

MOISÉS ANDRÉ NISENBAUM

A transposição científica da física para a ciência da informação

Tese de Doutorado
Março de 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ
ESCOLA DE COMUNICAÇÃO – ECO
INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO – PPGCI

MOISÉS ANDRÉ NISENBAUM

A TRANSPOSIÇÃO CIENTÍFICA DA FÍSICA PARA A CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO

RIO DE JANEIRO

2017

Moisés André Nisenbaum

A TRANSPOSIÇÃO CIENTÍFICA DA FÍSICA PARA A CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação, convênio entre o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia e a Universidade Federal do Rio de Janeiro / Escola de Comunicação, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência da Informação.

Orientadores: Lena Vania Ribeiro Pinheiro e Jose Abdalla Helayël-Neto

Rio de Janeiro

2017

N722t Nisenbaum, Moisés André
A transposição científica da física para a ciência da informação / Moisés André Nisenbaum. -- Rio de Janeiro, 2017.
143 f.

Tese (Doutorado em Ciência da Informação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Comunicação, Rio de Janeiro, 2017.

Orientadora: Lena Vania Ribeiro Pinheiro.
Coorientador: Jose Abdalla Helayël-Neto.

1. Transposição Científica. 2. Interdisciplinaridade. 3. Metrias da Informação e Comunicação. 4. Ciência da Informação. I. Pinheiro, Lena Vania Ribeiro (Orient.) II. Helayël-Neto, Jose Abdalla (Coorient.) III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Comunicação. IV. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação. V. Título.



DOUTORADO EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO

Ata de Defesa número: 52

Data: 21/03/2017 Horário: 09: 00hs Local: IBICT

Nome do aluno(a): Moisés André Nisenbaum DRE: 113000298

Título da Tese: Transposição Científica da Física para a Ciência da Informação.

Coorientador: Jose Abdalla Helayel

Banca Examinadora presidida por Profa. Lena Vania Ribeiro Pinheiro (Orientador/a), aprovada pela Comissão Deliberativa em 09 /01/2017

Nome	Instituição
1 Lena Vania Ribeiro Pinheiro	IBICT/PPGCI
2 Jose Abdalla Helayel	CBPF
3 Rosali Fernandez de Souza	IBICT/PPGCI
4 Marco André Feldman Schneider	IBICT/PPGCI
5 Tania Chalhub de Oliveira	INES
6 Luis Fernando Sayão	CNEN

Após a exposição do trabalho pelo/a aluno/a e sua arguição pelos membros da Banca, a Banca Examinadora decidiu pela:

☒ **Aprovação da Tese**, tendo sido a/o aluna/o concedido o título de **DOUTOR EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO**;

☐ **Reprovação da Tese**;

☐ **Revisão da Tese**, concedendo o prazo de () 30 dias () 45 dias () 60 dias () 90 dias, que se encerra em / /, sendo indicado(s) o(s) seguinte(s) membro(s) da banca para aprovação da revisão _____

Assinaturas dos membros da Banca Examinadora:

Professor(a) (Presidente) _____

Professor(a) _____

Professor(a) _____

Professor(a) _____

Professor(a) _____

Professor(a) _____

Assinatura do/a aluno/a:

Rio de Janeiro, 21 / 03 / 2017

DEDICATÓRIA

Em memória de minha querida e amada mãe que me alimentou com carinho e esperança, me protegeu e priorizou mesmo nas maiores dificuldades e me mostrou que a vida é bela.

Em memória de meu querido e amado primo José Guerchon, que sempre esteve ao meu lado me incentivando e orientando em inúmeras conversas filosóficas ou não, caminhadas na praia e passeios pelos bosques do conhecimento científico e espiritual.

Em memória de meu querido e amado irmão de coração Ricardo Pessoa, meu grande companheiro e amigo de todas as horas, iluminado e iluminante, uma estrela no céu.

Pelo presente e futuro brilhante, próspero e estudioso dos meus filhos Alexandre e Vitória, que estão e estarão em meu coração e pensamento com eterno amor incondicional.

Eles estão presentes hoje e sempre em meu coração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a D-us por ter iluminado meu caminho durante esta jornada, com saúde, paz, prosperidade, família e bons amigos.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ) na figura do Reitor Paulo Assis e da Diretora do Campus Florinda Cersósimo, bem como aos professores membros do Colegiado do Curso Técnico em Manutenção e Suporte em Informática do IFRJ e seus coordenadores Telma Alves e Rita de Cássia, pelo apoio e incentivo.

À minha esposa Barbara pelo apoio e amor incondicional, sempre me incentivando em conversas, técnicas ou não, com suas palavras positivas, participando de todos os momentos felizes e de crise e principalmente por se sentir feliz com a minha felicidade.

Aos meus filhos Vitória e Alexandre pelo amor, carinho e afeto incondicionais, mesmo quando eu estive ausente, ocupado, mal-humorado e surtado; pelos lembretes do tipo “ficar com sua filha” em meio a dezenas de tarefas a serem cumpridas, pela alegria em saber que estão por perto.

À minha irmã Rosane Nisenbaum por ser minha inspiração, pelo apoio técnico ou não, por nossas conversas longas ou curtas, por ter me acolhido com amor e carinho em sua casa, inclusive durante minhas pesquisas, por me obrigar a tirar férias, pelo seu amor incondicional.

À minha prima Paula por estar sempre por perto, por nossas conversas profundas sobre judaísmo, pelas lindas palavras de incentivo.

Aos meus primos, Bernardo e Regina por estarem sempre presentes, me dando apoio e segurança.

Aos meus sogros Virgínia e Manuel por me adotarem como parte da família e por me alimentarem com ética, atitudes e gentileza.

Aos meus cunhados Cristina, Ricardo, Alexandre, Dani e Andres pela força, apoio e incentivo.

À professora Lena Vânia Ribeiro Pinheiro que me apresentou o mundo maravilhoso da Ciência da Informação, pelo qual me apaixonei. Minha queridíssima orientadora que me recebeu de braços abertos como aluno ouvinte, sugeriu o tema da tese e aceitou me orientar. Por me dar apoio em questões técnicas e pessoais, por ter me ajudado em momentos de indecisão e insegurança, por ter aberto sua casa, mesmo em fins de semana, por ter me apresentado sua linda família, por ser acima de tudo, minha amiga.

Ao professor José Abdalla Helayël-Neto, meu querido professor de eletromagnetismo do mestrado que gentilmente aceitou me orientar nesta tese. Sempre positivo, seu apoio técnico e pessoal foi determinante para me tranquilizar e me manter motivado. Pelas nossas reuniões e trocas de e-mail a três, cercadas de paz e querer bem, que foram fundamentais para o tratamento de assuntos da tese.

Ao professor Carlos Victor por ter me apresentado e incentivado a ingressar no Programa de Pós-Graduação em Ciência de Informação do IBICT/UFRJ.

Ao Professor Rafael Capurro que, em visita ao Rio, em quinze minutos de conversa, abriu caminho para minhas pesquisas em Informação em Física, por ter me apresentado e introduzido na lista de discussão FIS, pelas longas conversas na orla de Copacabana, por skype e por e-mail.

Ao professor Pedro Marijuan, moderador da lista FIS, por ter me acolhido, apoiado e incentivado com extrema gentileza.

Ao professor Bob Logan pelo apoio e disponibilidade, por ter me recebido na Universidade de Toronto, por ter me apresentado McLuchan, pela gentileza e incentivo.

Por último, porém não menos importante, quero agradecer e abraçar meus colegas de Doutorado, em especial, Carlos Vieira, com quem desenvolvi profunda amizade e que esteve ao meu lado me ajudando e aconselhando.

EPÍGRAFE

“Ben Zomá disse:

Quem é sábio? Aquele que aprende de toda pessoa,
conforme foi dito: De todos os que me ensinaram obtive sabedoria; decerto Teus testemunhos são minha conversa.

Quem é forte? Aquele que domina sua [má] inclinação,
conforme foi dito: Aquele que é lento para a ira é melhor que o homem forte, e aquele que domina suas emoções é melhor que aquele que conquista uma cidade.

Quem é rico? Aquele que se contenta com a sua parte,
conforme foi dito: Quando comes do [produto do] esforço de tuas mãos, feliz és e o bem estará contigo. “Feliz és” - neste mundo; “e o bem estará contigo” - no Mundo Vindouro.

Quem é honrado? Aquele que honra aos outros,
conforme foi dito: Decerto, os que Me honram, honrarei, e os que Me desprezam, degradar-se-ão.”

Pirkê Avot (Ética dos Pais) – Capítulo 4.

NISENBAUM, Moisés André. **A transposição científica da física para a ciência da informação**. Orientadores: Lena Vania Ribeiro Pinheiro e Jose Abdalla Helayël-Neto. 2017. 143 f. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Comunicação, Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação, Rio de Janeiro, 2017.

RESUMO

Analisa a Interdisciplinaridade entre Física e Ciência da Informação (CI), com objetivo de revelar, quantificar e qualificar esta relação, estabelecida principalmente por meio do objeto de estudo da CI, a Informação. Utiliza como fonte de pesquisa documentos indexados pelas bases de dados *Web of Science* (WoS) e *Scopus* além de mensagens da lista de discussão eletrônica *Foundations of Information Science* (FIS). Um conceito novo, o de Transposição Científica, foi desenvolvido no intuito de auxiliar a Medição da Interdisciplinaridade entre Física e CI que, juntamente com um questionário aplicado aos membros da lista FIS e cinco entrevistas com físicos e cientistas da informação, compuseram a base metodológica da pesquisa. Os resultados mostram que existe interdisciplinaridade, muitas vezes indireta, entre Física e CI e que o método da Transposição Científica se mostrou eficiente para identifica-la.

Palavras chave: Transposição Científica, Interdisciplinaridade, Métricas da Informação e Comunicação, Ciência da Informação.

NISENBAUM, Moisés André. **A transposição científica da física para a ciência da informação**. Orientadores: Lena Vania Ribeiro Pinheiro e Jose Abdalla Helayël-Neto. 2017. 143 f. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Comunicação, Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação, Rio de Janeiro, 2017.

ABSTRACT

Analyzes the Interdisciplinarity between Physics and Information Science (IS). The aim of this study is to reveal, qualify and quantify this relationship, established mainly through the object of study of CI, Information. It uses documents indexed by the Web of Science (WoS) and Scopus databases as well as messages from the Foundations of Information Science (FIS) electronic mailing list, as data sources. A new concept, the Scientific Transposition, was developed in order to aid in the Measurement of Interdisciplinarity between Physics and IS, which, together with a questionnaire applied to the members of the FIS list and five interviews with Physicists and Information Scientists, composed the methodological basis of this research. The results show that there is an interdisciplinary, often indirect, between Physics and IS and that the method of Scientific Transposition has proved efficient to identify it.

Keywords: Scientific Transposition, Interdisciplinarity, Information and Communication Metrics, Information Science.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de relações de citação gerado pelo The Eigenfactor Project	20
Figura 2: Três pilares da Comunicação Científica e exemplos de sub-elementos	26
Figura 3: Exemplo de historiográfico a partir dos artigos de autoria de Papers by J Kormendy de 1977 a 2000	28
Figura 4: Esquemas do Acoplamento Bibliográfico e da Co-citação	29
Figura 5: Mapa de co-citação das publicações de José Abdalla Helayel Neto	30
Figura 6: Mapa da Ciência a partir dos registros de acesso a portais científicos.....	31
Figura 7: Mapa da Ciência em 2007	32
Figura 8: Overlay map da "Information Science"	33
Figura 9: Processo da Comunicação Científica de Garvey.....	34
Figura 10: Omissão sucessiva de informação ao longo do fluxo da Comunicação Científica ..	35
Figura 11: Mapa conceitual dos estudos em Interdisciplinaridade e o contexto desta tese....	38
Figura 12: Pluri, inter e multidisciplinaridade e suas características	39
Figura 13: Disposição hierárquica das disciplinas, chamadas Ciências da Informação, que se relacionam com a CI	42
Figura 14: Encapsulamento da Física em outras disciplinas para difundir na CI.....	44
Figura 15: Três clusters de pesquisa que avaliaram a IDR, principalmente na década de 2000	46
Figura 16: Mapa conceitual sobre medição de IDR que utilizam as MIC (WAGNER et al., 2011)	49
Figura 17: Esquema de uma máquina térmica.....	62
Figura 18: Microestados e macroestados de um sistema termodinâmico formado por dois dados.	65
Figura 19: Demônio de Maxwell decidindo o destino das moléculas mais e menos velozes..	67
Figura 20: Diagrama de Transposição Científica da Termodinâmica para CI.....	68
Figura 21: Modelo de camadas TCP/IP da comunicação entre dois computadores.....	69
Figura 22: Esquema geral de um sistema de transmissão de mensagens na TMC.....	70
Figura 23: Esquema do modelo da TMC adaptado para a Comunicação Social	73
Figura 24: Diagrama de Transposição Científica da Física para CI, por meio da TMC	73
Figura 25: Diagrama de Transposição Científica da Física para CI por meio da Biologia	75
Figura 26: Diagrama de Transposição Científica da Física para CI por meio da Filosofia	77

Figura 27: Diagrama de Transposição Científica da Física para CI por meio da Computação Quântica	82
Figura 28: Mapa conceitual da Pesquisa Científica e o papel da Metodologia (BRAGA, 2007)	83
Figura 29: Interface do programa WFCA.....	86
Figura 30: Operadores booleanos e Códigos de Campo das bases de dados Scopus e Web of Science	87
Figura 31: Quantidade de Interdisciplinaridade Absoluta e Relativa medidas a partir do método da Transposição Científica	91
Figura 32: Gráfico do percentual de artigos do ENANCIB que citam Meadows, Price e Ziman	106
Figura 33: Países onde moram os membros da lista FIS que responderam ao questionário	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Disciplinas com interfaces com a CI, de acordo com artigos científicos e livros da área	41
Quadro 2: Subáreas / disciplinas da Ciência da Informação	43
Quadro 3: Sete princípios gerais para avaliação de IDR.....	46
Quadro 4: Exemplos de Transposição Científica (TC) e seus Índícios (ITC)	56
Quadro 5: Exemplos de transposição científica em artigos do JASIST	56
Quadro 6: Quantidade de urs em objetos materiais.....	77
Quadro 7: Lista de pioneiros da CI que são físicos, em ordem alfabética	94
Quadro 8: Palavras selecionadas entre mais frequentes em artigos da Física que têm “informação” no título, resumo ou palavras-chave	96
Quadro 9: Palavras selecionadas entre as mais frequentes em artigos das Ciências Sociais que têm “informação” no título, resumo ou palavras-chave.....	97
Quadro 10: Quantidades de interdisciplinaridade entre Física e CI e entre Ciências Sociais e CI	98
Quadro 11: Perfil acadêmico e Áreas de Interesse dos 10 principais autores da Lista FIS	110
Quadro 12: Ranking das palavras específicas da Física mais frequentes nas mensagens da lista FIS classificadas em “Informação e Física”	113
Quadro 13: Definições de "Informação" formuladas pelos respondentes do questionário .	116
Quadro 14: Definições de "Ciência da Informação" formuladas pelos respondentes do questionário.....	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ranking de formações acadêmicas dos cientistas pioneiros da CI na América do Norte.....	93
Tabela 2: Principais periódicos onde foram publicados artigos com TC da Física para CI.....	100
Tabela 3: Autores mais citados pelos autores mais produtivos em comunicação científica, na revista Ciência da Informação, 1972-2009.....	101
Tabela 4: Sumário das Subject Areas Scopus dos autores listados na Tabela 3	102
Tabela 5: Frequência (F) da formação acadêmica dos autores listados na Tabela 3.....	102
Tabela 6: Formação acadêmica dos físicos mais citados na Tabela 3.....	103
Tabela 7: Número de artigos do Enancib por GT que citam Meadows (M), Price (P) e Ziman (Z)	105
Tabela 8: Número de postagens da lista FIS de 1997 a 2016, em função do número de autores.	108
Tabela 9: Número de postagens dos 20 autores mais produtivos de 1997 a 2016, de 4 em 4 anos.	108
Tabela 10: Número de documentos (# doc) indexados na base Scopus, por autor	109
Tabela 11: Classificação das Mensagens da Lista de Discussão FIS em Tópicos Agrupados, por ocorrência.....	111

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CC - Comunicação Científica

CI – Ciência da Informação

COC - *Citations Outside Category* (citações a categoria externas)

FIS - *Foundations of Information Science*

IDR - *Interdisciplinary Research* (Pesquisa Interdisciplinar)

ITC - Indícios de Transposição Científica

JCR - *Journal Citation Reports*

MIC - Metrias da Informação e Comunicação

MIT - Massachusetts Institute of Technology

NSF - *National Science Foundation*

OAIS - *Open Archive Information Systems*

RMN – Ressonância Magnética Nuclear

TC – Transposição Científica

TMC – Teoria Matemática da Comunicação

WFCA - *Hermetic Word Frequency Counter Advanced* (software)

WoS – *Web of Science*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	ELEMENTOS DE COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA RELEVANTES PARA ESTA PESQUISA ...	25
3	INTERDISCIPLINARIDADE	37
4	MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DA PESQUISA INTERDISCIPLINAR	45
5	TRANSPosição CIENTÍFICA	53
5.1	Definição	54
5.2	Níveis de Transposição Científica	55
6	INFORMAÇÃO EM FÍSICA	58
6.1	Leis da Termodinâmica, Entropia e Demônio De Maxwell.....	61
6.2	Teoria Matemática da Comunicação de Shannon (1948)	68
6.3	Brillouin e o Conceito de Negentropia (1949)	73
6.4	Weizsäcker e a Reconstrução da Mecânica Quântica (1988).....	75
6.5	Stonier e a Equivalência entre Informação, Energia e Matéria (1991)	78
6.6	Wheeler – It From Bit (1992)	79
6.7	Informação e Computação Quântica	80
7	METODOLOGIA	83
7.1	Fases da pesquisa e fontes de dados.....	83
7.2	Ferramentas utilizadas para coleta de dados.....	85
7.2.1	<u>HTTrack</u>	85
7.2.2	<u>Hermetic Word Frequency Counter Advanced (WFCA)</u>	85
7.2.3	<u>Bases de dados Scopus e Web of Science</u>	86
7.3	Entrevistas individuais	87
7.4	Questionário para os membros da lista FIS	88
7.5	Transposição científica para identificar e medir interdisciplinaridade	90
8	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E RESULTADOS	92
8.1	Pioneiros da Ciência da Informação na América do Norte	92
8.2	Medição da Interdisciplinaridade pela Transposição Científica	95

8.3	Formação e Área de produção de cientistas mais citados em Comunicação Científica na Revista Ciência da Informação	100
8.4	Influência dos físicos em trabalhos apresentados no ENANCIB.....	103
8.5	Análise de conteúdo das mensagens da Lista de discussão FIS	106
8.5.1	<u>Procedimento metodológico</u>	107
8.5.2	<u>Resultados das análises da lista FIS</u>	108
8.6	Método da Transposição Científica Utilizando ITC's das Mensagens da Lista FIS	113
8.7	Questionário aplicado aos membros da lista FIS.....	115
8.7.1	<u>Resultados dos questionários</u>	115
8.8	Entrevistas	117
8.8.1	<u>Entrevistado 1</u>	118
8.8.2	<u>Entrevistado 2</u>	118
8.8.3	<u>Entrevistado 3</u>	119
8.8.4	<u>Entrevistado 4</u>	120
8.8.5	<u>Entrevistado 5</u>	122
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
	REFERÊNCIAS	130
	APÊNDICES.....	137
	APÊNDICE A – Questionário aplicado aos membros da lista FIS.....	137
	APÊNDICE B – Listagem de Tópicos da Lista de Discussão FIS, ordenados por data.	140
	ANEXOS.....	143
	ANEXO A - Exemplos de esquemas IDEF0.	143

1 INTRODUÇÃO

O caráter interdisciplinar da Ciência da Informação (CI) é identificado desde sua fundação, visto que diversas disciplinas estão presentes nas definições de CI (GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 1962, p.115; BORKO, 1968). Teóricos que estudaram a história e a Epistemologia da CI destacaram a colaboração e influência de outras áreas nas pesquisas em CI. Entre estes teóricos, Wersig e Neveling (1975) ressaltam que a CI, inicialmente motivada por problemas de documentação e recuperação da informação, teve a influência de cientistas de diversas formações que ampliaram o campo de atuação da CI. No decorrer destes estudos, várias áreas foram apontadas, mas, apesar de físicos como Solla Price, Meadows e Rafols estarem presentes na fundação, consolidação e/ou aplicação da CI, as relações interdisciplinares da CI com a Física ainda não tinham sido estudadas em pesquisas científicas. O intuito desta tese é começar a preencher esta lacuna.

