive Macrosensing
 - [-][-] Kinesthetic Macrosensing
 - [-][-] Orientational Macrosensing
 - [-][-] Body Weight Measurement
 - [-][-] Gravitational Geographic Macrosensing
 - [-][-] Electric Macrosensing
 - [-][-] Magnetic Macrosensing
 - [-][-] Vascular-Interstitial Closed Electric Circuits
 - [-][-] Electric Geographic Macrosensing
 - [-][-] Magnetic Geographic Macrosensing
 - [-][-] Piezoelectric Stress Macrosensing
 - [-][-] Optical Macrosensing
 - [-][-] Neural Macrosensing
- [-][-] Biocellular Messaging
 - [-][-] Cell Message Modification
 - [-][-] Outmessaging Transducers
- [-][-] Human Body Navigation
 - [-][-] Human Somatography
 - [-][-] Navigational Vasculography
 - [-][-] Navigational Bronchography
 - [-][-] Navigational Alimentography
 - [-][-] Navigational Osteography
 - [-][-] Organography and Histonavigation
 - [-][-] Positional Navigation
 - [-][-] Thermographic Navigation
 - [-][-] Barographic Navigation
 - [-][-] Chemographic Navigation
 - [-][-] Microbiotagraphics
 - [-][-] Cytonavigation
 - [-][-] Nucleography
 - [-][-] Epidermal Navigation
 - [-][-] Exodermal Navigation
- [-][-] Fluid Pumping and Plumbing
- [-][-] Cytoambulation
- [-][-] Cytopenetration
 - [-][-] Transmembrane Brachiation
 - [-][-] Metamorphic Screw Drive
 - [-][-] Solvation Wave Drive
 - [-][-] Vesicle Fusion and Endocytotic Entry
 - [-][-] Cytosolic Leakage During Transit
 - [-][-] Breach Sealing and Intrusiveness
 - [-][-] Nuclear Membrane Penetration
- [-][-] Cytocarriage
- [-][-] Nanochronometry
 - [-][-] Human Chronobiology
 - [-][-] Artificial Nanoscale Oscillators

- [-][-] Mechanochemical & Photochemical Oscillators
- [-][-] Mechanical Oscillators
- [-][-] Acoustic Transmission Line Oscillators
- [-][-] Quartz Resonators
- [-][-] Nanorobot Synchronization
- [-][-] Dedicated Chronometer Organs
- [-][-] Cytocide
- [-][-] Virucide
- [-][-] Bacteriocide
- [c(254,19)][f(235,27)] Biocompatibility
 - [-][-] Orthopedic Biomaterials
 - [-][-] Heart Valve Biomaterials
 - [-][-] Bioactive Materials
 - [-][-] Implant Infection and Biofilms
 - [-][-] Nonadhesive Nanorobot Surfaces
 - [-][-] Adhesive Nanorobot Surfaces
 - [-][-] Nanopyrexia
 - [-][-] Nanorobot Mutagenicity / [c(475,1)][f(444,2)]
- Carcinogenicity
 - [-][-] Biocompatibility of Diamond
 - [-][-] Biocompatibility of Carbon Fullerenes and Nanotubes
 - [-][-] Biocompatibility of Nondiamondoid Carbon
 - [-][-] Biocompatibility of Fluorocarbon Polymer
 - [-][-] Biocompatibility of Sapphire Ruby and Alumina
 - [-][-] Biocompatibility of DNA
 - [-][-] Biocompatibility of Shape Memory Materials
 - [-][-] Biocompatibility of Metals
 - [-][-] Biocompatibility of Semiconductors
 - [-][-] Biocompatibility of Quantum Dots
 - [-][-] Biocompatibility of Dendrimers
 - [-][-] Biocompatibility with Neural Cells
 - [-][-] Biofouling of Medical Nanorobots
 - [-][-] Biocompatibility of Nanorobot Effluents and Leachates
- [-][-] Nanorobotic Thermocompatibility
- [-][-] Electrocompatibility
- [-][-] Cytomembrane and Intracellular Mechanocompatibility
- [-][-] Geometrical Trapping of Bloodborne Medical Nanorobots
- [-][-] Phagocytosis of Medical Nanorobots
- [-][-] Particle Clearance
- [-][-] Society Ethics and Geopolitics
- [-][-] Physics at the nanoscale
- [c(448,2)][f(470,2)] Nanobusiness
 - [c(234,23)][f(231,28)] Patenting
- [-][-] Environmental and Economic aspects of Nanoscience and
- Nanotechnology
 - [-][-] Merging Micro and Nanoelectronics
 - [-][f(4,87)] Genetics and Genomics
 - [-][-] Molecular biology
 - [-][f(2,733)] Multidisciplinary sciences
 - [-][f(6,659)] Materials Science
 - [-][f(32,96)] Polymer science
 - [-][f(3,698)] Cell biology
 - [-][-] NANOBIOMIMETICS
 - [-][-] Lipids as Nano-Bricks and Mortar
 - [-][-] Same but Different Self-Assembled Nanolayers
 - [-][-] The Bits that Do Things - Proteins