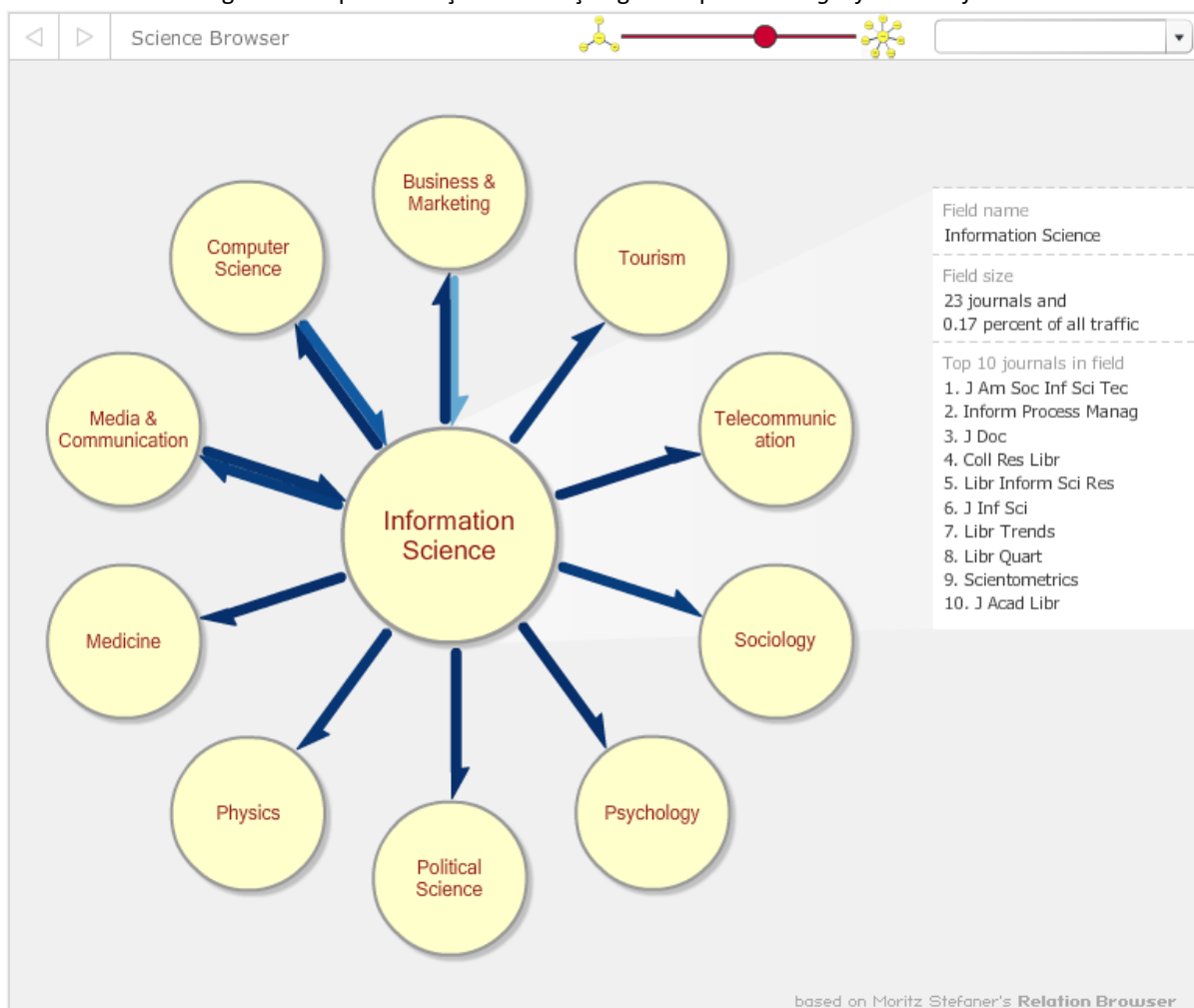
Pesquisas recentes utilizam Metrias da Informação e Comunicação (MIC)¹ para identificar e medir interdisciplinaridade, no contexto da pesquisa científica (WAGNER et al., 2011). O conceito de *Citations Outside Category* (COC – citações a categorias externas), de Porter e Chubin (1985), que, de forma resumida, observa o número de citações que um ou mais periódicos pertencentes a uma categoria (geralmente do *Web of Science* - WoS) faz a periódicos de outras categorias, é um dos mais utilizados em métodos para medir interdisciplinaridade.

Nesta perspectiva, o *Eigenfactor Project*, do Departamento de Biologia da Universidade de Washington, desenvolveu o *Interactive Map Science Browser*², que mostra graficamente as citações entre campos do conhecimento, usando como fonte a base de dados *Journal Citation Reports (JCR)*, de 2006. A Figura 1 mostra as relações de citação do campo *Information Science* com dez outros campos.

¹ O termos “Metrias da Informação e Comunicação” está sendo usado em CI para abarcar as diversas metrias como Bibliometria, Cientometria, Informetria, Altmetria e Webometria.

² Disponível em: <http://www.eigenfactor.org/map/interactiveBrowser.php>. Acesso em: 19/out./2016.

Figura 1: Mapa de relações de citação gerado pelo *The Eigenfactor Project*.



Fonte: Disponível em: <http://www.eigenfactor.org/map/interactiveBrowser.php> Acesso em: 19/out./2016

Os círculos indicam campos da ciência e as setas as relações de citações. A interface do mapa é dinâmica, pode-se regular o número de campos relacionados por meio de um controle no canto superior direito do browser. A direção e espessura das setas indicam, respectivamente, citante e citado e o número de citações. Dos 23 periódicos classificados no campo *Information Science*, dez destes aparecem na listagem à direita do browser. Deste mapa, verificamos que a CI cita mais do que é citada de forma que as relações bilaterais relevantes são apenas três (Ciência da Computação, Administração e Comunicação). De acordo com este mapa, a CI cita artigos em periódicos no campo da Física e isto pode ser um indicador de interdisciplinaridade.

O objeto de estudo desta tese é a Interdisciplinaridade entre Ciência da Informação e Física. Para contextualizá-lo, constata-se que a palavra interdisciplinaridade está presente em aproximadamente 0,77% dos artigos científicos indexados pela WoS na categoria *Information*

*Science & Library Science*³. Destes, os artigos mais citados referem-se à Identificação e Medição da Interdisciplinaridade⁴ e o número de artigos tem crescido exponencialmente ao longo dos anos⁵.

A interdisciplinaridade entre CI e uma outra disciplina foi objeto de estudo em teses e dissertações brasileiras indexadas na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações do IBICT (BDTD)⁶, que abrange 17 das 18 instituições que oferecem programas de pós-graduação em Ciência da Informação no Brasil, reconhecidos pela CAPES⁷. Foram identificadas quatro teses e quatro dissertações que analisaram a interdisciplinaridade entre Ciência da Informação e Arquivologia, Museologia, Design da Informação, Ciência da Computação, Educação e Administração⁸. A disciplina Física será adicionada a este grupo por meio da presente pesquisa.

A interdisciplinaridade entre Física e CI pode ser identificada pela presença de:

- pesquisadores físicos como Derek de Solla Price, Jack Meadows e John Michael Ziman entre os pioneiros da CI;
- termos tipicamente da Física, como matéria, energia, fluxo e entropia, em comunicações científicas em CI e
- métodos da Física em pesquisas em CI.

Nossa questão de pesquisa é: como pesquisadores, termos e métodos da Física aparecem na pesquisa em Ciência da Informação? Os resultados mostram que isto ocorre de forma indireta porque os termos e métodos da Física aparecem na CI por meio de disciplinas intermediárias. Por exemplo, o conceito de informação da teoria matemática da comunicação

³ 0,77% é o resultado da razão entre os registros das seguintes buscas no WoS: (1) (wc=(Information Science & Library Science) and TS=(interdisciplinar*)) AND Tipos de documento: (Article) – 927 registros e (2) (wc=(Information Science & Library Science)) AND Tipos de documento: (Article) – 120.980 registros. Tempo estipulado=1945-2016. Busca feita em 4/fev./2017.

⁴ Resultado da análise qualitativa dos títulos dos 20 artigos mais citados.

⁵ Resultado da análise da razão da nota de rodapé número 3, ano a ano.

⁶ Busca avançada realizada no BDTD - Busca: (Todos os campos:interdisciplinar E Todos os campos:"ciencia da informacao") – retornou 119 registros. A análise qualitativa do título retornou os que analisam interdisciplinaridade entre CI e uma disciplina.

⁷ Foi comparada a listagem de instituições participantes na BDTD. Disponível em:

http://wiki.ibict.br/index.php/Bibliotecas_Digitais_de_Teses_e_Dissertações com a saída da busca na plataforma Sucupira

(<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/programa/listaPrograma.jsf>) por programas de pós-graduação cadastrados na área básica “Ciência da Informação”. Acessos em: 13/fev./2017.

⁸ A BDTD indexa teses e dissertações publicadas entre 1997 e 2016, portanto esta busca não incluiu teses e dissertações anteriores a 1997.

de Shannon, citado em pesquisas em CI, é da área de engenharia, mas não pode ser compreendido sem o conceito de entropia que é da Física.

O conceito de informação é contexto dependente, havendo distinções, inclusive entre subáreas da CI. No contexto da Ciência da Informação, este conceito foi explorado ao longo do texto da tese e o conceito de informação em Física desenvolvido em um capítulo específico. A Informação, objeto de estudo da CI, está presente em pesquisas Físicas em áreas como termodinâmica, teoria do caos, astronomia e física quântica (BAIS; FARMER, 2007). A relação entre os fenômenos físicos e o conceito físico de informação podem se dar em nível estrutural. Com efeito, o paradoxo denominado “demônio de Maxwell” questionou a validade da 2ª lei da termodinâmica por mais de um século e somente foi solucionado pela ciência da computação ao constatar que informação é um fenômeno físico. Tom Stonier foi além, ao propor que a informação é a propriedade básica do universo, de onde deriva a matéria e energia (STONIER, 1996). John Archibald Wheeler analisa a mecânica quântica e chega à conclusão que todas as “coisas” são provenientes da “informação”, cunhando a famosa frase “*it from bit*” (WHEELER, 1990). Já Carl Friedrich von Weizsäcker propõe que a unificação da Física seria possível com uma reconstrução da mecânica quântica em que a informação seria o elemento essencial (WEIZSÄCKER; GÖRNITZ; LYRE, 2006).

Análises em Física sobre a informação podem ser aplicadas em pesquisas na área da Ciência da Informação. Por exemplo, o advento da computação quântica envolveu Física na construção do conceito de informação quântica, o qual foi elemento chave na tese de doutorado de Álvaro Sobrinho, que aplica o conceito de *quantum bit* (*qubit*) à epistemologia da CI (PIMENTEL SOBRINHO, 2013) e na de Marcelo Stopanovski Ribeiro, que relaciona a informação no contexto da mecânica quântica e da CI (RIBEIRO, 2014). Como base teórica para esta afirmação, o conceito de informação em CI foi relacionado ao de outras áreas do conhecimento por Capurro e Hjørland (2007). Em particular, a Informação em Ciências Naturais é importante tanto em aplicações práticas, como a recuperação da informação, quanto para discussões teóricas como é o caso da unificação das teorias da informação⁹.

⁹ Capurro participou de uma discussão sobre uma teoria de unificação do conceito de informação desenvolvida no artigo “Is a Unified Theory of Information Feasible? - A Dialogue” Disponível em: <http://www.capurro.de/trialog.htm>. Acesso em: 21/out./2016.

Em visita ao IBICT, em novembro de 2014, Rafael Capurro nos apresentou a lista de discussão online *Foundations of Information Science* (FIS)¹⁰, da qual fazem (ou fizeram) parte diversos autores citados por Capurro, muitos deles cientistas das áreas de Física, Biologia, Matemática, entre outras. A lista FIS e as bases de dados *Web of Science* (WoS) e *Scopus* são as principais fontes empíricas de dados desta tese.

As comunicações informais da lista FIS fazem parte do fluxo da informação científica, como definido por Meadows (1999, p.145) e estudado pela disciplina Comunicação Científica (CC). Da mesma forma, a prática interdisciplinar é investigada em CI por meio da bibliometria, de modo que a CC é um dos pilares teóricos desta tese.

O objetivo geral desta tese é revelar, quantificar e qualificar a interdisciplinaridade entre Física e Ciência da Informação, no intuito de caracterizar esta influência. Para este fim serão analisadas especificamente a literatura científica na área da CI, indexada pelas bases WoS e *Scopus* além da lista de discussão FIS.

Diversos métodos de medição de interdisciplinaridade serão apresentados, no entanto, achamos oportuna a introdução de um novo método, que chamamos de Transposição Científica (TC), no intuito de medir melhor a interdisciplinaridade indireta entre Física e CI. Isso se dá porque a maioria dos métodos bibliométricos para medição de interdisciplinaridade trabalha com análise de citação em *outputs* da comunicação científica formal e nossa pesquisa pretende investigar as comunicações informais de uma lista de discussão e interdisciplinaridades não detectadas por meio de outros métodos. A TC é identificada quando terminologias e/ou métodos consagrados em uma área são utilizados em outra. A TC é classificada em quatro níveis: analogia, multidisciplinar, interdisciplinar e transdisciplinar. O processo começa com a identificação dos termos chave de uma determinada área do conhecimento, depois localizados em outra área. Em seguida é feita análise qualitativa dos registros para determinação dos níveis de TC. Depois disso, a TC é quantificada por meio da contagem de ocorrências.

Além da medição da interdisciplinaridade, a metodologia da presente tese traça um perfil dos pesquisadores da lista de discussão FIS, por meio da aplicação de um questionário e de entrevistas anônimas.

¹⁰ Maiores informações sobre a lista FIS ao longo da tese e também por meio de seu site <http://fis.sciforum.net/>. Acesso em: 21/out./2016

Os resultados mostram que existe interdisciplinaridade entre Física e CI e que o método da transposição científica se mostrou eficiente para identifica-la.

Este documento está organizado da seguinte forma: 1. Introdução, onde são apresentados os elementos principais da tese, como questão de pesquisa e objetivo; 2. **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, com foco no fluxo da informação científica; 3. Interdisciplinaridade, conceituando-a e apresentando o conceito de *Interdisciplinary Research* (IDR); 4. Medição e avaliação da pesquisa interdisciplinar, que mostra estratégias e métodos utilizados pela CI para identificar e medir IDR; 5. Transposição Científica, onde esta é definida e classificada em níveis; 6. Informação em Física, no qual o objeto de estudo da CI é apresentado no contexto da Física; 7. Metodologia, que optamos por apresentar separadamente dos procedimentos; 8. Procedimentos Metodológicos e Resultados, no qual os resultados são apresentados e discutidos e 9. Considerações finais.

2 ELEMENTOS DE COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA RELEVANTES PARA ESTA PESQUISA

A Comunicação Científica (CC) é a troca de informações entre cientistas, especialmente os que estão na frente de pesquisa (GARVEY, 1979, p.ix). Para Meadows (1999), a CC é parte integrante da pesquisa científica, desde os gregos antigos. As duas formas mais importantes de CC são a fala e a escrita e o principal meio hoje é o eletrônico. Meadows classifica a Comunicação Científica em duas grandes categorias: formal e informal. A primeira é documentada na forma, por exemplo, de artigos revisados por pares publicados em periódicos científicos. Já as comunicações científicas informais, podem ocorrer, por exemplo, por meio de cartas, e-mails, aulas e palestras. Os autores destas comunicações normalmente são membros de sociedades científicas que reúnem pesquisadores de uma mesma área, portanto, o processo de produção científica, permeado de comunicações informais e que culmina nas comunicações formais, é uma atividade não só técnica, mas social.

Derek J. de Solla Price inicia o livro *O Desenvolvimento da Ciência*, afirmando:

[...] empregando qualquer definição razoável da palavra cientista, podemos dizer que estão vivos, atualmente, 80 a 90 por cento de todos os cientistas que já existiram. Alternativamente, qualquer cientista jovem que esteja atualmente se iniciando, ao olhar para trás, ao final de sua carreira, após um período de tempo de duração normal, constatará que 80 a 90 por cento do progresso científico se processou diante de seus olhos, e que apenas 10 a 20 por cento desse progresso o antecedeu.

(PRICE, 1976, p.1)

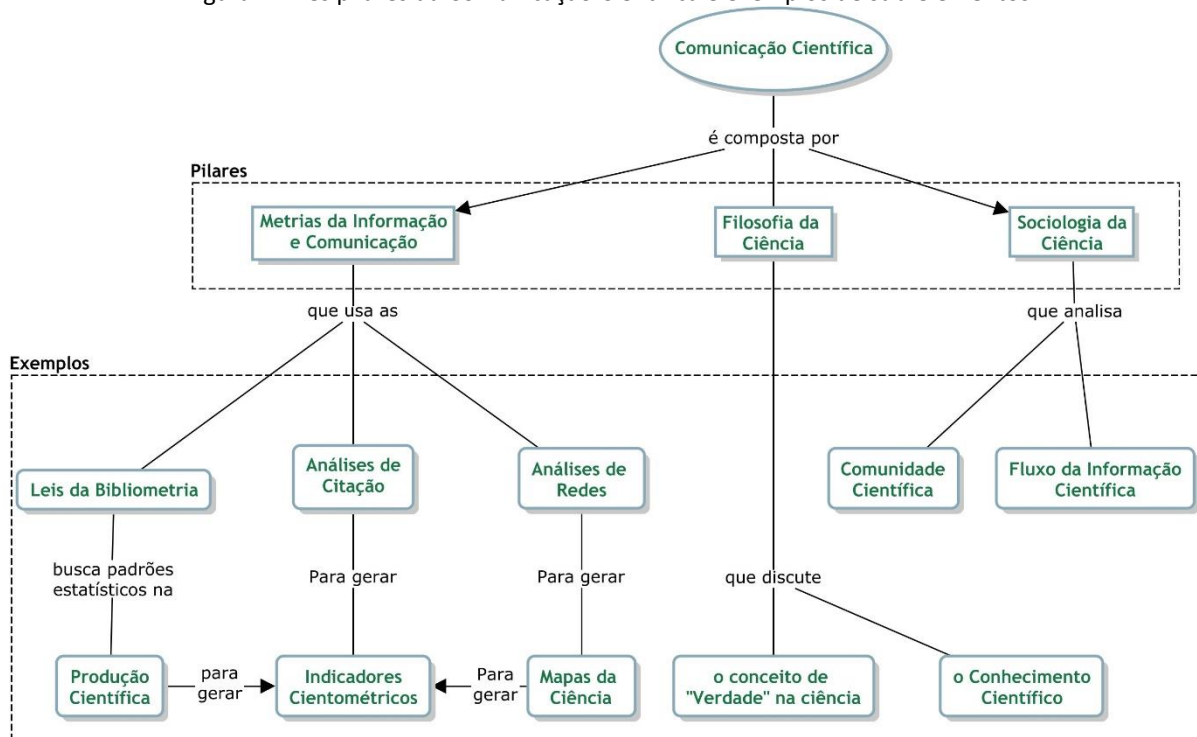
Esta é a “Grande Ciência”. Price explica a transformação da ciência, de um passado de poucos cientistas, em geral estigmatizados com estereótipos, para um presente construído ao longo do século XX, quando conexões disciplinares e interdisciplinares entre pesquisas e pesquisadores formam a rede de conhecimento científico cujo crescimento é exponencial. A Comunicação Científica tem como objetivo observar, analisar e tentar compreender a organização da ciência¹¹. A Comunicação Científica é citada em cerca de um terço das pesquisas de mestrado e doutorado dos programas de pós-graduação em Ciência da Informação no Brasil¹².

¹¹ Por ser subárea ou disciplina da Ciência da Informação (PINHEIRO, 2006), é cadeira obrigatória no Programa de Pós-Graduação do IBICT/UFRJ desde 1982, quando foi ministrada inicialmente por Hagar Espanha Gomes e, posteriormente, a partir de 1992, por Lena Vania Ribeiro Pinheiro. Foi estabelecida na década de 1970 quando Tefko Saracevic ministrou o primeiro curso de bibliometria no Brasil e Derek J. de Solla Price visitou o IBICT como pesquisador convidado.

¹² Foram feitas duas consultas à Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD): (Todos os campos: "ciência da Informação") = 366 registros e (Todos os campos: "ciência da Informação" E Todos os campos: "Comunicação Científica") = 101 registros. O que confere um percentual de $101/366 = 28\%$ de teses e dissertações em CI que citam a Comunicação Científica.

De acordo com Mueller e Passos (2000, p.13), a Comunicação Científica se apoia em três pilares, as Metrias da Informação e Comunicação (MIC), a Filosofia da Ciência e a Sociologia da Ciência, conforme mostrado na Figura 2, onde foram acrescentados alguns exemplos de sub-elementos.

Figura 2: Três pilares da Comunicação Científica e exemplos de sub-elementos



As Metrias são eficientes para medir os *outputs* da ciência, ou seja, os resultados. No entanto, o processo da comunicação científica envolve epistemologia da ciência e relações sociais entre cientistas. Estes assuntos são analisados, respectivamente, pela filosofia e sociologia da ciência, os dois outros pilares da Comunicação Científica (Figura 2), que não serão aprofundados aqui.

Garvey define Comunicação Científica com sendo

[...] aquelas atividades de troca de informações que ocorrem principalmente entre cientistas ativamente envolvidos na frente de pesquisa. Abrange a comunicação científica a partir da discussão mais informal entre dois cientistas para os aspectos formais da comunicação científica, tais como revistas, livros, etc.
(GARVEY, 1979, p.ix)

O fenômeno da comunicação científica pode ocorrer nos domínios formal e informal. As publicações em revistas científicas, anais de congressos e patentes¹³ são exemplos de comunicações formais e as não formais podem ir desde as conversas em *coffe breaks* de

¹³ A patente é também chamada por alguns autores de Comunicação Tecnológica.

congressos até transcrições de palestras ou notas de aula. A principal diferença entre o domínio formal e o informal é que, no primeiro, há avaliação por pares. As comunicações científicas eletrônicas, que utilizam e-mails e listas de discussão, são também não formais e seus impactos em pesquisas brasileiras foram analisados por Pinheiro e Rebel (2003).

As MIC são estudos quantitativos dos quais fazem parte a Bibliometria, Cientometria, Informetria, Webmetria e Altmatria, sendo a primeira a base fundamental das demais (CRONIN; SUGIMOTO, 2014, p. viii). A Bibliometria é definida como “a aplicação de métodos a um *corpus* de informações estruturadas com a finalidade de extrair relações significativas entre seus diversos elementos. Por informações estruturadas entendemos as informações textuais estruturadas, como os registros bibliográficos ou de patentes.” (ROBREDO; BRÄSCHER, 2010, p.186). A Bibliometria utiliza métodos fundamentados em três leis empíricas: Lei de Lotka da produtividade de autores, Lei de Bradford que rege a dispersão da produtividade de periódicos e Lei de Zipf que organiza estatisticamente as frequências das palavras em textos. Nas três leis é observado o Efeito Matheus na Ciência: muitos com pouco e poucos com muito (MERTON, 1968). As leis da Bibliometria permitem o reconhecimento de padrões estatísticos em publicações científicas a fim de compreender e fazer previsões em ciência. Apesar de serem leis empíricas, é possível equacioná-las e hoje sabe-se que estas têm a mesma base matemática (ANDRÉS, 2009, p.38).

As citações são escolhas espontâneas¹⁴ de pesquisadores por documentos que servem de referências às suas pesquisas, ou seja, ao escolher uma fonte, os autores estão fazendo uma avaliação. Com base nisto a análise de citação aproveita este “trabalho” para organizar, revelar e medir a qualidade de documentos, autores e periódicos citados. As bases de dados como Scopus e *Web of Science* têm a vantagem de poder computar grande número de citações imprimindo, em tese, maior fidedignidade a seus indicadores. O potencial cientométrico das citações foi primeiro vislumbrado por Garfield (1955), ratificado por Price (1965) e posto em prática por Garfield a partir de 1964 por meio dos Índices de Citações do *Institute for Scientific Information (ISI)*¹⁵. As análises de citação identificam e quantificam estas ligações e permitem gerar indicadores da ciência como por exemplo o Fator de Impacto de

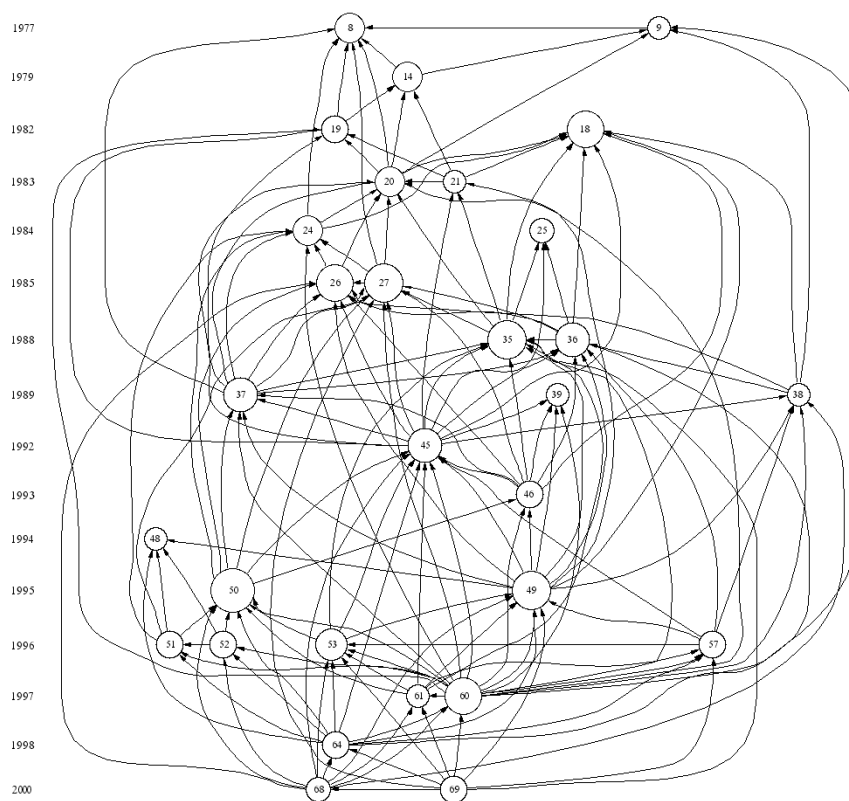
¹⁴ As bases de dados que indexam periódicos devem avaliar possíveis desvios nesta “espontaneidade”.

¹⁵ A história da criação do ISI pode ser vista no vídeo institucional da época disponibilizado no canal do Youtube de Garfield. Disponível em: <https://www.youtube.com/user/eugenegarfield> Acesso em: 18/dez./2016. A ISI foi adquirida pela *Thomson Scientific & Healthcare (Thomson Reuters)* em 1992 e seus principais produtos utilizados em análises de citação são *Web of Science (WoS)* e *Journal Citation Reports (JCR)*.

um periódico e o Índice H de um autor, ambos Indicadores Cientométricos que têm o mesmo princípio: quanto mais citado, mais importante.

Os elementos da Comunicação Científica (i.e. documentos, autores e periódicos) não são isolados, mas sim nós de uma rede e conectados por meio de citações. Os mapas de citação (diagramas de redes de citação) são instrumentos de análise, e quando associados à cronologia das publicações, formam os historiográficos, como exemplificado na Figura 3, idealizados por Garfield e podendo ser gerados por exemplo pelo software HistCite¹⁶ a partir de dados do *Web of Science*.

Figura 3: Exemplo de historiográfico a partir dos artigos de autoria de Papers by J Kormendy de 1977 a 2000



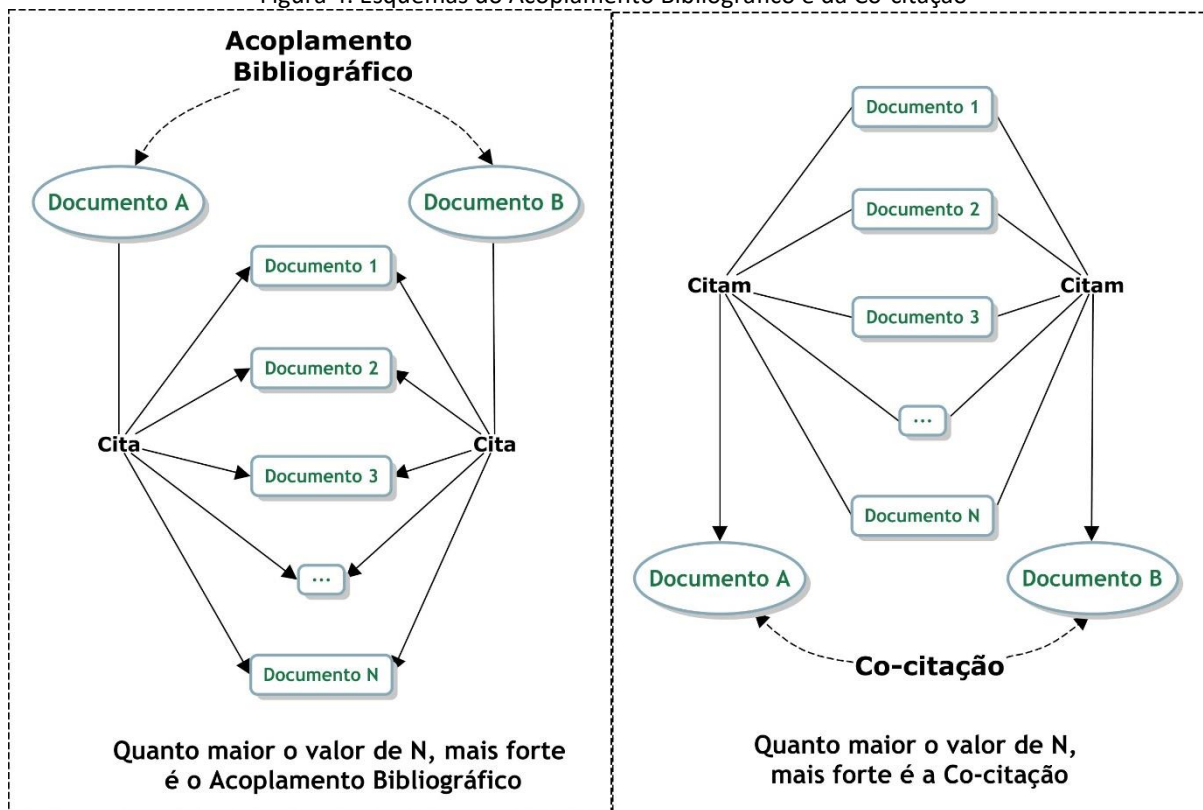
Fonte: Disponível em: http://garfield.library.upenn.edu/histcomp/kormendy-j_auth/graph/1.html Acesso em: 19/dez./2016.

A Ciência da Informação, por meio de Kessler (1963) e Small (1973), desenvolveu os conceitos de Acoplamento Bibliográfico e Co-citação, respectivamente, ambas medidas de similaridade semântica entre dois documentos. O Acoplamento Bibliográfico é quando os dois

¹⁶ O software HistCite faz, além dos histográficos, análises de citação e pode ser baixado gratuitamente no site da Thomson Reuters em <http://interest.science.thomsonreuters.com/forms/HistCite/>. Diversos exemplos de análises prontas podem ser visualizados em <http://garfield.library.upenn.edu/histcomp/> Acessados em: 19/dez./2016. Atualmente o software CitNetExplorer realiza tarefa semelhante de forma mais fácil e rápida (<http://www.citnetexplorer.nl/>) Acesso em: 20/dez./2016.

documentos citam ao mesmo tempo um terceiro e a Co-citação ocorre quando os dois documentos são citados ao mesmo tempo por outros documentos (Figura 4).

Figura 4: Esquemas do Acoplamento Bibliográfico e da Co-citação

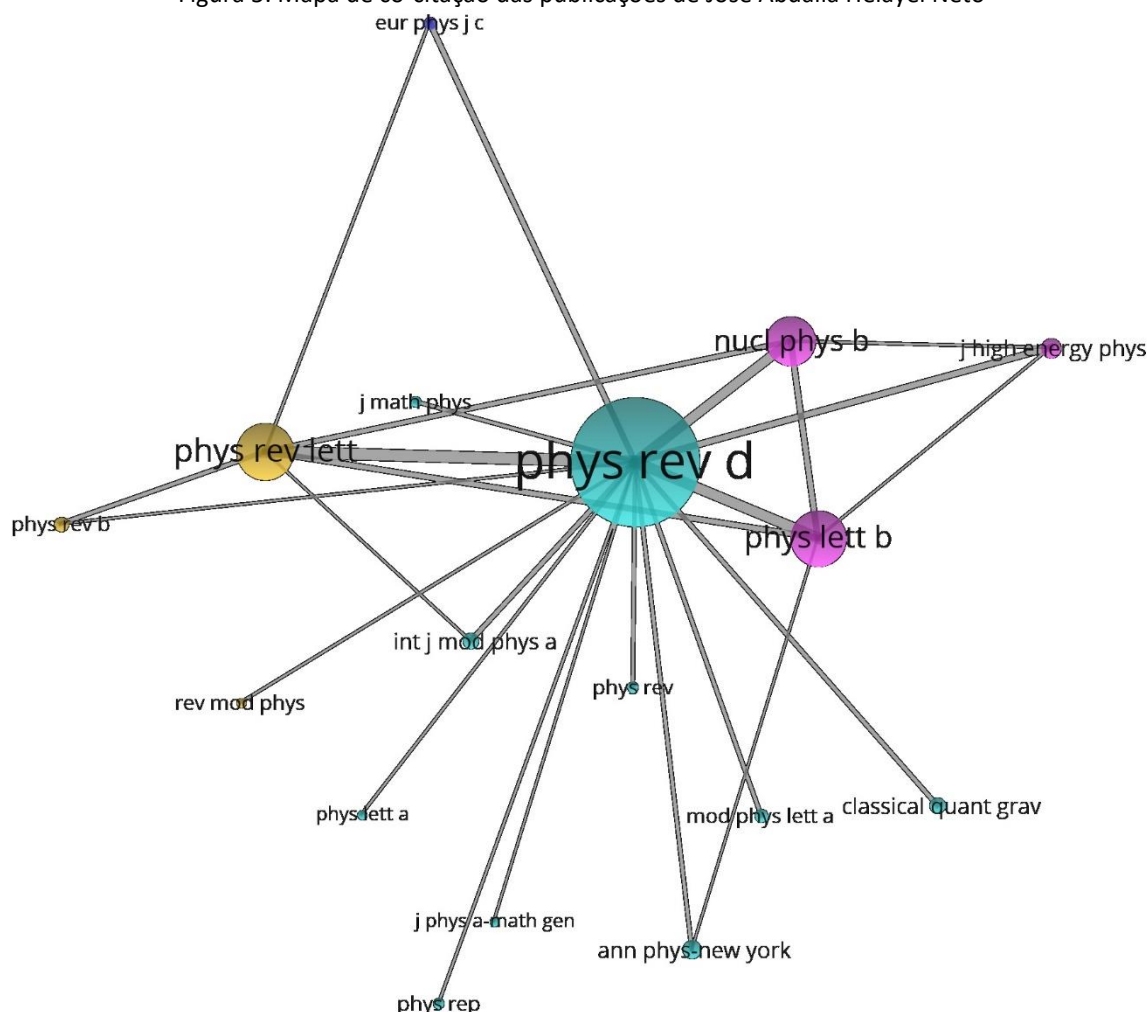


Se dois documentos citam ou são citados ao mesmo tempo, provavelmente tratam do mesmo assunto e esta probabilidade aumenta com o número de co-ocorrências. Novamente a “escolha” dos autores é aproveitada. Análises de co-citação e acoplamento bibliográfico podem também ser realizadas entre autores, periódicos, instituições e países.

As redes de co-citação e acoplamento bibliográfico podem ser representadas em mapas. A Figura 5 mostra um mapa, gerado pelo software *VoS Viewer*¹⁷, das dez principais co-citações a periódicos feitas por publicações do pesquisador José Abdalla Helayël-Neto indexadas pelo *Web of Science*.

¹⁷ O *VoS Viewer* e *CitNetExplorer* foram criados e desenvolvidos pelos pesquisadores Nees Jan van Eck e Ludo Waltman do *Centre for Science and Technology Studies (CWTS)* da *Leiden University* na Holanda. Em 18/mar./2016 Ed Noyons, do mesmo grupo de pesquisa, proferiu a aula inaugural “Science, Communication and Scientometrics” do PPGCI do IBICT. O *VoS Viewer* é gratuito. Disponível em: <http://www.vosviewer.com/>. Acesso em: 20/dez./2016.

Figura 5: Mapa de co-citação das publicações de José Abdalla Helayel Neto



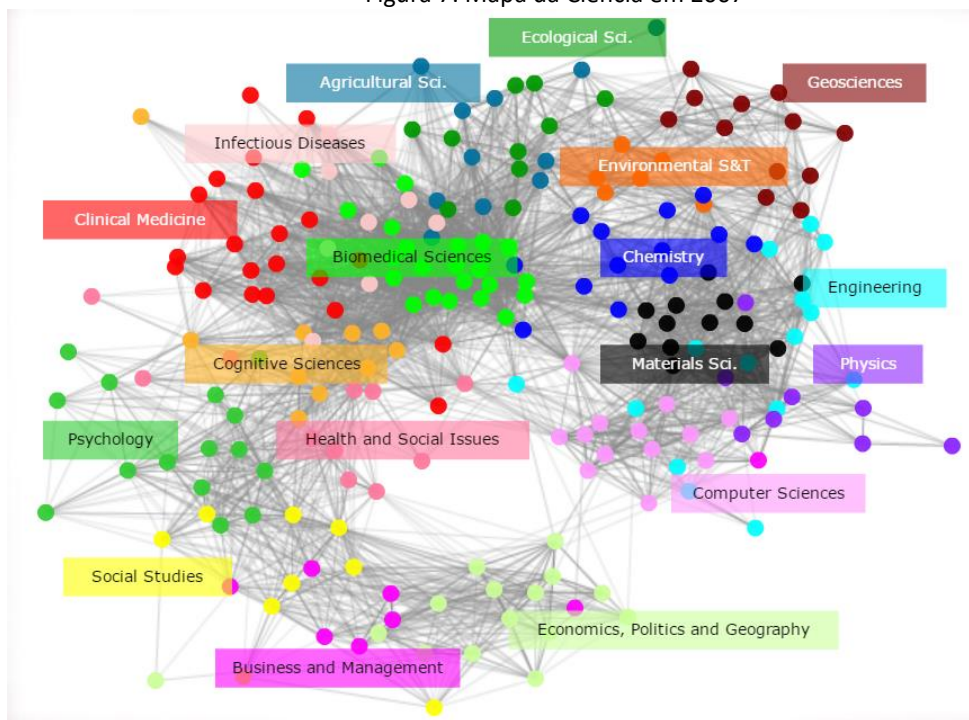
Cada conexão indica a relação semântica entre periódicos cuja intensidade é proporcional a espessura da linha conectora. O tamanho de um nó indica o número de citações ao periódico. Periódicos com a mesma cor são agrupamentos (clusters), idealizados inicialmente por Henry Small e seus colaboradores (GRIFFITH et al., 1974; SMALL, 1973; SMALL; GRIFFITH, 1974) no intuito de identificar disciplinas e especialidades.

O acesso eletrônico a grandes quantidades de dados de publicações científicas, as análises de co-citação e técnicas de agrupamento, aliadas aos estudos de Redes Sociais e Teoria dos Gráficos, possibilitaram representar a Ciência por meio dos Mapas da Ciência, que posicionam, agrupam e interligam as disciplinas, fatores ou domínios. O livro *Visualizing the Structure of Science* (VARGAS-QUESADA; MOYA-ANEGÓN, 2007) relata um destes esforços que resultou no produto online *Shape of Science*¹⁸ no qual são visualizados de forma interativa os periódicos indexados pela base Scopus sobre o mapa da ciência.

¹⁸ Disponível em: <http://www.scimagojr.com/shapeofscience/> . Acesso em: 21/dez./2016.

interdisciplinaridade entre um conjunto de publicações (LEYDESDORFF; CARLEY; RAFOLS, 2013).

Figura 7: Mapa da Ciência em 2007

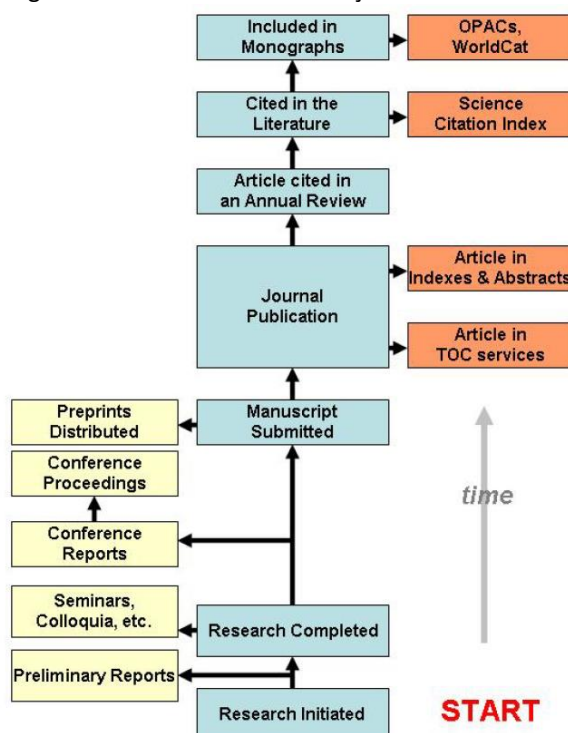


Fonte: Disponível em: <http://idr.gatech.edu/> . Acesso em: 22/dez./2016

Este mapa interliga as principais categorias do WoS, por meio de técnicas estatísticas, com os dados de citação entre estas. As distâncias no mapa indicam a proximidade científica entre áreas. Por exemplo, Física, Engenharia e Química são áreas próximas entre si (citação direta) e distantes da Psicologia (há intermediários entre as citações).

A Figura 8 mostra o *overlay map* da *Information Science* sobre o mapa global da ciência.

Figura 9: Processo da Comunicação Científica de Garvey



Fonte: Swisher (2005 apud BJÖRK, 2007)

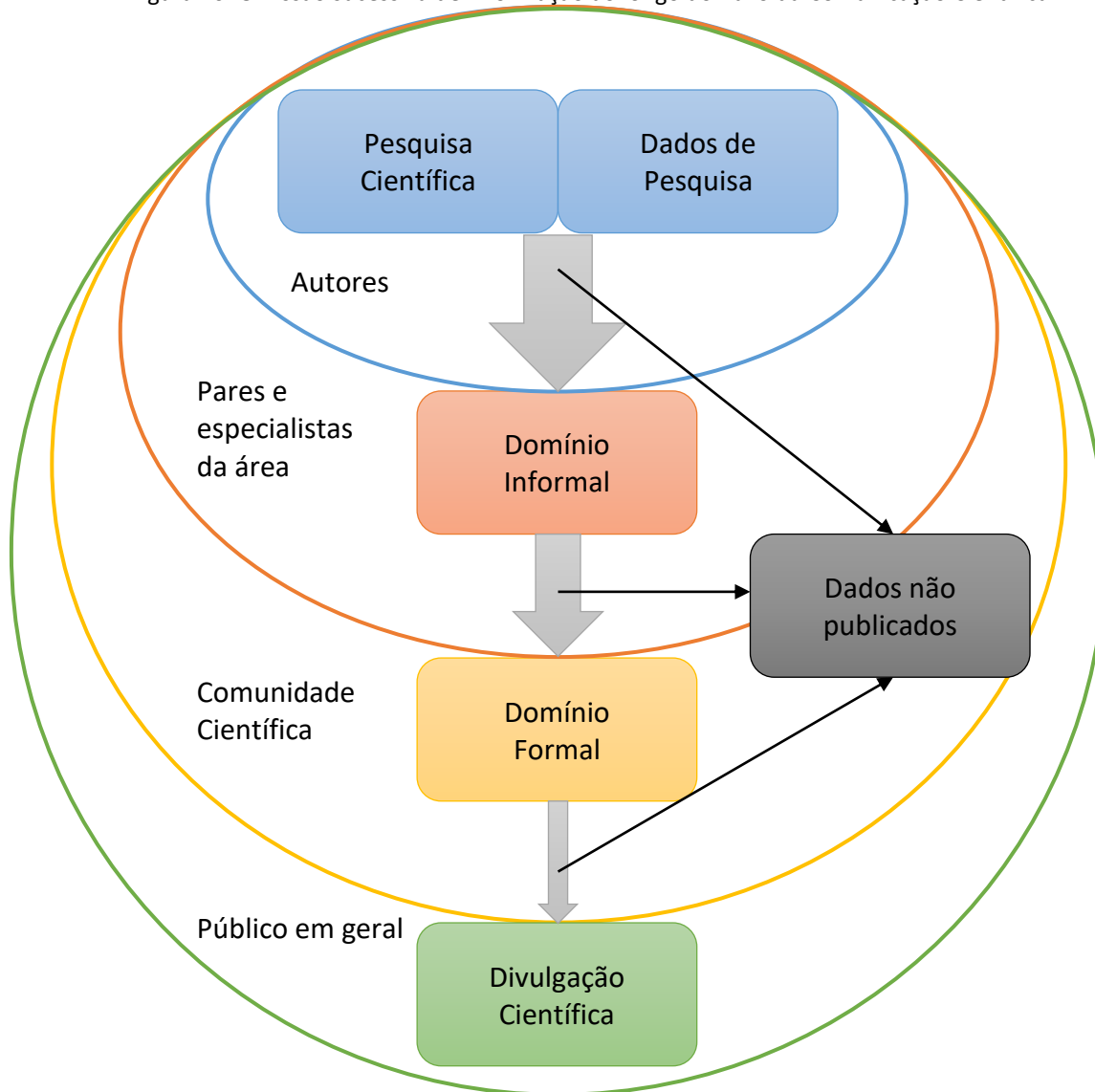
A pesquisa científica começa a ser comunicada no domínio informal (à esquerda em amarelo) para depois seguir para o domínio formal representado ao centro na cor azul. À direita, em laranja, estão representadas as indexações para recuperação dos dados publicados apenas em comunicações formais. Björk (2007) detalhou e organizou o esquema da Figura 9 de forma hierárquica e apresentou seus elementos por meio dos modelos IDEF0²⁰, que consistem em esquemas de fluxos de informação autoexplicativos que vão do mais geral ao mais específico. O Anexo A mostra alguns esquemas que utilizam IDEF0 para modelar a Comunicação Científica propostos por Björk (2007).