[-][-] Structure is Information - DNA
[-][-] A Biological Nanotechnological Future

Key Concepts in N&N

[-][-] Molecular recognition
[-][-] Building blocks
[-][-] Structures
[c(11,1006)][f(13,1329)] Nanoparticles
[-][-] Nanostructured films
[c(369,5)][f(329,9)] Nanoindentation ([-][-] nanofabrication or [-][-] nanomanipulation)
[-][-] Molecular control
[-][-] Surface Probe Microscopy
[-][f(1,142)] Transmission Electron Microscopy
[c(20,740)][f(21,873)] Nanowires
[c(19,754)][f(12,1465)] Nanotubes
[-][f(33,96)] Drug Design
[-][-] Genomics
[-][-] Genetic Therapy
[c(262,17)][f(220,32)] Liposomes
[-][-] Biological membranes
[-][-] Quantum computation
[-][-] Quantum physics ([-][-] chemistry - mechanics)
[-][f(14,169)] Quantum dots
[-][-] Quantum confinement
[-][-] Bose-Einstein condensation
[-][-] Laser cooling
[-][-] Laser trapping
[-][-] Atomic physics
[-][-] Surface-enhanced spectroscopy
[-][-] Semi-empirical methods
[-][-] Ab initio methods
[-][-] Density functional theory
[-][-] Computer modeling
[-][-] Sensors and biosensors
[c(218,27)][f(218,32)] Langmuir-Blodgett
[c(50,293)][f(63,307)] Self-assembly
[-][-] Layer-by-layer method
[-][-] Phospholipids
[c(2,3239)][f(3,3998)] Proteins
[c(3,3046)][f(2,4424)] DNA
[-][-] Nanobiotechnology
[c(127,79)][f(139,85)] Nanoelectronics
[-][f(22,118)] Molecular electronics
[c(233,23)][f(207,36)] Nanolithography
[-][-] Water
[c(68,211)][f(65,290)] Crystals
[-][-] Nanocatalysts
 [-][-] Visible-Light-Sensitive Photocatalysts
[-][-] Nanocrystals
[-][f(141,36)] Electrical Properties
[-][f(86,59)] Optical Properties
[c(46,307)][f(30,583)] Spectroscopy
[c(84,149)][f(22,824)] Microscopy

[-] [-] Diffraction
[-] [-] Sensors and actuators
[-] [f (23 , 116)] Drug Delivery
[-] [f (12 , 171)] Gene Therapy
[-] [-] Toxology
[c (35 , 430)] [f (41 , 459)] Computers
[c (79 , 171)] [f (70 , 246)] Chips
[c (173 , 45)] [f (184 , 49)] Detectors
[c (103 , 101)] [f (114 , 120)] Displays
[-] [f (41 , 85)] Genetic Engineering
[c (210 , 29)] [f (201 , 38)] Nanospheres
[c (19 , 754)] [f (12 , 1465)] Nanotubes

Apêndice 4 - Projetos de Graduação de Lucas Antikeira e Luiz Carlos Genovês Jr.

Projeto de Lucas Antikeira

Antikeira, L. O Uso de Redes Complexas na Elaboração de uma Taxonomia para a Área de Nanotecnologia. Projeto de Graduação I, ICMC-USP, São Carlos, SP, 2005. Disponível em: <http://www.icmc.usp.br/~lantiq/publicacoes.php>.

Projeto de Luiz Carlos Genovês Jr.