De acordo com Garvey (1979, p.40), “cerca de 90% do material publicado em artigos de revistas foram disseminados antes” por meio do domínio informal. Informações podem ser omitidas no caminho entre os domínios informal e formal, como mostra a Figura 10, já que as comunicações científicas formais exigem maior rigor e síntese. Os Dados de Pesquisa, definidos como “registros factuais (escores numéricos, registros textuais, imagens e sons) usados como fontes primárias para pesquisa científica e que são aceitos na comunidade

²⁰ IDEF0 (Icam DEfinition for Function Modeling, onde 'ICAM' é Integrated Computer Aided Manufacturing) é o componente “zero” de um modelo para descrever e analisar sistemas de informação, processos de negócio e engenharia de software.

científica como necessários para validar resultados da pesquisa” (OECD, 2007, p.13), quando não documentados, também se perdem no caminho até a publicação formal (SAYÃO; SALES, 2013).

Figura 10: Omissão sucessiva de informação ao longo do fluxo da Comunicação Científica



A Pesquisa Científica e os Dados de Pesquisa estão inicialmente sob conhecimento apenas dos pesquisadores. Então, uma parte da pesquisa e dados é entregue ao Domínio Informal onde alunos, pares mais próximos e especialistas da área poderão ter acesso e interagir com observações e comentários que podem influenciar a pesquisa. Isto pode ocorrer por exemplo em reuniões informais, listas de discussão online ou em repositórios institucionais ou

temáticos como o arXiv²¹. Na próxima etapa os autores publicam a pesquisa em veículos no Domínio Formal, nos periódicos científicos, por exemplo. O que chega à Comunidade Científica é apenas uma parcela da pesquisa, já que é necessário preparar um relatório com limite de tamanho. Eventualmente, a pesquisa pode ter Divulgação Científica, atingindo o público em geral.

Este capítulo, bem como os subsequentes, fornecem elementos importantes para a Metodologia.

Grande parte dos Dados não Publicados são os Dados de Pesquisa, entretanto já existem repositórios para estes e é uma questão de tempo para que se torne hábito a sua publicação. Mas as informações que circulam nas comunicações informais não ficam ocultas por mera limitação tecnológica. Para conhece-las, muitas vezes é necessário entrar no grupo social em jogo e se fazer presente participando das discussões. Portanto, o pesquisador que se aventura no desbravamento do domínio informal, deve participar dele, o que foi feito na atual pesquisa, por meio da lista de discussão FIS. Os membros desta lista são cientistas de diversas áreas e as discussões, na maioria das vezes, envolvem diversas disciplinas. Os fundamentos teóricos de interdisciplinaridade relevantes para esta tese são discutidos no próximo capítulo.

²¹ O arXiv é um repositório de e-prints nas áreas de Física, matemática, informática, biologia quantitativa, finanças quantitativas e estatística, fundado em 1991, mantido e operado pela Cornell University Library., hospedado em www.arxiv.org. Acesso em: 23/dez./2016.

3 INTERDISCIPLINARIDADE

Interdisciplinaridade é um conceito multidimensional e ambíguo, sendo um assunto de extensa bibliografia²². Portanto, é importante delimitar a parte da Interdisciplinaridade que estaremos tratando nesta tese, de forma a sustentar seus objetivos metodológicos.

A definição única de interdisciplinaridade não é possível, pois há vários autores que a conceituam, muitas vezes de forma divergente (KLEIN, 1990, p.19-39). Esse fato é registrado por Olga Pombo.

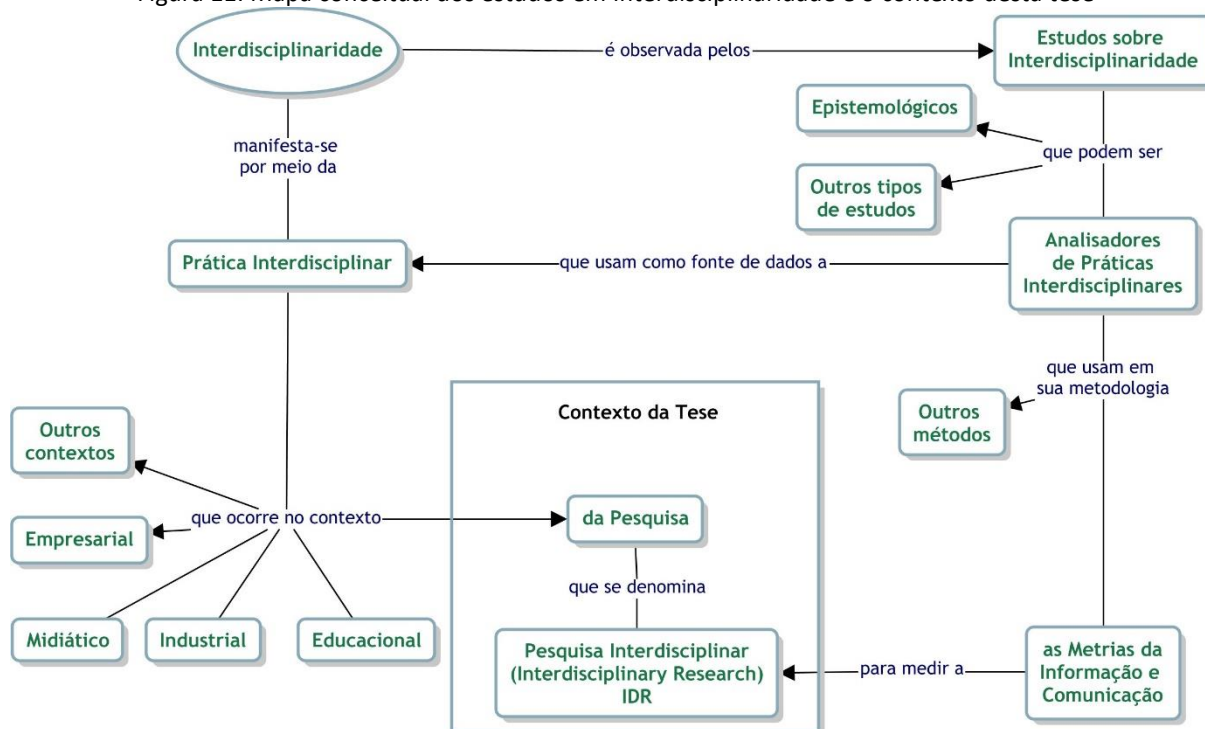
Falar sobre interdisciplinaridade é hoje uma tarefa ingrata e difícil. Em boa verdade, quase impossível. Há uma dificuldade inicial - que faz todo o sentido ser colocada - e que tem a ver com o facto de ninguém saber o que é a interdisciplinaridade. Nem as pessoas que a praticam, nem as que a teorizam, nem aquelas que a procuram definir. A verdade é que não há nenhuma estabilidade relativamente a este conceito. Num trabalho exaustivo de pesquisa sobre a literatura existente, inclusivamente dos especialistas de interdisciplinaridade que também já os há encontram-se as mais díspares definições. Além disso, como sabem, a palavra tem sido usada, abusada e banalizada. Poderíamos mesmo dizer: a palavra está gasta. (POMBO, 2004a, p. 93-124)

Talvez a impossibilidade em encontrar uma unificação do conceito de Interdisciplinaridade esteja ligada à diversidade de contextos onde esta é aplicada, cujos principais são pesquisa, educação, empresas e mídia (POMBO, 2004b, p.11). A Figura 11 mostra que esta tese analisa as práticas interdisciplinares no contexto da pesquisa científica, por isso escolhemos como ponto de partida a definição de interdisciplinaridade do Dicionário Básico de Filosofia.

Correspondendo a uma nova etapa do desenvolvimento do conhecimento científico e de sua divisão epistemológica, e exigindo que as disciplinas científicas, em seu processo constante e desejável de inter-penetração, fecundem-se cada vez mais reciprocamente, a interdisciplinaridade é um método de pesquisa e de ensino suscetível de fazer com que duas ou mais disciplinas interajam entre si. Esta interação pode ir da simples comunicação das ideias até a integração mútua dos conceitos, da epistemologia, da terminologia, da metodologia, dos procedimentos, dos dados e da organização da pesquisa. Ela torna possível a complementaridade dos métodos, dos conceitos, das estruturas e dos axiomas sobre os quais se fundam as diversas práticas científicas. O objetivo utópico do método interdisciplinar, diante do desenvolvimento da especialização sem limite das ciências é a unidade do saber. Unidade problemática, sem dúvida, mas que parece constituir a meta ideal de todo saber que pretende corresponder às exigências fundamentais do progresso humano. (JAPIASSÚ; MARCONDES, 2006)

²² Por exemplo, KLEIN (1990) traz 100 páginas de referências organizadas em 7 seções: referências essenciais, *problem-focused research*, cuidados e serviços, educação, humanidades, ciências sociais e ciências naturais.

Figura 11: Mapa conceitual dos estudos em Interdisciplinaridade e o contexto desta tese



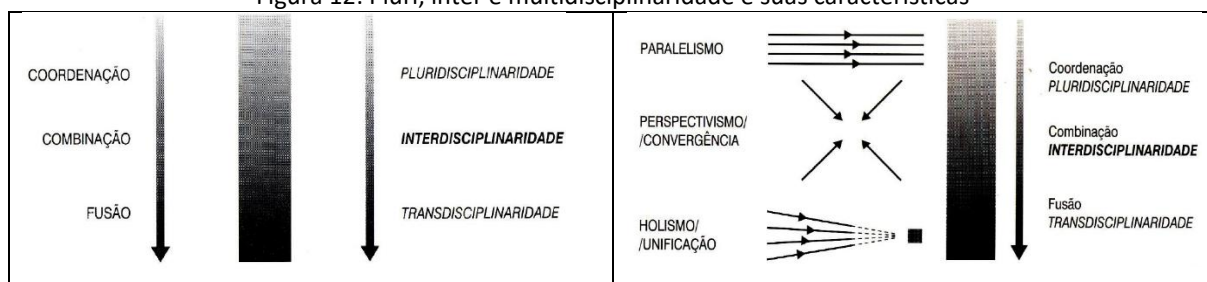
A interdisciplinaridade é estudada tanto por teóricos, como, por exemplo, Hilton Japiassu, Edgard Morrin e Olga Pombo, quanto por pesquisadores com foco na prática interdisciplinar, como Julie Klein e Caroline Wagner.

As práticas interdisciplinares em pesquisa situam a interdisciplinaridade na resolução de problemas complexos, que não faltam na atualidade. Com efeito, em setembro de 2015, a revista *Nature* lançou uma edição sobre Interdisciplinaridade²³ onde clama pelo trabalho conjunto dos cientistas para “salvar o mundo” atacando os problemas do clima, saúde, água, energia e comida, que são naturalmente interdisciplinares (NATURE, 2015).

Os muitos autores que procuram uma definição para Interdisciplinaridade concordam em dois pontos: 1) existem três tipos (tríade) de relacionamento entre as disciplinas: multi ou pluridisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade; 2) o conceito de interdisciplinaridade encontra-se em posição intermediária, entre os outros dois (POMBO, 2004b, p.33). A Figura 12 mostra as características e evolução dos conceitos da tríade de relacionamento entre disciplinas.

²³ Site da edição especial: www.nature.com/inter. Acesso em: 3/dez./2015

Figura 12: Pluri, inter e multidisciplinaridade e suas características



Fonte: Pombo (2004b)

A multidisciplinaridade representa um trabalho de cooperação entre disciplinas, como, por exemplo, um grupo de médicos, psicólogos e fisioterapeutas, cada um em sua especialidade, atuando juntos em um único paciente. A transdisciplinaridade ocorre quando as estruturas de cada disciplina são rompidas, por exemplo, quando duas disciplinas se fundem formando outra (ex. bioquímica). A Interdisciplinaridade fica entre as duas anteriores em um processo de “enriquecimento recíproco”, de intercâmbio de experiências, métodos, como no caso dos estudos em complexidade do *Santa Fe Institute*²⁴.

A raiz comum da tríade é a “disciplinaridade”, conceito que se deve entender antes de discutir interdisciplinaridade. De acordo com Japiassu,

[...] o que podemos entender por disciplina e por disciplinaridade é essa progressiva exploração científica especializada numa certa área ou domínio homogêneo de estudo. Uma disciplina deverá, antes de tudo, estabelecer e definir suas fronteiras constituintes. Fronteiras estas que irão determinar seus objetos materiais e formais, seus métodos e sistemas, seus conceitos e teorias. Ora, falar de interdisciplinaridade é falar de interação de disciplinas. E disciplina, tal como a entendemos, é usada como sinônimo de ciência, muito embora o termo “disciplina” seja mais empregado para designar o “ensino de uma ciência”, ao passo que o termo “ciência” designa mais uma atividade de pesquisa. (JAPIASSU, 1976, p.61)

O núcleo disciplinar é composto por seus problemas, cientistas, produção científica, ferramentas e métodos, linguagem, entre outras. Pode-se então notar indícios de interdisciplinaridade quando estas características aparecem em duas ou mais disciplinas. As disciplinas têm suas fronteiras que estão presentes no ensino, na pesquisa e na própria relação social entre cientistas e professores. O trabalho interdisciplinar é atravessar essas fronteiras, primeiramente a da própria disciplina, para então penetrar através da outra.

O método analítico/sintético consiste em dividir o todo em um conjunto finito de elementos que o constitui, para que seja possível analisá-los individualmente, para depois

²⁴ Disponível em: <http://www.santafe.edu/>. Acesso em: 4/dez./2015.

reconstituir o todo novamente. Este método, inclusive aplicado em política com o *slogan* “dividir para conquistar”, é aplicado por Descartes, Galileu e no próprio método científico que deu origem à ciência moderna. Este é um modelo que rendeu e rende indubitavelmente muitos frutos, mas se mostra hoje insuficiente diante da amplitude e complexidade dos problemas da ciência.

A adoção do método científico proporcionou a divisão do ensino e pesquisa em disciplinas cada vez mais especializadas. Assim como a ciência, a especialização cresce exponencialmente. Isso gera “um saber fragmentado, em migalhas, pulverizado numa multiplicidade crescente de especialidades, em que cada uma se fecha como que para fugir ao verdadeiro conhecimento” (JAPIASSU, 1976, p.43). O estereótipo do especialista é o do sujeito que sabe muito sobre quase nada e nada sabe sobre quase tudo. Alguns malefícios da superespecialização são institucionais, pois a ciência não atinge mais seu objetivo de democratização do saber no momento em que as universidades e pesquisas ficam fragmentadas, gerando comunidades competitivas e até rivais, podendo ocorrer a “patentificação” de programas de investigação e “laboratórios governados por generais” (POMBO, 2004a).

A interdisciplinaridade surge como uma espécie de “antídoto” para especialização e o clamor por esta cresceu na década de 1970, principalmente na área da educação, com muito apoio dos estudantes. De lá para cá, o trabalho interdisciplinar organizou-se “em quatro frentes: a nível discursivo, a nível de reordenamento disciplinar, de novas práticas de investigação e a nível do esforço de teorização dessas novas práticas” (POMBO, 2004a).

O discurso interdisciplinar é uma espécie de tentativa de convencimento de que a interdisciplinaridade é necessária e natural. Por exemplo, a história mostra que os grandes cientistas, como Einstein, Bohr e Feynman, tiveram formação multidisciplinar (formal ou informal), por isso, mesmo que a pesquisa ou o mundo do trabalho exijam especialização, a escola deverá ser transversal e interdisciplinar se quiser gerar mais gênios. Outro exemplo de discurso é que a realidade é complexa e a própria especialização em assuntos complexos gera a necessidade da interdisciplinaridade.

A presente tese estuda as Práticas Interdisciplinares de físicos e outros cientistas naturais em comunicações científicas formais e não formais em torno do objeto de estudo Informação.

A ciência da informação é uma “área do conhecimento autônoma, com seu próprio estatuto científico e cuja natureza interdisciplinar é evidenciada com distintos campos” (PINHEIRO; LOUREIRO, 1995). A interdisciplinaridade é característica de ciências pós-modernas (WERSIG, 1993) mas, no caso da CI, esta característica se potencializa porque seu objeto de estudo é a Informação, qualificado como “obscuro” por Pinheiro (2004) por sua “complexidade e riqueza semântica”. A interdisciplinaridade deste objeto foi estudada por especialistas no livro editado por Machlup e Mansfield (1983) demonstrando estar presente em outros campos de estudo, o que dá permeabilidade às fronteiras da CI. Saracevic (1996) examina, de forma histórica e pragmática, as relações interdisciplinares entre a CI e quatro outros campos do conhecimento: biblioteconomia, ciência da computação, ciência cognitiva (incluindo inteligência artificial) e comunicação. Entretanto a interdisciplinaridade sofre mutações ao longo do tempo, e Pinheiro (2006) visualiza um número maior de áreas interdisciplinares à CI: Administração, Arquivologia, Biblioteconomia, Ciência da Computação, Ciência Política, Direito, Economia, Educação, Epistemologia, Estatística, Ética, Filosofia, Filosofia da Ciência, informação, linguagem, Linguística, Matemática, Museologia e Psicologia.

A Interdisciplinaridade é praticada e analisada por Cientistas da Informação. Desde seu surgimento na década de 1960 (PINHEIRO, 2002), comunicações científicas da área discutem a relação de CI com outras disciplinas (PINHEIRO, 2006, p.5). O Quadro 1 lista alguns destes artigos e as respectivas disciplinas citadas.

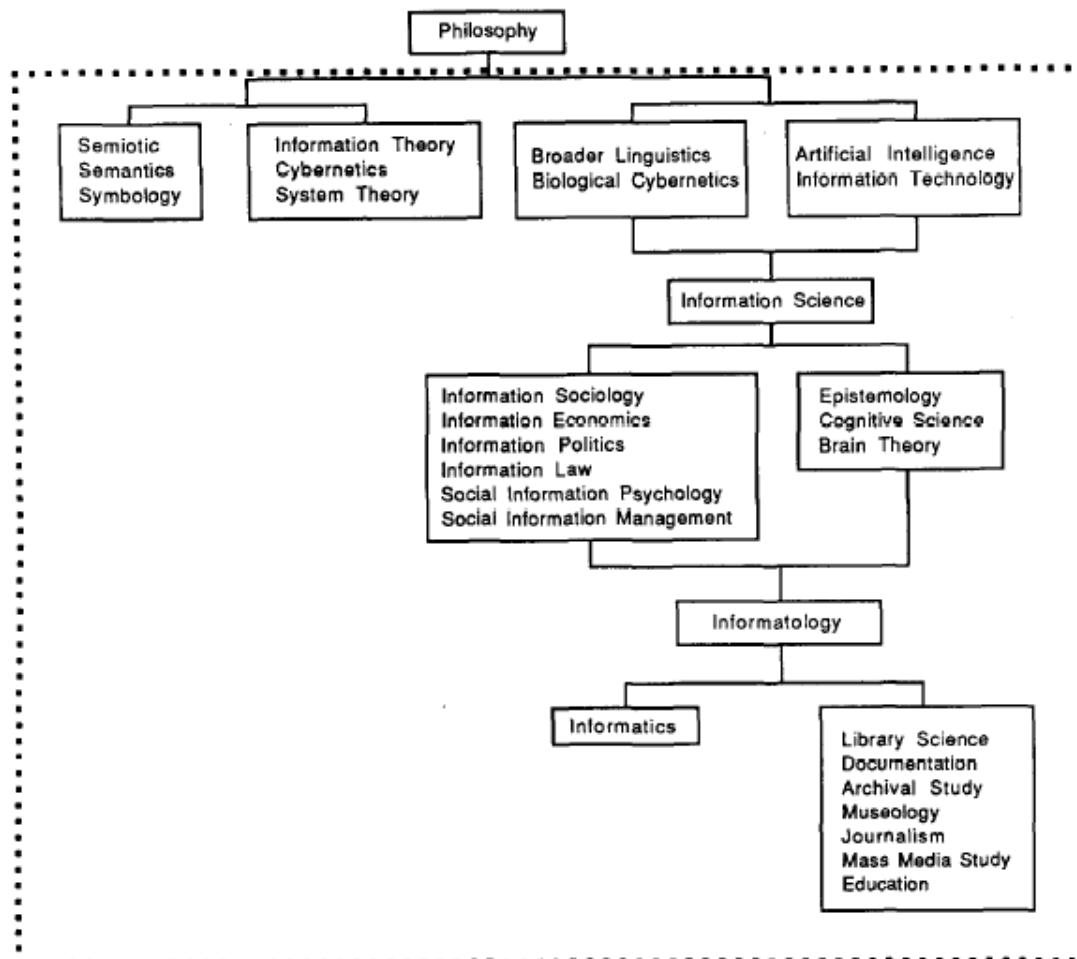
Quadro 1: Disciplinas com interfaces com a CI, de acordo com artigos científicos e livros da área

BORKO (1968)	Matemática, lógica, linguística, psicologia, tecnologia da computação, pesquisas de operação, artes gráficas, comunicação, biblioteconomia, administração e outros campos similares.
WERSIG e NEVELING (1975)	Primeiramente: Ciência dos computadores, Biblioteconomia, Filosofia e taxonomia, Linguística, Teoria da informação, Cibernética, Matemática. Tardiamente: Ciências Sociais, Ciência Da Ciência, Comunicação.
SARACEVIC (1996)	Biblioteconomia, Ciência da Computação, Ciência Cognitiva, Comunicação.
MIKHAILOV; CHERNYI; GILYAREVSKY, (1969)	Semiótica, Psicologia e Biblioteconomia
MACHLUP; MANSFIELD, (1983)	Ciência Cognitiva, Computação, Inteligência Artificial, Linguística, Biblioteconomia, Cibernética, Teoria da Informação, Teoria de Sistemas.

Fonte: Pinheiro (2006, p.5).

Zhang (1988, p. 488) hierarquiza as diversas disciplinas que se relacionam com a Ciência da Informação (Figura 13).

Figura 13: Disposição hierárquica das disciplinas, chamadas Ciências da Informação, que se relacionam com a CI



Fonte: Zhang (1988)

De acordo com o autor, as Ciências da Informação (no plural), contidas dentro do pontilhado, reúnem diversas disciplinas que lidam com o objeto de estudo informação, da qual a Ciência da Informação (no singular) faz parte. O esquema reflete o alcance que o tema “informação” pode ter nas comunicações científicas de diversas áreas de ponta na década de 1990.

Um mapeamento mais completo das subáreas da CI e suas respectivas interdisciplinaridades, foi feito por Pinheiro (2009) tendo como fonte de dados o ARIST²⁵, com

²⁵ ARIST é o *Annual Review for Information Science and Technology*. Disponível em: <http://www.asis.org/Publications/ARIST/>. Acesso em: 3/dez./2015.

abrangência de 1966 a 2004. Os resultados são mostrados no Quadro 2, onde as subáreas foram ordenadas por frequência.

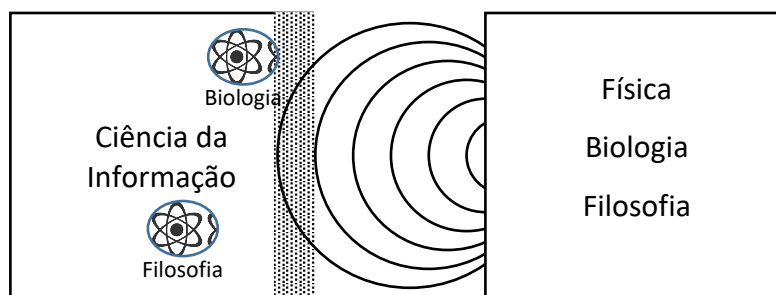
Quadro 2: Subáreas / disciplinas da Ciência da Informação

Subáreas / disciplinas	Áreas interdisciplinares
1. Sistemas de informação	Administração, Ciência da Computação
2. Tecnologia da informação	Ciência da Computação
3. Sistemas de recuperação da informação	Biblioteconomia, Ciência da Computação e Lingüística
4. Políticas de informação	Administração, Ciência Política e Direito
5. Necessidades e usos de informação	Arquivologia, Biblioteconomia, Museologia e Psicologia
6. Representação da informação	Arquivologia, Biblioteconomia, Filosofia, Lingüística e Museologia
7. Teoria da Ciência da Informação	Epistemologia, Filosofia, Filosofia da Ciência e Matemática
8. Formação e aspectos profissionais	Educação, Ética e Direito
9. Gestão da informação	Administração, Economia e Estatística
10. Bases de dados	Ciência da Computação
11. Processamento automático da linguagem	Biblioteconomia, Ciência da Computação e Lingüística
12. Economia da informação	Administração e Economia
13. Bibliometria	Estatística, História da Ciência, Matemática e Sociologia da Ciência
14. Inteligência competitiva e Gestão do conhecimento	Administração e Economia
15. Mineração de dados	Ciência da computação
16. Comunicação científica eletrônica	Ciência da Computação, Comunicação, História da Ciência e Sociologia da Ciência
17. Bibliotecas digitais/virtuais	Biblioteconomia, Ciência da Computação e Comunicação

Fonte: Pinheiro (2009, p.105)

A Física não aparece diretamente relacionada à Ciência da Informação na Áreas interdisciplinares citadas, ou seja, não há uma relação de interdisciplinaridade direta entre Física e CI. Portanto, a difusão da Física através das paredes porosas da CI muitas vezes se dá pelo encapsulamento desta em outra disciplina (Figura 14).

Figura 14: Encapsulamento da Física em outras disciplinas para difundir na CI



No esquema, a Física, representada pela imagem de um átomo, penetra na ciência da informação encapsulada nas disciplinas Biologia e Filosofia, ou seja, de forma indireta, em comunicações científicas formais ou informais, por meio de métodos, termos ou outros elementos.

Por exemplo, no artigo de Capurro e Hjørland (2007), na seção “O Conceito de Informação nas Ciências Naturais”, além da Teoria Matemática da Comunicação de Shannon, são citados os físicos Weizsacker, Stonier e Lyre, que consideram a Informação como uma entidade tão ou mais primordial que os conceitos de Matéria, Energia, Espaço e Tempo. Disso se supõe que haja conexões entre Física e CI, mas esta possível interdisciplinaridade, em geral, não é direta como acontece por exemplo entre Física e Química ou entre CI e Biblioteconomia.

A Ciência da Informação desenvolveu métodos para identificação e medição da interdisciplinaridade que serão apresentados no próximo capítulo.

4 MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DA PESQUISA INTERDISCIPLINAR

Prevenção de doenças, desenvolvimento econômico, desigualdade social, mudanças climáticas, mobilidade urbana e combate ao terrorismo são exemplos de problemas e desafios da sociedade moderna que envolvem questões sociais, em complexidade, inovação e novas tecnologias. Estes são temas interdisciplinares abordados por diversos setores da sociedade, inclusive o acadêmico.

A prática da interdisciplinaridade na pesquisa é chamada de *Interdisciplinary Research* (IDR), ou em português, Pesquisa Interdisciplinar. Em 2003 a *National Academies*²⁶ e a *W.M. Keck Foundation* iniciaram um programa no intuito de fortalecer a IDR, envolvendo a elite de pesquisadores da área, que formou o *Committee on Facilitating Interdisciplinary Research* (Comitê para Facilitação da Pesquisa Interdisciplinar). O comitê lançou um livro²⁷ que traz a seguinte definição para IDR.

A pesquisa interdisciplinar (IDR) é um modo de pesquisa por equipes ou indivíduos que integra informações, dados, técnicas, ferramentas, perspectivas, conceitos, e / ou teorias de duas ou mais disciplinas ou corpus de conhecimento especializado para avançar na compreensão fundamental ou para resolver problemas cujas soluções estão além do escopo de uma única disciplina ou área da prática de pesquisa. (ACADEMIES, 2004, p.2)

Desta definição pode-se destacar que os elementos integrativos da IDR são “informações, dados, técnicas, ferramentas, perspectivas, conceitos, e / ou teorias” e que a IDR pode ser exercida em equipe ou individualmente. Como exemplo de IDR, podemos citar os seguintes projetos de pesquisa do *Santa Fe Institute*²⁸: As origens, evolução e diversidade das linguagens humanas; Uma teoria da invenção e inovação; Teoria da inteligência incorporada; Biologia, comportamento e doença; Redes sociais, *big data* e inferência física; Informação, termodinâmica e evolução da complexidade em sistemas biológicos; Bairros, favelas e desenvolvimento humano; Emergência de sociedades complexas; Leis ocultas nos sistemas biológicos e sociais; Evolução da complexidade na Terra; Cidades, dimensionamento e sustentabilidade.

Agências de fomento, como a *National Science Foundation* (NSF), necessitam de ferramentas para identificar e medir a Pesquisa Interdisciplinar (IDR) para otimizar a

²⁶ Para mais informações, acessar: <http://www.national-academies.org/>. Acesso em: 3/dez./2015

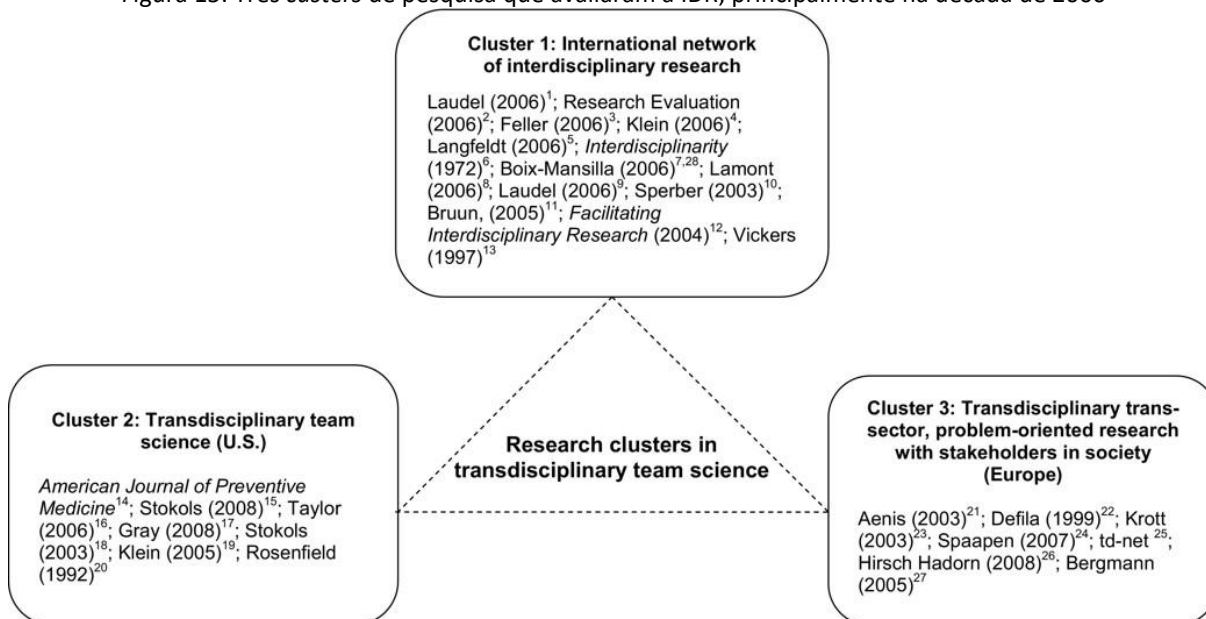
²⁷ O livro “*Facilitating Interdisciplinary Research*” pode ser baixado gratuitamente em <http://www.nap.edu/catalog/11153/facilitating-interdisciplinary-research>. Acesso em: 3/dez./2015.

²⁸ O *Santa Fe Institute* tem como lema: “Procurando Ordem na Complexidade de Mundos em Evolução”

disponibilização de recursos. Pesquisadores da Ciência da Informação desenvolveram métodos para mensurar a interdisciplinaridade, principalmente por meio das Metrias da Informação e Comunicação (MIC), visualizados inicialmente por Garfield, Malin e Small (1978) e Porter e Chubin (1985) e que ganharam força a partir dos anos 2000 (NISENBAUM; PINHEIRO, 2016, p.13).

A avaliação da IDR foi revisada por Klein (2008) que usou como fonte de dados os resultados de três grupos (Figura 15) que avaliaram IDR neste período.

Figura 15: Três *clusters* de pesquisa que avaliaram a IDR, principalmente na década de 2000



Fonte: Klein (2008)

Os *clusters* 1 e 2, dos quais Klein faz parte, são compostos principalmente por pesquisas publicadas nas edições especiais sobre IDR dos periódicos *Research Evaluation*²⁹ e *American Journal of Preventive Medicine*³⁰. O *Cluster* 3 é formado por pesquisas na Europa. A partir dos resultados destes estudos, Klein compilou sete princípios gerais para avaliação de IDR, mostrados no Quadro 3.

Quadro 3: Sete princípios gerais para avaliação de IDR

#	Princípio para avaliação de IDR	Exemplo
1	Variabilidade de metas.	Metas pragmáticas & epistemológicas
2	Variabilidade de critérios e indicadores.	Rigor experimental, qualidade estética, adequação de estrutura e dados.

²⁹ Edição de Abril de 2006 (v.15, n. 1)

³⁰ Edição de 2008 (v. 35, n. 2)

3	Alavancagem da integração.	Discussão guiada de questões polêmicas.
4	Interações de fatores sociais e cognitivos na colaboração.	Comunicação e negociação.
5	Gestão, liderança e <i>coaching</i> .	Liderança Cognitiva, Estrutural e Processual.
6	Iteração em um sistema abrangente e transparente.	Realimentação durante as etapas (<i>input</i> , processo e <i>output</i>)
7	Eficácia e impacto.	Respeito ao <i>timing</i> diferenciado da IDR.

Fonte: Klein (2008) – adaptado

O princípio 1 mostra que, para a IDR ser bem-sucedida, é necessário que haja diversidade de objetivos entre os pesquisadores e instituições envolvidas. Por exemplo, um biólogo teórico e um engenheiro genético tiveram metas específicas diferentes no projeto Genoma Humano. O princípio 2 constata que, devido ao caráter multidimensional da interdisciplinaridade, uma boa avaliação da IDR necessita vários indicadores, como por exemplo, indicadores de diversidade nos *outputs* e de qualidade no processo de pesquisa. O princípio 3 baseia-se no fato de que a integração na IDR não acontece “espontaneamente”, apenas com *input* de recursos, pessoal e projeto. É necessário que, durante o processo, haja discussões e reavaliações frequentes. O princípio 4³¹ envolve questões sociais da ciência. Por exemplo, é natural que pesquisadores de áreas diferentes tenham convicções diversas, às vezes sobre um mesmo conceito, ou que pertençam a áreas historicamente rivais. A transparência e mediação de possíveis conflitos cognitivos e sociais é fundamental para o sucesso da IDR. O princípio 5 leva em conta a diversidade dos grupos de IDR, que exigem mais da gestão de projetos e das lideranças, do que pesquisas disciplinares, e as técnicas de *coaching* podem ajudar neste aspecto. A pesquisa científica é composta por *input* (recursos), processo e *output* (resultados). O princípio 6 mostra que, no caso da IDR, as realimentações entre etapas são muito importantes. Por exemplo, a divulgação de um resultado parcial (*output*) pode causar impacto no fomento (*input*) e esta realimentação pode ser mais difícil devido à complexidade de fatores envolvidos em pesquisas interdisciplinares. O princípio 7 leva em conta que a IDR tem um *timing* diferente do da pesquisa disciplinar, normalmente os resultados demoram mais. Indicadores de qualidade e agências de fomento devem conhecer este fenômeno e tratar a IDR de forma diferenciada.

³¹ Este princípio já havia sido sinalizado anteriormente por (GARFIELD; MALIN; SMALL, 1978).

Não existe fórmula geral, cada projeto tem as suas especificidades, mas estes princípios gerais ajudam a nortear a avaliação da IDR.

Garfield, Malin e Small sugeriram, de forma pioneira, a identificação e medição da interdisciplinaridade por meio de agrupamentos em mapas da ciência, uma técnica derivada de estudos bibliométricos de co-citação. Segundo eles,

Uma ligação entre dois *clusters* significa que um número de autores está citando documentos em ambos os *clusters* e, assim, criando co-citações *intercluster*. Tais citações devem refletir o grau de interdependência de uma especialidade sobre outra ou a extensão de um esforço interdisciplinar. (GARFIELD; MALIN; SMALL, 1978, p.189)

Mais tarde, Porter e Chubin (1985) criaram o conceito de *Citations Outside Category* (COC) como indicador de IDR, com base nas categorias do *Journal Citation Reports* (JCR). O índice é calculado a partir do número de citações fora da categoria principal de um determinado periódico. O mesmo conceito pode ser aplicado a outras unidades de análise como, por exemplo, artigo, autor ou instituição. De acordo com os autores, “a percentagem de citações fora das duas categorias mais citadas é o mais acentuado discriminador de influência interdisciplinar”. O cálculo do índice é dado por:

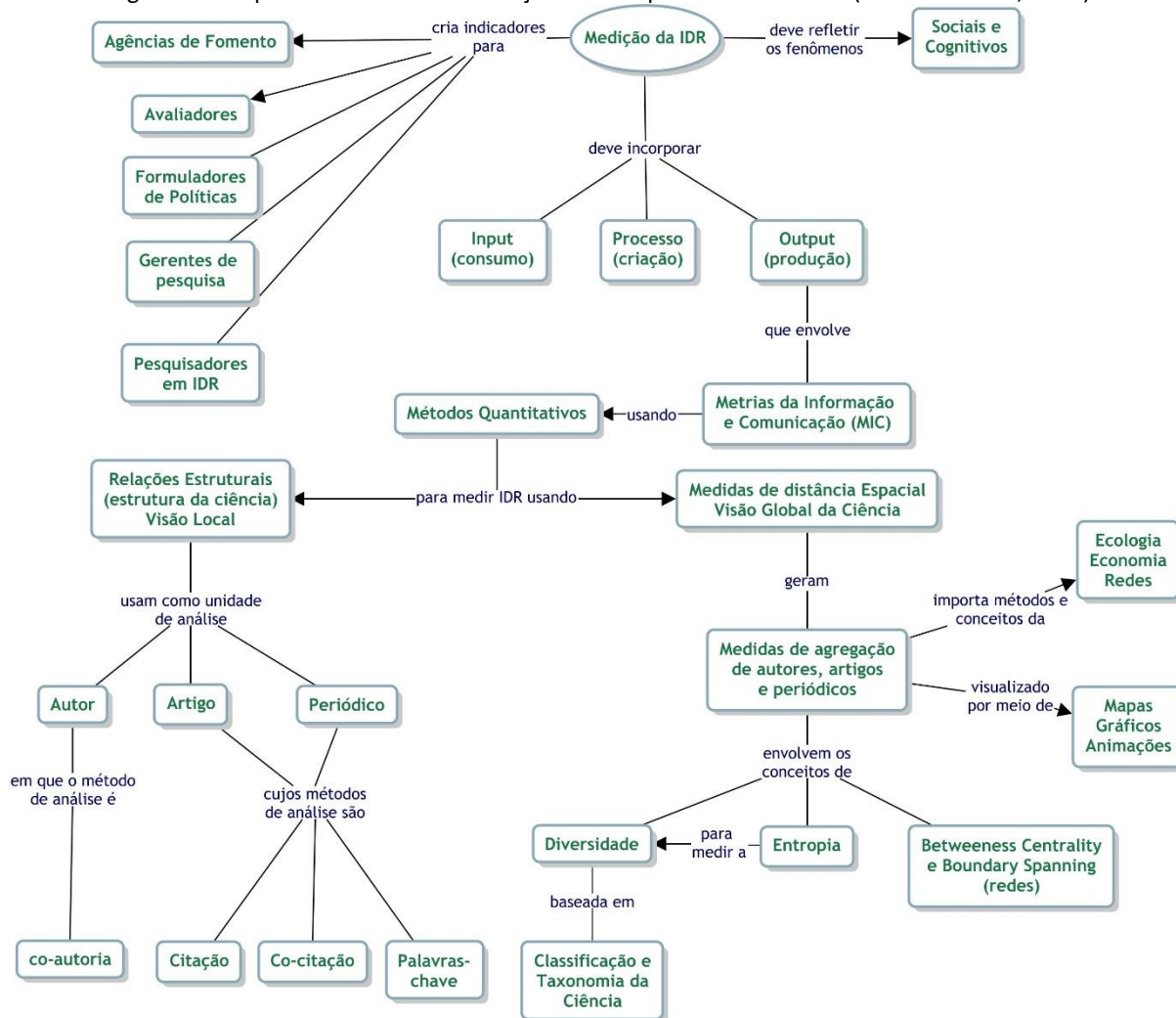
$$COC = \frac{\text{Número de citações a categorias externas}}{\text{total de citações}}$$

Os autores também sugerem que “medidas bibliométricas como o COC devem ser capazes de detectar e até mesmo antecipar a convergência de habilidades específicas para formar novas especialidades de pesquisa e, eventualmente, novas disciplinas” (PORTER; CHUBIN, 1985), ou seja, a evolução para transdisciplinaridade também poderia ser detectada.

A formulação verbal da Lei de Bradford afirma que a maior parte dos artigos científicos sobre um determinado assunto fica concentrada em um número pequeno de periódicos dedicados, chamado “núcleo” e os demais artigos ficam dispersos em grande número de outros periódicos (DE BELLIS, 2009, p.96). Enquanto o principal objetivo de Bradford foi determinar os periódicos do núcleo, a análise da COC se concentra na dispersão ou espalhamento, ou seja, em elementos fora do núcleo que denotariam sinais de interdisciplinaridade, por exemplo, artigos sobre um determinado assunto publicados em periódicos dedicados a outro assunto. No entanto, na época de Bradford, não existiam ainda estudos sobre interdisciplinaridade na CI.

O uso das Metrias da Comunicação e Informação (MIC) para medir interdisciplinaridade foi revisado por Wagner et al. (2011) que listaram as motivações, delimitação, contexto e classificaram os métodos de medição da IDR, como mostra a Figura 16.

Figura 16: Mapa conceitual sobre medição de IDR que utilizam as MIC (WAGNER et al., 2011)



A principal motivação para medição da IDR é a criação de indicadores para financiamento e avaliação da pesquisa interdisciplinar. Também para Wagner e seus colaboradores, a medição da IDR deve refletir fenômenos sociais e cognitivos dos cientistas envolvidos e incorporar as três fases da pesquisa: *Input* (recursos), *Processo* (criação) e *Output* (produção). É muito difícil avaliar o *Input* e *Processo*³² da IDR com o uso de Metrias da Informação e Comunicação (MIC), pelo fato destas etapas não serem, em sua maioria, documentadas em comunicações científicas formais. Esta questão é hoje muito discutida na CI, no âmbito da

³² Existem indicadores de *input* processo para outros fins. Exemplo disponível em: <https://www.snowballmetrics.com/>. Acesso em: 27/jul./2016

ciência aberta, especificamente denominada Dados de Pesquisa ou Dados Científicos (SAYAO; SALES, 2014). No entanto, o *Output* pode ser medido por meio das MIC³³, fazendo uso dos dados das bases científicas, que fornecem informações de forma organizada e em quantidade suficiente para análises bibliométricas.