Genovês Jr., L.C., Aluísio, S.M. Avaliação de ambientes de suporte à montagem automática de cópús a partir de textos da Web e extração automática de termos, NILC-TR-05-15. Também como Relatório Técnico do ICMC No 266, 52 p., São Carlos-SP, 2005.

Apêndice 5 - Ambiente Web colaborativo do Projeto Extração automática de termos e elaboração colaborativa de terminologias para o intercâmbio de conhecimento especializado

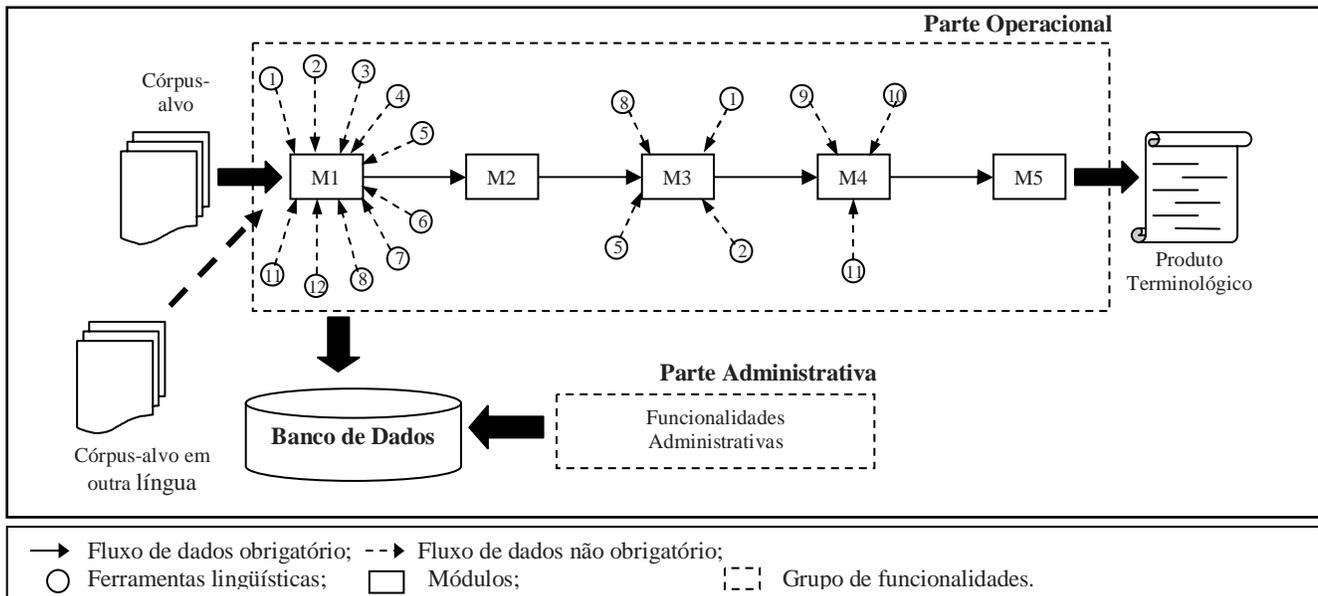


Figura 38: Estrutura do Ambiente Web Colaborativo

Na Figura 38, o Módulo 1 (M1) é responsável pelo suporte e análise da qualidade dos cópus-alvo; o Módulo 2 (M2) pela Extração automática de termos; o Módulo 3 (M3) pela Edição da estrutura conceitual e categorização de termos; o Módulo 4 (M4) pelo Gerenciamento da base de dados terminológicos e o Módulo 5 (M5) pelo Intercâmbio e difusão de termos. A Tabela 13 mostra (de acordo com os círculos numerados na Figura 38) o conjunto de ferramentas de PLN que serão utilizadas no Ambiente do projeto Extração automática de termos e elaboração colaborativa de terminologias para o intercâmbio de conhecimento especializado, fazendo com que ele se diferencie dos demais.