Quanto à classificação das metodologias utilizadas para medição de IDR, de acordo com Rafols e Meyer (2010), existem dois tipos de abordagens: (1) *top-down* e (2) *botton-up*. A abordagem *top-down*, mais usada na literatura, pressupõe que a interdisciplinaridade está relacionada à diversidade das unidades de análise. Nesta, as fronteiras entre os elementos em análise são disciplinas ou categorias (normalmente as do WoS ou JCR) impostas de cima para baixo. Na abordagem *botton-up* estas demarcações são descobertas de baixo para cima, com base nos resultados das medições. Na abordagem 1, a interdisciplinaridade é medida com base em citação fora da categoria (COC) e índices estatísticos de diversidade (por exemplo: Entropia, Simpson, Stirling). Já na abordagem 2, a unidade de análise é a rede de referências conectadas por meio de acoplamento bibliográfico, e a interdisciplinaridade é medida com base em indicadores de coerência, como o Comprimento Médio e a Intensidade Média de Conexões, ambos introduzidos pelos autores, que não serão aprofundados aqui.

Wagner et al. (2011) classificam as metodologias para medição da IDR em outras duas categorias, a Estruturalista e a Espacial. A Estruturalista, recebe este nome, por ser dependente da estrutura disciplinar da ciência, ou seja, é necessário haver uma ou mais categorias associadas aos artigos, autores ou periódicos para medir interdisciplinaridade, que é normalmente definida como o ato de atravessar as fronteiras entre as disciplinas. Já a Espacial se inspira na necessidade da utilização de análise de redes para obter indicadores de agregação, cujos resultados são normalmente exibidos na forma de gráficos, mapas ou figuras. Neste caso, a interdisciplinaridade é definida em termos de medidas de diversidade e outros indicadores importados da economia, ecologia ou estudos em redes sociais.

Nisenbaum e Pinheiro (2016) fizeram um estudo quali-quantitativo em uma amostra de 69 artigos e comunicações em Ciência da Informação, indexados pelo WoS, que utilizam as MIC para medição da IDR. Os resultados mostram um crescimento exponencial deste tipo de pesquisa a partir do ano 2000. Os dois principais periódicos foram *Scientometrics* e *Journal of*

³³ É recomendada a associação de métodos qualitativos aos quantitativos na medição do *Output* da IDR.

the Association for Information Science and Technology. O primeiro é dedicado às MIC e o segundo é um dos principais periódicos da CI.

Quanto aos autores, os mais produtivos são Loet Leydesdorff (citado anteriormente), Ismael Rafols e Allan Porter (idealizador do COC). Ismael Rafols é espanhol, se formou em Física na universidade de Barcelona, fez mestrado em Física Estatística em Tóquio e, no mesmo local, fez doutorado em Ciência da Informação. Em seguida foi para Inglaterra e fez mais um mestrado em políticas de ciência e tecnologia. Hoje tem apoio de agências de fomento para avaliar interdisciplinaridade. Além disso, foi um dos autores do Manifesto de Leiden sobre Métricas de Pesquisa³⁴ que lista 10 princípios para guiar a avaliação da pesquisa. Porter é mais um exemplo de físico que migrou para Ciência da Informação e obteve destaque nesta área³⁵.

O país que mais publicou sobre o assunto foram os Estados Unidos, seguido de Holanda (país de Leydesdorff) e Inglaterra (Rafols). Um dos 69 artigos da amostra é brasileiro, com três autores do Instituto de Física da Universidade de São Carlos e um do Instituto de Matemática da USP, ratificando que as MIC são de interesse de físicos e matemáticos³⁶.

Nisenbaum e Pinheiro (2016) fizeram análise de conteúdo nos títulos, palavras chave, *abstract* e metodologia nos 69 artigos da amostra para tipificar e medir a frequência dos seguintes parâmetros: Metodologia, Objetivo, Unidade de Análise, Definição de Interdisciplinaridade, Indicadores Estatísticos, Abordagem Metodológica (estruturalista ou espacial) e Base de Dados. As duas principais metodologias foram Análise de Citação e de Redes, mostrando a influência do índice COC de Porter no primeiro e o uso da abordagem espacial no segundo.

Os principais objetivos foram (1) Apresentar um novo indicador ou método para medir interdisciplinaridade, (2) Medir a IDR de grupos de pesquisa, (3) Medir a Interdisciplinaridade em disciplina ou área e (4) Mapear a evolução da interdisciplinaridade ao longo do tempo. O objetivo (1) mostra que a medição da IDR é um assunto novo, por isso novos indicadores ainda estão em desenvolvimento. Os objetivos (2) e (3) estão relacionados a demandas de agências de fomento e/ou formuladores de políticas e o objetivo (4) é uma sofisticação que atende à demanda da interdisciplinaridade ser um fenômeno dinâmico.

³⁴ Disponível em: <http://www.leidenmanifesto.org/> . Acesso em: 4/jan./2017.

³⁵ Mais informações sobre Ismael Rafols em <http://www.ingenio.upv.es/en/Ismael-Rafols> . Acesso em: 19/nov./2016.

³⁶ A presença de pesquisadores físicos em matemáticos em bibliometria é histórica, veja os exemplos de Solla Price e Brookes.

A Abordagem Metodológica Estruturalista foi mais frequente do que a Espacial. Um dos motivos é que a abordagem Estruturalista pode ser aplicada a praticamente todos os tipos de problema, enquanto a Espacial é mais indicada em pesquisas que envolvem grande quantidade de dados.

As Bases de Dados mais utilizadas nas pesquisas foram a *Web of Science* (WoS) e o *Journal Citation Reports* (JCR), provavelmente devido ao fato de os dados exportados destas bases estarem em formato compatível com os principais softwares de bibliometria.

Esta tese sugere um novo método para medição de interdisciplinaridade baseado no conceito de Transposição Científica, a ser apresentado no próximo capítulo.

5 TRANSPOSIÇÃO CIENTÍFICA

Em busca de uma metodologia para medição da interdisciplinaridade entre Física e Ciência da Informação, nesta pesquisa é proposto nomear um fenômeno que ocorre em Interdisciplinaridade: a Transposição Científica. A justificativa de mais um nome dentre os já muitos presentes na literatura é que a interdisciplinaridade em estudo tem duas características: 1) ocorre durante as comunicações informais no fluxo da comunicação científica; 2) é uma interdisciplinaridade indireta. A primeira característica reduz o potencial dos métodos baseados em análises de citações, já que estes se limitam aos *outputs*. A segunda implica que os conceitos da Física aparecem na CI não necessariamente como fruto de trabalho interdisciplinar entre pesquisadores destas duas áreas. Pode ocorrer, por exemplo, de um físico publicar um artigo sobre Ciência da Informação em um periódico da área da Física. Ou ainda, a Física pode ser usada em CI por um cientista de outra área como biologia e química por exemplo. Nesse sentido, a Transposição Científica poderá gerar ferramentas de identificação e medição da interdisciplinaridade indireta, além de identificar, neste contexto, estágios ou gradações da Interdisciplinaridade.

A Transposição Científica tem o potencial de possibilitar maior clareza às discussões e aprofundamento dos debates sobre interdisciplinaridade por facilitar sua identificação e classificação em níveis.

Como visto na Figura 10, parte da comunicação que ocorre no domínio informal atinge o domínio formal. Isso implica que podem ser buscadas pistas da interdisciplinaridade indireta nas comunicações científicas formais. Alguns exemplos de interdisciplinaridade da CI com as ciências naturais que ilustram essas características são:

- A proximidade entre Física e a CI ocorre desde os primórdios da CI moderna (década de 1960) quando se buscava algum tipo de “mecanização” da organização do conhecimento científico, tendo sido emblemática a ideia da máquina indexadora “memex” sugerida por Bush (1945). Nessa época, foram realizadas transposições científicas para CI da Engenharia, da Física e da Química, protagonizada por cientistas cujas áreas de origem eram as duras e em que estiveram muitos dos Pioneiros da CI nos EUA.
- A tentativa da afirmação da CI como novo Campo Científico fez florescer a formalização matemática em comunicações científicas em periódicos da área de CI, com a

participação de matemáticos (como Brookes) que importaram inclusive conceitos da Física para suas comunicações científicas.

- É inegável a participação de biólogos nos estudos da Informação. Pesquisas teóricas e práticas relacionadas com informação genética, evolução, *autopoiesis*, deram origem a transposições científicas, formando um triângulo de relações: Física – CI – Biologia (ou Ciências da Vida). Assim, a transposição científica da Física para CI pode também vir com o auxílio de intermediários, análoga aos “caminhos através da literatura científica seguindo os *links* fortes de co-citação” (SMALL, 1999).

5.1 Definição

Antes de avançar na aplicação do conceito de Transposição Científica para medição de interdisciplinaridade, é importante defini-la formalmente.

Transposição Científica (TC) é o fenômeno interdisciplinar de transposição de conceitos, métodos e terminologias da disciplina A para disciplina B, no contexto da pesquisa científica. A exemplo da própria interdisciplinaridade, a TC tem direção. A TC de A para B é um fenômeno diferente da de B para A.

O fenômeno da Transposição terminológica é identificado por Pombo que, pode não ter aprofundado a discussão, mas indicou um caminho:

Conforme os casos e os níveis de integração pretendidos, ela [a interdisciplinaridade] pode traduzir-se num leque muito alargado de possibilidades: transferência de problemática, conceitos e métodos de uma disciplina para outra ..., transposição de terminologias, tipos de discurso e argumentação, cooperação metodológica e instrumental, importação de conteúdos, problemas, exemplos, transferência de resultados e aplicações, etc... Pela interdisciplinaridade se revela de que modo a identidade do objeto de estudo se complexifica através dos diferentes métodos das várias disciplinas, de que modo revela a sua problematicidade e torna explícita a sua mútua relatividade. (POMBO, 2004b, p.38)

A identificação da TC se dá por meio de termos ou expressões, aqui chamados de Indícios de Transposição Científica (ITC), notadamente usados na disciplina A que aparecem na literatura científica da disciplina B. Esses indícios servem como “ponta do *iceberg*” para uma análise mais profunda quantitativa e/ou qualitativa da TC. Trabalho semelhante de identificação foi feito por Small (2009) que usou as “*cue words*” (palavras sinalizadoras) para

[...] verificar e investigar mais profundamente o significado das ligações interdisciplinares, contextos de co-citação ... Essa análise revela que as conexões interdisciplinares são muitas vezes baseadas em percepções de problemas análogos em vários domínios científicos dos autores. (SMALL, 2009, p.835)

Small (2009) usa as *cue words* para identificar analogias entre disciplinas e assim poder fazer uma análise mais qualitativa das medições de interdisciplinaridade. As metáforas e metonímias, derivadas de analogias, são indicativos dessa prática de transposição, que podem ser entendidas por meio de uma abordagem psicológica da interdisciplinaridade (BROMME, 2000).

O papel dos indícios na interdisciplinaridade da CI é abordado por Freire e Araújo (2001) por meio do conceito de paradigma indiciário de Ginzburg, no qual

[...] reunidos os indícios ou pistas do objeto de estudo, a visão do observador verá tomar forma uma 'trama densa e homogênea' que será tecida no tear do quadro de referência teórico ... [o tapete assim construído remete] a um modelo epistemológico comum, articulado em disciplinas diferentes, muitas vezes ligadas entre si pelo empréstimo de métodos ou termos-chave. (FREIRE; ARAÚJO, 2001)

Dessa forma, esses indícios, que muitas vezes passam despercebidos em nossas leituras, podem ligar o pesquisador ao tipo de interdisciplinaridade indireta, da qual falamos nesta tese.

5.2 Níveis de Transposição Científica

Após a identificação da Transposição Científica com auxílio dos ITC, pode-se fazer uma análise qualitativa da TC. Definimos agora os níveis de TC que servem para facilitar a classificação dos resultados da análise qualitativa.

A TC pode ocorrer em quatro diferentes níveis:

- Nível 1: analogia – ITC da disciplina A aparecem em comunicações científicas da disciplina B como uma analogia, com finalidades pedagógicas ou para facilitação do entendimento. A analogia não é indispensável.
- Nível 2: multidisciplinar - ITC da disciplina A aparecem em comunicações científicas da disciplina B no contexto apenas da disciplina A. É indispensável para o entendimento da comunicação científica.
- Nível 3: interdisciplinar – ITC da disciplina A aparecem como parte integrante da resolução de problemas da disciplina B. É necessário que o autor tenha tido formação no assunto da disciplina A.
- Nível 4: transdisciplinar - ITC da disciplina A são também ITC da disciplina da disciplina B. Não há como identificar a disciplina referente àqueles ITC. O uso daqueles termos e

expressões não é mais exclusividade do especialista da disciplina A. Os cientistas da disciplina B já usam esses termos com propriedade.

Pode ainda ocorrer a Pseudo TC, caracterizada por ITC da disciplina A em publicações da disciplina B, sem que isso caracterize uma transposição científica. Os termos e expressões são usados somente para causar impacto ou embelezar o texto.

Alguns exemplos de TCs com respectivos ITC são mostrados no Quadro 4.

Quadro 4: Exemplos de Transposição Científica (TC) e seus Índícios (ITC)

Disc. A	Disc. B	Publicação	ITC	Nível de TC
Física	CI	(BORKO, 1968)	Fluxo de Informação	Pseudo
Biologia	CI	(PINHEIRO, 2009)	Mutações	1
Física	CI	(BROOKES, 1980)	Physical space	2
Física	Engenharia	(SHANNON, 1948)	Entropia	3
Física	CI	(LOGAN, 2012)	Vínculo	3
Biologia	CI	Vários	Taxonomia	4

Os estudos em IDR mostram que a interdisciplinaridade é dinâmica, ou seja, suas configurações mudam ao longo do tempo. Assim, uma análise histórica de uma determinada transposição científica pode identificar um percurso ao longo dos níveis. Por exemplo, o que em um momento histórico é uma analogia, pode evoluir para interdisciplinaridade, chegando à transdisciplinaridade (nível 1 → nível 3 → nível 4).

A vantagem das ferramentas de Transposição Científica é permitir ao pesquisador identificar rapidamente as interdisciplinaridades em comunicações científicas formais e não formais, por isso será usada em nossa pesquisa. Para exemplificar, o Quadro 5 lista artigos científicos do periódico JASIST³⁷ nos quais a transposição científica da Física para CI acontece e pode ser identificada por ITC (em negrito) no título ou *abstract*.

Quadro 5: Exemplos de transposição científica em artigos do JASIST

Referência	Título ou trecho do Abstract
(PIWOWARSKI; AMINI; LALMAS, 2012)	On using a quantum physics formalism for multidocument summarization
(IVANCHEVA, 2001)	The basic principle we have used here is that of the reciprocity of energy and space . A new " wave concept " of scientific information has been propounded, in which terms the well-known bibliometric and scientometric distributions find a rather satisfactory explanation.
(LEE; KANTOR, 1991)	The maximum entropy principle may be applied to the design of probabilistic retrieval systems.

³⁷ Journal of the Association for Information Science and Technology (JASIST)

Como último exemplo, o livro *“The Geometry of Information Retrieval”* utiliza métodos matemáticos, semelhantes aos da Mecânica Quântica, nos estudos de recuperação da informação. Ao longo do texto podem ser localizadas vários ITC e são transpostos métodos e resultados da Mecânica Quântica para a Recuperação da Informação, assunto notadamente estudado pela CI (RIJSBERGEN, 2004).

A transposição científica da Física para a CI se dá principalmente por meio do conceito de informação, que é apresentado no contexto da Física no próximo capítulo.

6 INFORMAÇÃO EM FÍSICA

A Física como conhecemos hoje nasceu no século XVII, com o advento da Revolução Científica e as descobertas de Galileu Galilei. De lá para cá, ao longo de quatro séculos, os físicos vêm aplicando o Método Científico para entender melhor a Natureza. O Método Científico é, de forma bem resumida, a observação dos fenômenos em busca de regularidades que, expressas em forma de Leis, podem ser usadas posteriormente para fazer previsões. Também é preocupação da Física a universalidade de suas leis bem como a unificação destas. A Matemática, linguagem da Física e da Química, que também surgiu no século XVII, foram as grandes “companheiras” da Física ao longo na história. A Física, anciã das ciências modernas, foi construída gradativamente ao longo dos séculos e hoje apoia seu enorme castelo sobre alicerces firmes e seguros, formados por uma grande comunidade científica, suas sociedades e organizações³⁸ e o expressivo número de publicações científicas³⁹.

A Ciência da Informação (CI), por outro lado, é uma ciência jovem e sua historiografia varia de autor para autor. De acordo com Wersig e Neveling (1975), a CI surgiu na perspectiva de gerir as informações científicas. A CI já nasceu influenciada por outras disciplinas e, apesar da documentação e recuperação da informação terem sido sua motivação inicial, a CI cresceu e hoje estuda a Informação em contextos, categorizados, por exemplo nos EUA, pelos *Special Interest Groups (SIGs)*⁴⁰ da Asis&t e no Brasil pelos Grupos de Trabalho da Ancib⁴¹. De acordo com a classificação das áreas de conhecimento do CNPq⁴², a Ciência da Informação é uma Ciência Social Aplicada enquanto a Física é uma Ciência Exata e da Terra.

A Física é uma ciência clássica, com inúmeras especialidades e objetos de estudo bem definidos, enquanto a CI é uma ciência pós-moderna (WERSIG, 1993), cujo objeto de estudo é a Informação, que lida com problemas complexos e interdisciplinares. É possível haver interdisciplinaridade entre ciências com interesses e características tão diferentes?

A Física aproximou-se das Humanidades no século XIX por meio de Adolphe Quetelet que aplicou, a esta, métodos estatísticos e probabilísticos, normalmente usados em astronomia e chamou essa nova disciplina de *Social Physics*. Mais tarde, Auguste Comte se

³⁸ 17 sociedades internacionais, 135 sociedades nacionais em diversos países em todos continentes do mundo. Disponível em: <http://de.physnet.net/PhysNet/societies.html>. Acesso em: 31/dez./2015

³⁹ São mais de 100 periódicos científicos na subárea *Physics and Astronomy* indexadas na base Scopus.

⁴⁰ Disponível em: <https://www.asis.org/SIG/sigs.html>. Acesso em: 31/dez./2015

⁴¹ Disponível em: <http://gtancib.fci.unb.br/>. Acesso em: 31/dez./2015

⁴² Disponível em: <http://www.memoria.cnpq.br/areasconhecimento/index.htm>. Acesso em: 1/jan./2016

apropriou deste termo para fundar o que viria a ser chamado Sociologia, numa abordagem positivista. No século XX o termo *Social Physics* é entendido como a “aplicação de conceitos da Física nas Ciências Sociais” (WILSON, 1969) e no século XXI o termo, também chamado de Sociofísica, é usado para “designar a aplicação da Física da complexidade às ciências sociais contemporâneas” (URRY, 2004). Um exemplo é um projeto do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) que estuda redes sociais fazendo uso do *Big Data*⁴³. Portanto, o uso interdisciplinar de métodos da Física na Sociologia, é evidente.

A difusão de métodos da Física em outras ciências foi impulsionada a partir do final do século XX pelo avanço da física computacional, que permite simular e testar, por exemplo, a termodinâmica, teoria quântica e física estatística, em objetos de estudo de outras disciplinas. A assim chamada Física Interdisciplinar tem, além da Sociofísica, outros campos de estudo como a Econofísica, Física Biológica, Física Geológica, Física Médica, Engenharia Física e Física Linguística (HANSEN, 2014). A Física é uma área com muitas especialidades, por isso, nestes casos, a inter ou transdisciplinaridade pode se dar com subáreas específicas. Por exemplo, a Sociofísica e Econofísica estão mais próximas da subárea Mecânica Estatística.

As práticas interdisciplinares da Física ocorrem também no âmbito educacional como, por exemplo, o curso *The Poetry of Physics and the Physics of Poetry*, idealizado e ministrado por Robert Logan, físico estudioso da informação, oferecido desde 1971 pelo departamento de Física da Universidade de Toronto⁴⁴. Sendo assim, há hoje um número expressivo de pesquisadores e educadores interessados em atravessar as barreiras⁴⁵ da Física.

A Informação, objeto de estudo da CI, é analisado cientificamente nas mais variadas disciplinas. Entretanto, o conceito de informação está longe de ser definido de forma unívoca. Isso se deve ao fato da informação ser sensível ao contexto. Robert Logan escreveu que a informação é relativa, “não é uma invariante como a velocidade da luz; esta depende do quadro de referência ou contexto no qual é utilizada” (LOGAN, 2012, p.47). Capurro e Hjørland (2007) descrevem o conceito de informação nas grandes áreas do conhecimento e na Ciência da Informação. Mesmo assim, quando Tefko Saracevic questiona “o que é informação em

⁴³ Mais detalhes em <http://socialphysics.media.mit.edu/>. Acesso em: 2/out./2015

⁴⁴ Página do curso: <https://www.physics.utoronto.ca/students/undergraduate-courses/current/pmu199h1> . Acesso em: 4/jan./2016.

⁴⁵ ‘Atravessar barreiras’ é a tradução livre do termo “*Crossing Boundaries*” cunhado por Julie Klein.

Ciência da Informação? ” ele responde simplesmente “não sabemos” (SARACEVIC, 1999, p.1054).

De 7 a 9 de outubro de 2015 ocorreu, na Holanda, '*The Information Universe Conference*⁴⁶, cujo objetivo foi explorar a seguinte questão: “Qual o papel da informação na física do nosso Universo?”⁴⁷. O comitê organizador científico, formado por três físicos e um cientista da computação, cita o envolvimento das disciplinas Astronomia, Física, Ciência da Computação, Matemática, Ciências da Vida, Computação Quântica e Neurociência. Um dos *keynotes* foi Gerard 't Hooft, físico laureado com o prêmio Nobel da Física em 1999. Algumas questões específicas levantadas nas palestras da conferência foram: “o universo é uma grande máquina que processa informações?; existe uma descrição mais profunda do universo baseada em informação?; o quão próximo estamos da solução do paradoxo da informação dos buracos negros?; qual o papel da informação nos sistemas vivos complexos altamente organizados?” Pelo fato de diferentes comunidades científicas terem às vezes abordagens diferentes sobre o conceito de informação, conferências desse tipo favorecem a aproximação, em primeiro momento, multidisciplinar e potencialmente interdisciplinar⁴⁸ de subáreas dentro da própria Física.

Estes diferentes olhares da Física sobre a Informação foram parcialmente organizados no artigo depositado no arXiv⁴⁹ intitulado *The Physics of Information* (BAIS; FARMER, 2007) cujos autores são pesquisadores do *Santa Fe Institute*, instituição referência em estudos interdisciplinares e de complexidade (POMBO, 2006, p.225). Este artigo posteriormente tornou-se um capítulo do livro *Philosophy of Information* que, por sua vez, é um dos 16 livros da coleção *Handbook of the Philosophy of Science*⁵⁰ publicado pela Elsevier. Os editores decidiram classificar a Física da Informação dentro de Filosofia da Informação, ao invés de Filosofia da Física. Portanto, apesar da Física fazer parte do conteúdo, o objeto de estudo do artigo é a Informação. Os autores começam descrevendo, de maneira geral, a Física da

⁴⁶ Disponível em: <http://www.informationuniverse.rug.nl/> . Acesso em: 15/nov./2015.

⁴⁷ Texto retirado do site oficial do evento.

⁴⁸ A classificação da interação entre disciplinas em multidisciplinar e interdisciplinar segue as ideias de Klein, Japiassu e Pombo, como explicado na seção sobre Interdisciplinaridade desta tese.

⁴⁹ arXiv, disponível em: <http://arxiv.org/> Acesso em: 15/nov./2015, é um Repositório Temático da Cornell University de acesso aberto para e-prints nas áreas da Física, Matemática, Ciência da Computação, Biologia Quantitativa, Finanças Quantitativa e Estatística. Diversos autores de alta produtividade depositam no arXiv, sendo este um instrumento importante de acesso livre a comunicações científicas de alto padrão.

⁵⁰ Disponível em: <https://www.elsevier.com/books/book-series/handbook-of-the-philosophy-of-science> Acesso em: 16/nov./2015.

Informação, a qual consideram um novo subcampo da Física. Em seguida, descrevem o papel central da informação na Termodinâmica, Mecânica Estatística, Teoria do Caos, Ciência da Computação, Teoria Quântica e na Astrofísica. A estratégia é dar a base teórica, não muito aprofundada, mas consistente, sobre cada um dos assuntos, para que o objeto de estudo informação seja apresentado e comentado. Além destes assuntos, outras pesquisas bibliográficas desta tese levaram à identificação de mais iniciativas da Física que tiveram a Informação como protagonista nas pesquisas. Dentre estas cabe destacar as teorias dos “*ur-alternatives*” de Weizsäcker e do “*it from bit*” de Wheeler, que serão apresentadas mais adiante.

A Informação é estudada cientificamente pela Física pelo menos desde o século XIX com o paradoxo do demônio de Maxwell. No século XX foi objeto de pesquisa de físicos importantes, dentre eles, os prêmios Nobel Albert Einstein, Leo Szilard, Erwin Schrödinger e Richard Feynman. No século XXI, além da astronomia, com a questão da perda de informação em buracos negros, diversos físicos estão envolvidos em pesquisas interdisciplinares em torno da Computação e Informação Quântica. Para relatar aqui algumas pesquisas em Física cujo objeto de estudo é a informação, esta tese acessa as seguintes subáreas da Física: termodinâmica fenomenológica e estatística, mecânica clássica e mecânica quântica. A presente pesquisa não tem como objetivo aprofundar esses assuntos, mas sim apresentá-los de forma sucinta a fim de estabelecer possíveis conexões com a Ciência da Informação.

A seguir, o Conceito de Informação no contexto da Física é apresentado. A compreensão de como a Física e os físicos conceituam a Informação, é base para identificação da Transposição Científica deste conceito para a CI, que ocorre, muitas vezes, de forma indireta, como dito anteriormente. Para ilustrar este fenômeno, ao final das subseções deste capítulo, são apresentados Diagramas de Transposição Científica.

6.1 Leis da Termodinâmica, Entropia e Demônio De Maxwell

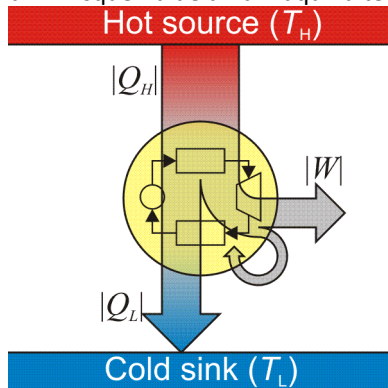
Ao longo do século XVIII, a revolução industrial contou com a ajuda tecnológica da máquina a vapor. Em busca de entender o funcionamento das máquinas térmicas e para melhorar o rendimento delas, Sadi Carnot fundou a termodinâmica em 1824⁵¹. A partir daí, vários cientistas solidificaram esse importante ramo da Física ao descobrirem as quatro leis ou princípios da termodinâmica. Ao longo da história, foi revelada a generalidade da

⁵¹ Ao escrever o livro “*Reflection on the Motive Power of Fire*” (Reflexões sobre a Potência Motriz do Fogo).

termodinâmica que é aplicada não apenas ao problema da transformação de calor em trabalho, mas a diversas áreas, como por exemplo, Química, Astronomia, Eletromagnetismo, Mecânica Quântica e até mesmo Teorias da Informação.

Antes de apresentar as leis da Termodinâmica, é importante definir os conceitos de Sistema Termodinâmico e Vizinhança. A complexidade dos processos naturais e o método científico impõem que apenas uma parte da Natureza seja analisada, ou seja, é praticamente impossível analisar o universo inteiro de uma só vez. O cientista delimita a parte a ser estudada e a chama de Sistema Termodinâmico. Tudo que estiver fora destes limites é chamado de Vizinhança. Por exemplo, na Figura 17, o círculo (máquina térmica) é o Sistema e o restante (fontes de calor) é a Vizinhança.

Figura 17: Esquema de uma máquina térmica



Fonte: Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_engine Acesso em: 29/nov./2015.

O 1º princípio da Termodinâmica é a lei da conservação da energia, e pode ser escrita matematicamente como:

$$\Delta U = Q - W \quad (\text{eq. 1})$$

onde ΔU é a variação da energia interna do sistema termodinâmico, Q é a quantidade de calor que o sistema absorve de sua vizinhança e W é o trabalho realizado pelo sistema em sua vizinhança.

O 2º princípio ou lei da termodinâmica está relacionado com o rendimento das máquinas térmicas, dispositivos que têm como função transformar calor em trabalho. A Figura 17 mostra o esquema de uma máquina térmica que funciona entre dois reservatórios térmicos que estão nas temperaturas T_H (quente) e T_L (fria). O calor flui do reservatório quente para o frio. Parte do calor Q_H é transformado em trabalho W e o restante do calor (Q_L) é entregue ao reservatório frio, de forma que, em um ciclo de funcionamento:

$$W = Q_H - Q_L \quad (\text{eq. 2})$$

O rendimento da máquina térmica em um ciclo é definido como

$$\eta = W/Q_H \quad (\text{eq. 3})$$

substituindo a eq. 3 na eq. 1, o rendimento fica:

$$\eta = 1 - Q_L/Q_H \quad (\text{eq. 4})$$

A 2ª lei da termodinâmica impõe um limite máximo a esse rendimento:

$$\eta \leq 1 - T_L/T_H \quad (\text{eq. 5})$$

A igualdade é alcançada apenas pela chamada Máquina Térmica de Carnot.

Portanto, não existe máquina que transforma totalmente calor em trabalho. Por exemplo, o ciclo do motor de um automóvel só transforma cerca de 30% do calor da explosão em movimento.

O estado mecânico clássico de um sistema de partículas é totalmente definido se forem conhecidas as posições e velocidades de todas as partículas. Analogamente, o estado de um sistema termodinâmico é definido pelas suas variáveis de estado. Por exemplo, o estado termodinâmico de um mol de gás ideal é totalmente identificado por meio de duas das três variáveis: pressão, temperatura e volume. Um sistema isolado estará em equilíbrio se as variáveis de estado forem constantes ao longo do tempo. É necessário esperar um tempo para que um sistema termodinâmico evolua espontaneamente para o equilíbrio termodinâmico. Uma transformação é considerada reversível quando acontece devagar o suficiente para que as etapas da transformação sejam consideradas estados de equilíbrio.

A entropia é uma variável de estado termodinâmico e foi desenvolvida inicialmente para facilitar os estudos de máquinas térmicas. Em um processo termodinâmico reversível, a variação da entropia é definida como a quantidade de calor entregue a um sistema dividida pela sua temperatura absoluta.

$$dS = \delta Q/T \text{ (processo reversível)} \quad (\text{eq. 6})$$

Por exemplo, para derreter um grama de gelo a 0°C (273 K), são necessárias aproximadamente 80 calorias. Então, o aumento de entropia do gelo durante esse processo será de aproximadamente $80/273 = 0,30 \text{ cal/(g.K)}$, se for realizado de forma reversível.

A 2ª lei da termodinâmica demonstrou ter enorme abrangência podendo ser enunciada de diversas formas equivalentes. De forma geral, a 2ª lei tem a ver com a espontaneidade dos fenômenos da natureza que, em geral, evoluem para um estado de equilíbrio. Assim, por exemplo, ao misturar leite frio com café quente, o calor flui espontaneamente do café para o leite até ambos atingirem o equilíbrio termodinâmico a uma temperatura intermediária. Portanto, dizer que o calor flui dos corpos quentes para os corpos frios é uma maneira de enunciar a 2ª lei. Outra forma de enunciar a 2ª lei é dizer que todo sistema isolado evolui para um estado de máxima entropia. Ou seja, quando a entropia de um sistema é máxima, significa que este chegou ao seu estado de equilíbrio. Portanto o café com leite morno tem entropia maior que o café quente e o leite frio.

A termodinâmica, de Sadi Carnot e seus colaboradores, que lida com grandezas macroscópicas como temperatura, volume e pressão, é a chamada Termodinâmica Fenomenológica (HELMAN; GRINSTEIN, 1988, p.6). Na segunda metade do século XIX, James Clerk Maxwell, notável físico do século XIX⁵², e Ludwig Boltzmann desenvolveram os fundamentos da Termodinâmica Estatística. Por meio dela pode-se entender que os sistemas macroscópicos são formados por um número enorme⁵³ de partículas (as moléculas) e que as grandezas que medimos podem ser relacionadas com os estados mecânicos destas partículas. Por exemplo, a temperatura de um gás é proporcional à energia cinética⁵⁴ média das suas moléculas e a pressão é relacionada com os choques entre as moléculas e as paredes do recipiente onde o gás está contido. Os cientistas provaram que a Termodinâmica Estatística é equivalente à Fenomenológica.

O macroestado de um sistema termodinâmico é o estado como entendido pela termodinâmica fenomenológica. Um microestado seria conhecido se soubéssemos todas as velocidades e posições de todas as moléculas do sistema⁵⁵. É fácil concluir que vários microestados diferentes podem levar a um mesmo macroestado⁵⁶ e a quantidade desses microestados é chamada de Multiplicidade Ω . Para facilitar a compreensão, considere um sistema termodinâmico simples formado por dois dados. Seja o macroestado do sistema a

⁵² Albert Einstein considera Newton e Maxwell como os grandes “gigantes” da Física, “sobre os ombros” de quem se apoiou para desenvolver a teoria da Relatividade. Maxwell desenvolveu a teoria do Eletromagnetismo, que, juntamente com a mecânica e gravitação de Newton formam os pilares da Física Clássica.

⁵³ Da ordem do número de Avogadro, ou seja, 10^{24} partículas.

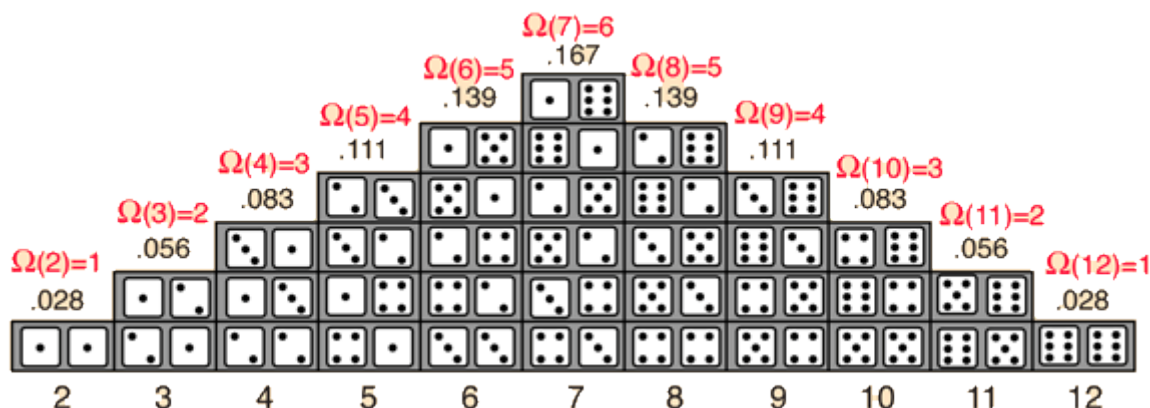
⁵⁴ A energia cinética está ligada ao movimento, é proporcional ao quadrado da velocidade, $E_c = m.v^2/2$.

⁵⁵ Conhecer um microestado é impossível e inútil para termodinâmica estatística.

⁵⁶ Esse fato tem a ver com a definição estatística de entropia, como será abordado mais à frente.

soma dos valores dos dados. Um microestado é caracterizado pelos dois valores individuais dos dados. A multiplicidade Ω é o número de maneiras possíveis (microestados) dos dados somarem o mesmo número (macroestado), como mostrado na Figura 18.

Figura 18: Microestados e macroestados de um sistema termodinâmico formado por dois dados.



Fonte: Disponível em: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/therm/entrop2.html> . Acesso em: 20/nov./2015.

Os valores entre parênteses representam os macroestados. Nota-se que o macroestado mais provável é o 7 e os menos prováveis são 2 e 12.

A termodinâmica estatística define entropia como sendo

$$S = k_B \ln(\Omega) \quad (\text{eq. 7})$$

onde $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ é a constante de Boltzmann e $\ln$ é o logaritmo natural. Portanto, quanto maior a multiplicidade Ω , maior a entropia⁵⁷ de um sistema.

É intuitivamente claro agora por que os sistemas evoluem para a entropia máxima (2ª lei da termodinâmica): simplesmente porque é mais provável!

A entropia de Boltzmann requer que o sistema esteja em equilíbrio. Isso equivale a dizer que todos os microestados têm a mesma probabilidade de acontecer. No nosso exemplo dos dados, isso acontece se estes não forem viciados. Entretanto, se o sistema não estiver em equilíbrio, um microestado i pode ter uma probabilidade p_i de ocorrer diferente da probabilidade p_j de um outro microestado j . No nosso exemplo, cada dupla de dados teria probabilidade diferente de acontecer. Nesse caso (fora do equilíbrio), não podemos afirmar mais que o macroestado 7 seja o mais provável. O cientista Josiah Willard Gibbs desenvolveu uma expressão geral para Entropia que serve quando o sistema está em equilíbrio ou não. Isso

⁵⁷ O logaritmo foi introduzido para lidar com o enorme número de microestados e ainda pelo caráter aditivo que deverá haver quando sistemas forem acoplados.

é muito importante porque as coisas mais interessantes da natureza ocorrem fora do equilíbrio. A expressão da Entropia de Gibbs (S_G) é

$$S_G = -k_B \sum_i p_i \ln(p_i) \quad (\text{eq. 8})$$

Foi a entropia de Gibbs que inspirou Shannon na sua definição matemática da informação.

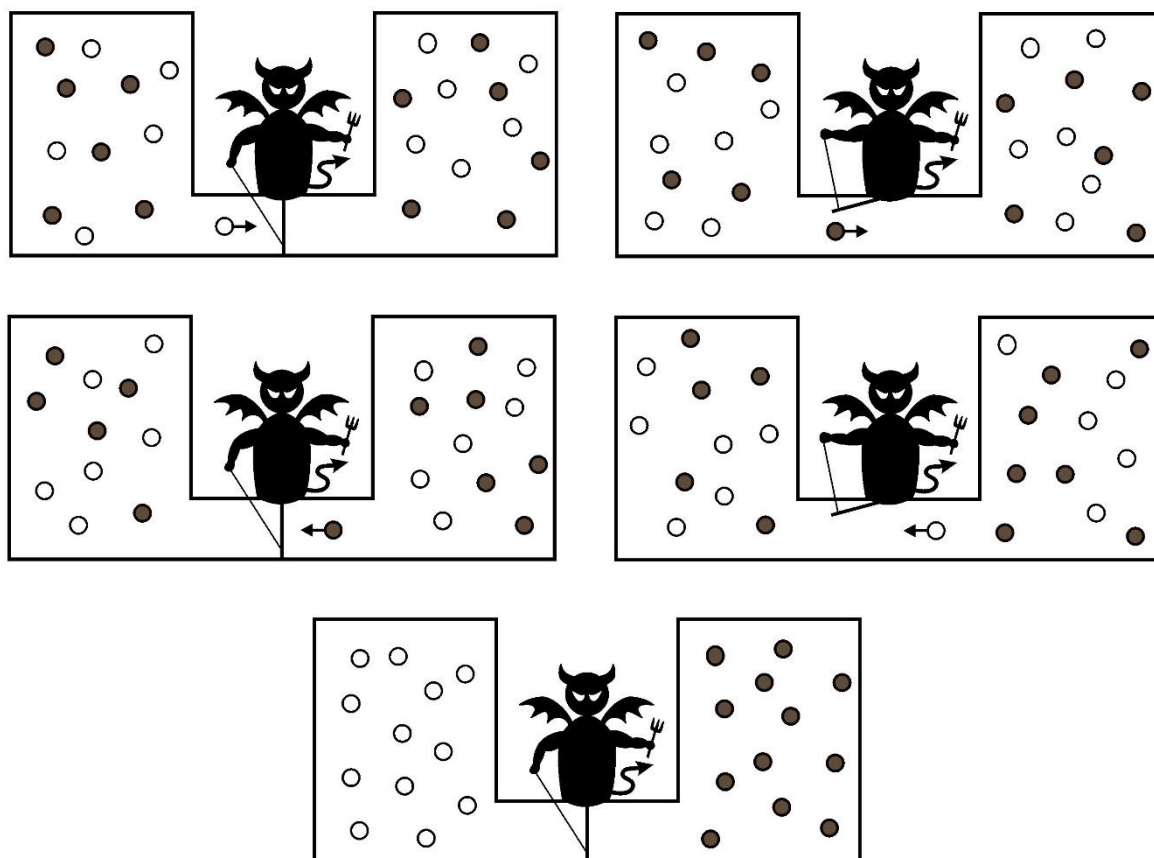
Estes elementos básicos da termodinâmica servem como base para compreensão do paradigma denominado Demônio de Maxwell. Em 1871, Maxwell, publicou o livro *Theory of Heat* em que dedica o último capítulo à termodinâmica estatística. Maxwell foi um dos maiores gênios da história da Física e tinha exata noção das limitações que a teoria cinética poderia ter. Por isso, na penúltima seção do livro (MAXWELL; RAYLEIGH, 1902, p.338), ele explica as limitações da segunda lei da termodinâmica. A ideia era mostrar que a termodinâmica funcionava bem se o número de partículas envolvidas fosse muito grande, ou seja, as leis da termodinâmica eram essencialmente estatísticas. Entretanto, no mundo microscópico individual das moléculas a validade da 2ª lei seria questionável. Maxwell explicou isso por meio de um experimento pensado, a ser descrito a seguir.

Considere um recipiente contendo gás a uma certa temperatura constante. As moléculas não precisam ter todas a mesma velocidade, haverá moléculas rápidas e outras lentas, de forma que a média das suas energias cinéticas seja proporcional à temperatura do gás. Coloca-se agora uma porta dividindo o recipiente e um “ser” (o demônio de Maxwell⁵⁸), de tamanho semelhante ao das moléculas, controlando a abertura e fechamento desta porta (Figura 19). Ele teria habilidade para acompanhar o movimento das moléculas do gás⁵⁹ e poderia, assim, escolher as moléculas que deixaria passar pela porta. Ele poderia deixar passar as moléculas mais rápidas (cinzas) da direita para a esquerda e as mais lentas (brancas) no sentido inverso. Ao final de um certo tempo, o gás quente e o gás frio estariam separados, o que contraria frontalmente a 2ª lei da termodinâmica, porque o estado final teria entropia menor do que o inicial.

⁵⁸ Quem batizou o “ser” de Demônio de Maxwell foi William Thomson (Lord Kelvin).

⁵⁹ Lembre-se que as velocidades das moléculas do gás são diferentes, a temperatura é uma medida da média dessas velocidades.

Figura 19: Demônio de Maxwell decidindo o destino das moléculas mais e menos velozes



Fonte: Disponível em: http://creatureandcreator.ca/?page_id=372 . Acesso em: 27/nov./2015

Maxwell usou este exemplo para afirmar que seu modelo somente funcionaria estatisticamente. Entretanto a evolução da termodinâmica mostrou que a 2ª lei tem uma abrangência muito maior. Então o demônio precisava ser “exorcizado”. A solução deste enigma está diretamente conectada com estudos da Informação.