Tabela 13 - Conjunto de ferramentas de PLN

Número	Nome da Ferramenta
1	Contadores de frequência de palavras
2	Contadores de frequência de uma única palavra ou expressão
3	Concordanceadores
4	Identificação e separação de lexias complexas
5	Identificação e recuperação de termos do corpus
6	Etiquetadores (taggers)
7	Segmentador Sentencial
8	Lematizadores
9	Corretores gramaticais (identificação de erros ortográficos e sintáticos – parsers)
10	Editores de definição (tipologia de definição)
11	Alinhador de palavras
12	Identificação de Unigrama, Bigramas e Trigramas

Apêndice 6 - Lista de sementes utilizadas por 5 grupos de estudantes para a montagem de córpus com o BootCat a partir de textos na Web

Grupo 1

1. Synthesis, Processing and Fabrication

Chemical synthesis

Sol-gel methods

Molecular beam epitaxy

Heteroepitaxy

Laser cooling – Laser trapping

Self-assembly

Chemisorption

Physical adsorption (layer-by-layer technique)

Vapor processing

Chemical vapor deposition

Physical vapor deposition

Nanofabrication

via atom optics

Nanoindentation

Nanoscale crystal growth

Nanolithography

Langmuir-Blodgett

Grupo 2

3. Properties and Characterization techniques

Electrical Properties

electronic transport, etc.

Optical Properties

Photorefractive

Near-field optics

Linear and nonlinear spectroscopy

Vibrational spectroscopy

FRIR and Raman

Tribology

Confocal Microscopy

Electron microscopy

Scanning electron microscopy

Transmission electron microscopy

Scanning probe microscopy

Scanning Tunneling Microscope

Atomic Force Microscope
Low Temperature Scanning Probe Microscopy
Scanning Force Microscopy and Spectroscopy
Dynamic Force Microscopy
Molecular Recognition Force Microscopy
Ligand Tip Chemistry
Fixation of Receptors to Probe Surfaces
Single-Molecule Recognition Force Detection
Recognition Force Spectroscopy:
Recognition Imaging

- Electric force microscopy
- Magnetic force microscopy
- Friction force microscopy

Nanometrology
Fluorescence, thermoluminescence and photostimulated luminescence
Surface-enhanced optical phenomena
Nanomechanics
Plasmon resonances

Grupo 3

4. Machines and Devices

Molecular and supramolecular nanomachines
Functional nanostructures incorporating responsive modules
Photodetectors
Quantum well infrared photodetectors
Sensors and actuators

- Atomic and molecular sensors
- Biosensors
- Gas sensors
- Chemical sensors
- Taste sensors

Nanomanipulators

- Nanotweezers

Optoelectronic devices
Magnetic devices and new computing systems
Biological motors
Photovoltaic cells
Electroluminescent devices
Plastic logic
Molecular switches
Nanotherapeutic devices

Grupo 4

5. Theories and Computational methods

Quantization and confinement phenomena

Spintronics

Quantum information theory

Atomistic simulation methods

Nanoscale fluid mechanics

Nanoelectronics

Grupo 5

Major Topics Related to N&N

Nanomedicine

Clinical aspects of nanotechnology;

Engineering and physical processes;

Imaging techniques;

Biocompatible materials;

Cell surface interactions;

Molecular manipulation and assembly;

Drug delivery systems.

Society, Ethics and Geopolitics

Physics at the nanoscale

Nanobusiness

Patenting

Environmental and Economic aspects of Nanoscience and Nanotechnology

Merging Micro and Nanoelectronics

Genomics

Molecular biology

Multidisciplinary sciences

Materials Science

Polymer science

Cell biology

Nanobiomimetics

Lipids as Nano-Bricks and Mortar

Same but Different: Self-Assembled Nanolayers

The Bits that Do Things - Proteins

Structure is Information - DNA

A Biological Nanotechnological Future

Anexo I – Modelo de Dados Físico

Tabela Ontologia

Atributo	Tipo	Null	Chave	Padrão	Extra
id	smallint(5) unsigned		PRI	[NULL]	auto_increment
Nome	varchar(20)				
descricao	varchar(255)				

Tabela No

Atributo	Tipo	Null	Chave	Padrão	Extra
id	int(10) unsigned		PRI	[NULL]	auto_increment
no_id_pai	int(10) unsigned	YES	MUL	[NULL]	
ontologia_id	smallint(5) unsigned		MUL	0	
Nome	varchar(255)				
cortexto	varchar(20)	YES		[NULL]	
Corno	varchar(20)	YES		[NULL]	
url	varchar(255)	YES		[NULL]	
hint	varchar(255)	YES		[NULL]	

Anexo II – Modelo de Dados Relacional