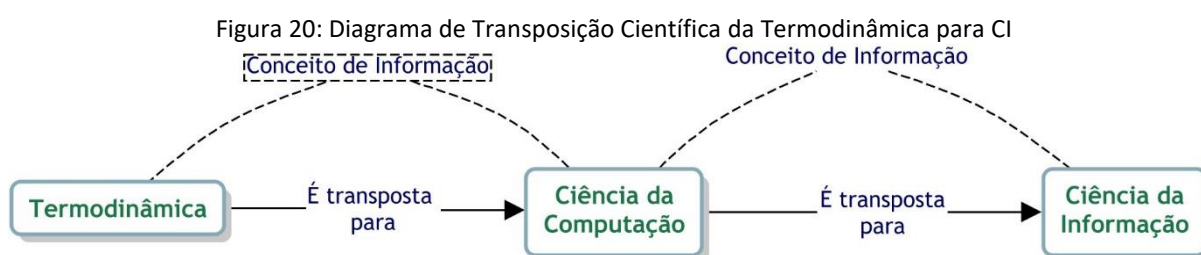
Para demonstrar a importância do assunto, Leff e Rex (2003) editaram um livro sobre o demônio de Maxwell, reunindo 31 artigos científicos, publicados, principalmente, ao longo da segunda metade do século XX, que explicam sua história, soluções e aplicações nas áreas de Computação, Teoria da Informação Clássica e Quântica.

As primeiras soluções, registradas por Leff e Rex (2003, p.17) e Bais e Farmer (2007, p.26), buscavam uma compensação externa para redução da entropia no recipiente. Ou seja, deveria haver algum custo entrópico para o demônio de Maxwell, de forma que, no cômputo geral (recipiente + vizinhança), a entropia aumentasse. A solução, desenvolvida por Leo Szilard em 1929 e republicado em inglês em 1964 (SZILARD, 1964), defende que o processo de medição da velocidade das moléculas demandaria um aumento de entropia. Esta medição

poderia ser feita, por exemplo, utilizando luz, isto é, um fóton deveria ser lançado pelo demônio em uma molécula a fim de medir sua velocidade. Assim, Szilard lançou um olhar da recém descoberta teoria quântica (que Maxwell não tinha) ao problema. Já Brillouin (1951a), criou um modelo em que haveria o aumento de entropia devido à aquisição da informação por meio dos fótons. Mas outros cientistas conseguiram mostrar que o demônio poderia medir a velocidade das partículas sem que o sistema como um todo aumentasse sua entropia. Enfim, outra solução deveria ser buscada.

A solução do enigma veio de um campo inesperado, da ciência da computação e tem como base o fato de que os ciclos termodinâmicos reversíveis não apresentam aumento de entropia, pois o estado termodinâmico inicial é igual ao final. Já os processos irreversíveis, estes sim, vão causar aumento da entropia. Bennett (1982) explica que o processo de captura da informação proposto por Szilard é apenas um dos passos do demônio de Maxwell e pode ser feito de forma reversível. Logo após saber a informação sobre a velocidade da molécula e decidir por deixá-la ou não passar pela porta, o demônio precisa apagar a informação a fim de efetuar outra medição. Ocorre que, de acordo com o princípio de Landauer (LANDAUER, 1991, 2000) em computação, apagar informação é um processo irreversível⁶⁰. Portanto, aí está o aumento de entropia que salva a 2ª lei da termodinâmica do demônio de Maxwell.

Mais de um século se passou entre a criação do experimento pensado de Maxwell até a solução do enigma. Nesse caminho, a Física recorreu à Ciência da Computação, uma Transposição Científica que pode ter alcançado a CI indiretamente, como mostra o Diagrama de Transposição Científica na Figura 20



6.2 Teoria Matemática da Comunicação de Shannon (1948)

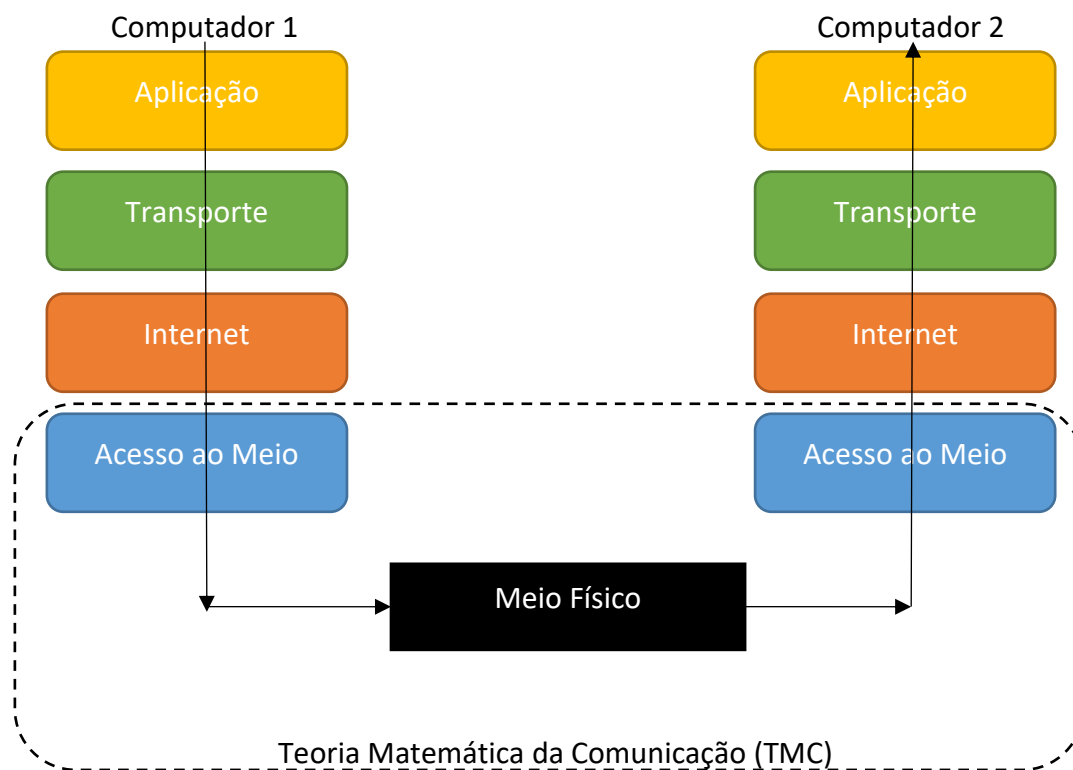
A Teoria Matemática da Comunicação (TMC) foi publicada por Claude Elwood Shannon em 1948 e teve como objetivo resolver problemas da engenharia da comunicação. A TMC

⁶⁰ Landauer mostra que, ao apagar um bit de informação, é dissipada uma energia da ordem de kT .

despertou também interesse de áreas não técnicas, de modo que Warren Weaver publicou em 1964, junto com Shannon, o livro *The Mathematical Theory of Communication* (SHANNON; WEAVER, 1964) no qual a explica sem aprofundamentos matemáticos. Hoje, os dispositivos que fazem uso da comunicação de dados, como por exemplo CD-ROM, DVD, computador e celular, tem de alguma forma, em seu projeto, a Teoria Matemática da Comunicação (TMC) de Shannon.

A Comunicação de Mensagens é um processo amplo e complexo do qual a TMC é aplicada apenas a questões ligadas ao meio físico de transmissão. Por exemplo, a engenharia divide a comunicação entre computadores em rede, em níveis ou camadas, por meio do modelo TCP/IP, mostrado na Figura 21.

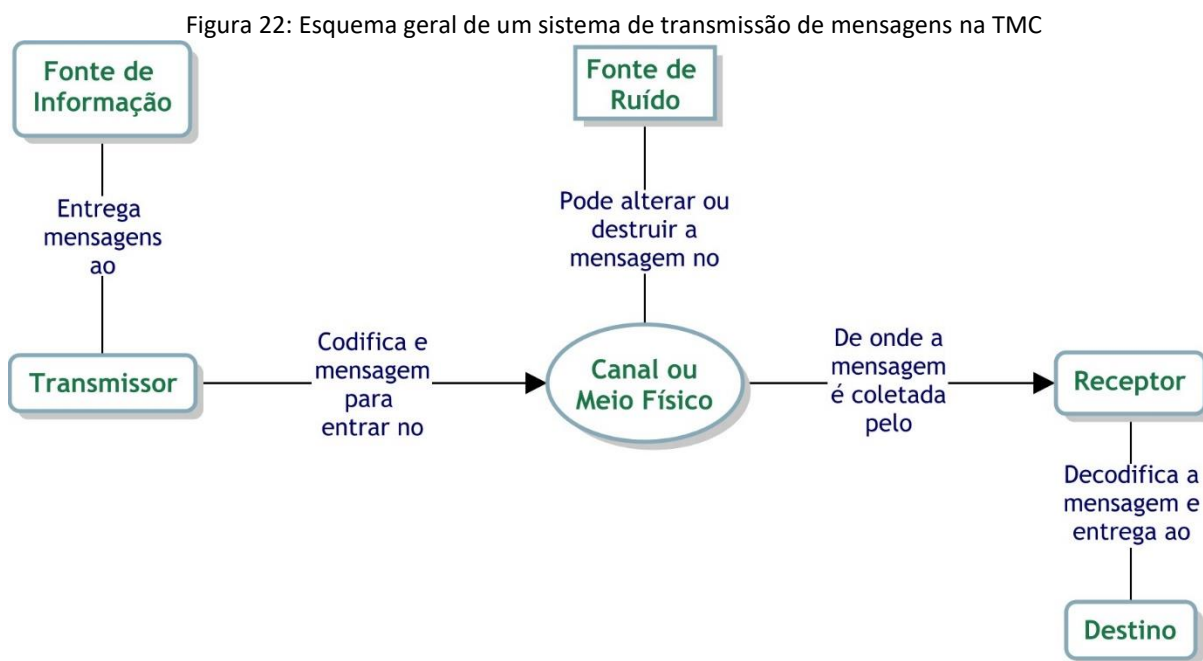
Figura 21: Modelo de camadas TCP/IP da comunicação entre dois computadores



Esta divisão permite que a semântica das mensagens fique restrita à camada de Aplicação; que a camada de transporte fique responsável pela segmentação e multiplexação e a camada Internet cuide do roteamento. A camada de Acesso ao Meio codifica e sinaliza as mensagens para que estes sinais sejam entregues ao meio físico. É somente neste ponto que entra a TMC. A engenharia faz este tipo de divisão em outros tipos de comunicação para garantir que a rede de transmissão irá funcionar, independentemente do conteúdo ou tipo de mensagens. Seja qual for a aplicação, a TMC é geral e independe da semântica das mensagens, que é tratada

por outros elementos da comunicação. Por este motivo, não se deve confundir o conceito de informação no contexto da TMC com o usado no cotidiano, onde a informação pode ser carregada de significado.

De forma simplificada, a TMC descreve o processo de transmissão de mensagens entre uma Fonte de Informação e um Destino, através de um Meio Físico ou Canal (por exemplo: cabo metálico, rede sem fio ou fibra óptica). Para entrar no meio físico, as mensagens devem ser codificadas por um Transmissor e decodificadas pelo Receptor. O meio físico está sujeito a ruídos que podem alterar ou destruir a mensagem. O objetivo principal da TMC é assegurar a integridade das mensagens, durante a comunicação, da maneira mais eficiente possível. O esquema da Figura 22 mostra o modelo de Shannon para comunicação entre a Fonte de Informação e o Destino.



Fonte: Adaptado de (SHANNON; WEAVER, 1964, p.34)

Dos elementos da TMC, o mais importante para CI é a definição matemática de Informação. A informação na TMC é uma grandeza física, geralmente expressa em bits, que mede a liberdade de escolha de símbolos provenientes da Fonte de Informação e que compõem a mensagem a ser transmitida. Quanto maior a liberdade de escolha, maior a quantidade de informação⁶¹. Por exemplo, 1 bit de informação ocorre quando a fonte de informação oferece a liberdade de escolha entre duas mensagens igualmente prováveis. Por

⁶¹ Saber a quantidade de informação a ser transmitida por segundo é fundamental para dimensionar a largura de banda do canal.

que 1 bit? Porque na prática você precisa de apenas um interruptor elétrico (ligado/desligado) para isso. Quando houver 2 interruptores (2 bits), haverá 4 escolhas possíveis. Chamando de “n” o número de escolhas e de “H” o número de bits, temos, matematicamente:

$$n = 2^H \rightarrow H = \log_2(n) \quad (\text{Eq. 9})$$

Portanto, H é a quantidade de informação de uma fonte que oferece n opções de mensagens igualmente prováveis.

Ocorre que, na maioria das vezes, as mensagens não são igualmente prováveis. Por exemplo, se a fonte de informações for a página de um livro e as mensagens forem as palavras, a escolha da palavra seguinte depende da anterior. Com efeito, se for escolhido um artigo é bem mais provável que a próxima palavra seja um substantivo do que um verbo. Este tipo de probabilidade (dependente da anterior e típica de mensagens) leva a uma maneira mais geral de calcular a quantidade de informação (que não será demonstrada aqui). Seja p_1 a probabilidade de escolher a mensagem 1, p_2 de escolher a mensagem 2, e assim por diante. Shannon chegou à conclusão que a quantidade de informação é dada por uma expressão mais geral:

$$H = -[p_1 \cdot \log_2(p_1) + p_2 \cdot \log_2(p_2) + p_3 \cdot \log_2(p_3) + \dots + p_n \cdot \log_2(p_n)]$$

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2(p_i) \quad (\text{Eq. 10})$$

da qual a Eq. 9 é apenas um caso particular. A Eq. 10 é extremamente semelhante à entropia de Gibbs (Eq. 8).

Esta definição de informação apresentada por Shannon (SHANNON; WEAVER, 1964, p.50)⁶² abriu caminho para definição mais geral de entropia, como medida de informação, ou seja, a entidade entropia não seria mais “propriedade particular” da termodinâmica. Nesse aspecto, a entropia, como definida na TMC, aproxima-se da formulação de Gibbs, que é uma generalização da entropia de Boltzmann. Ações interdisciplinares desse tipo permitem o reuso de métodos, técnicas, resultados desenvolvidos durante anos por uma área em outra.

⁶² O conhecimento da Teoria da Informação é recomendável para todo cientista da informação. Um caminho de aprendizado conciso e interativo é oferecido pela Khan Academy por meio da Jornada à Teoria da Informação. Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/computing/computer-science/informationtheory> . Acesso em: 18/nov./2015

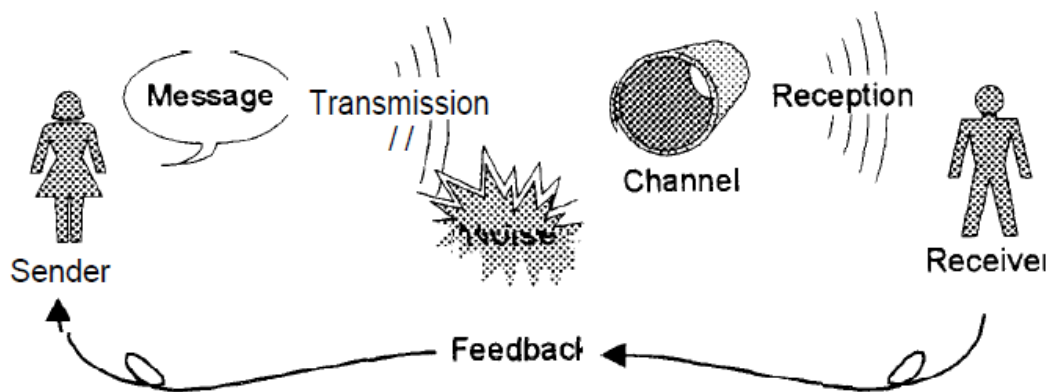
A matemática, instrumento legítimo da Física, ajuda os físicos a fazerem previsões e entender como o mundo material funciona. Será que o mesmo modelo pode ser aplicado às ciências sociais e humanidades? Auguste Comte fundou a Sociologia no século XIX com base na Física Social, que é um exemplo da Transposição Científica da Física para as Ciências Sociais. Entretanto, a abordagem positivista de Comte é criticada por ser reducionista, portanto deve-se levar este fator em conta ao transpor elementos de ciências duras para as sociais e humanas. No campo da Ciência da Informação, Capurro e Hjørland (2007, p.54) alertam para este fato ao criticar as “definições persuasivas” como a de Brookes (1977 apud CAPURRO; HJORLAND, 2007) que relaciona conhecimento e informação por meio de uma equação matemática.

De outro modo, Norbert Wiener, contemporâneo de Shannon, transpõe o conceito de entropia para as ciências sociais no capítulo II do livro *Cibernética e Sociedade* (WIENER, 1954, p. 28-47) de forma não reducionista, fazendo ricas analogias com o demônio de Maxwell, citando as semelhanças entre o homem e a máquina em um texto, no qual, termos, como entropia e energia, fluem pelas ciências sociais e humanas por meio da filosofia. A frase de Wiener (1954, p. 76) "... Cibernética, ou teoria das mensagens.", que está dentro do capítulo "O mecanismo e a História da Linguagem", reforça o que foi dito no cap. I "A Cibertética na História" onde o autor diz que existem várias teorias de mensagens e que a Cibernética seria algo mais amplo. Wiener tinha relação acadêmica com Shannon e Weaver (p. 16) de forma que o conceito de informação no contexto da Cibernética é certamente o da teoria de Shannon, mas a informação fica num segundo plano, é uma mera grandeza física medida em bits a serviço de algo mais fundamental, a Angelética⁶³.

Uma área do conhecimento que faz transposição científica da TMC é a Comunicação Social. A TMC foi interpretada e adaptada, como mostra por exemplo a Figura 23, publicada em um relatório de 1995 da *Office of Technology Assessment* (EUA), onde a comunicação humana é destacada.

⁶³ Angelética como definido por Capurro em <http://www.capurro.de/angeletica.html>. Acesso em: 15/dez./2016.

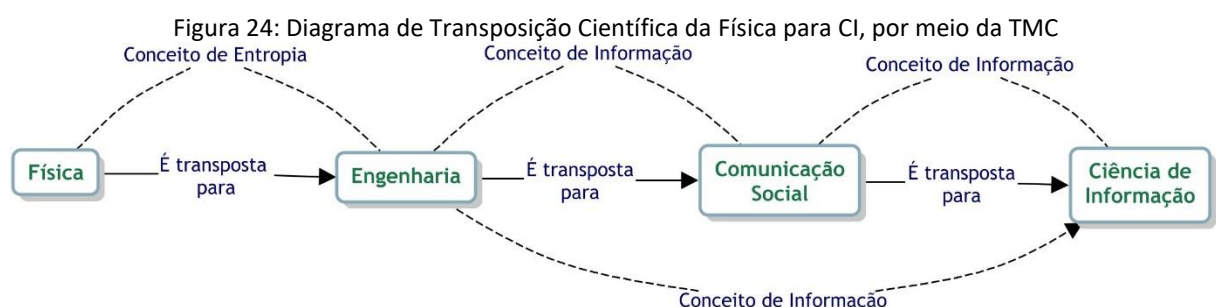
Figura 23: Esquema do modelo da TMC adaptado para a Comunicação Social



Fonte: Office of Technology Assessment (1995, p.77)

Uma transposição científica da TMC para o contexto da Comunicação Social foi feita por Pignatari (2002) nos capítulos 1 e 4. O autor lembra que a relação entre entropia e informação foi feita pela primeira vez por Wiener e que poderia ser aplicada fora da engenharia. Na seção sobre “redundância” exemplifica que a taquigrafia nada mais é do que a aplicação deste conceito da TMC no dia a dia da comunicação humana. Mais à frente, Pignatari (2002, p.65) afirma que “toda e qualquer comunicação nasce de seleções entre alternativas” adaptando a definição de Shannon de Fonte de Informação.

Se a Ciência da Informação utilizar, por exemplo, a definição de informação proveniente da Comunicação Social, haverá uma Transposição Científica dupla ou tripla, como mostra a Figura 24.



6.3 Brillouin e o Conceito de Negentropia (1949)

Erwin Schrödinger, prêmio Nobel (1933) e pioneiro da Mecânica Quântica, escreveu em 1944 o livro “O que é vida?”, traduzido e publicado no Brasil, em 1997. O objetivo do livro é relacionar a Física com a vida, em busca de explicações, semelhanças e diferenças. Uma das diferenças entre o mundo inanimado e os seres vivos é a evolução da entropia. Ao soltar um sistema de coisas a sua própria sorte, este busca um estado de equilíbrio de máxima entropia.

Já os seres vivos, evitam este estado, que significaria a morte, insistindo, de alguma forma, na manutenção ou redução da entropia. É claro que a 2ª Lei da Termodinâmica não deve ser violada, ou seja, de maneira global (sistema + vizinhança), a entropia deve aumentar ao longo do tempo. Então Schrödinger chega à conclusão que os seres vivos absorvem “entropia negativa” com a ingestão e processamento de alimentos (SCHRÖDINGER, 1997, p.82).

A introdução do conceito de entropia negativa foi justificada por Schrödinger para evitar usar o conceito de energia livre de Gibbs, que é mais complexo e poderia causar confusão ao público alvo de seu livro (SCHRÖDINGER, 1997, p.82). O que parecia apenas um recurso didático inspirou Léon Brillouin a usar este conceito, que chamou de neguentropia, em uma série de artigos e um livro que conectam a Física à Teoria Matemática de Comunicação.

Brillouin usou a neguentropia para dar uma explicação física à definição de entropia de Shannon. Ao enfrentar o problema do demônio de Maxwell, mostrou a equivalência entre informação e neguentropia (BRILLOUIN, 1951a) e usou o mesmo conceito em seguida, em outro artigo, onde mostrou que a entropia da Shannon poderia ser derivada da estatística quântica de Fermi-Dirac, a mesma que rege o comportamento, por exemplo, de um conjunto de elétrons (BRILLOUIN, 1951b, p.341).

Esta construção culminou no artigo de 1953, *The Negentropy Principle of Information* (BRILLOUIN, 1953c), onde Brillouin inclui definitivamente a informação (I) como um tipo de entropia que deveria ser subtraída da entropia termodinâmica (S_0) para determinar a entropia total de um sistema (S):

$$S = S_0 - I \quad (\text{eq. 11})$$

Tendo como inspiração a solução de Szilard para o demônio de Maxwell, o artigo associa o ganho de informação ΔI com observações experimentais, colocando como exemplos medições feitas com um microscópio. A eficiência $\mathcal{E}$ de um experimento seria o quanto se obteria de informação com o mínimo de custo entrópico:

$$\mathcal{E} = \Delta I / \Delta S_0 \leq 1 \quad (\text{eq. 12})$$

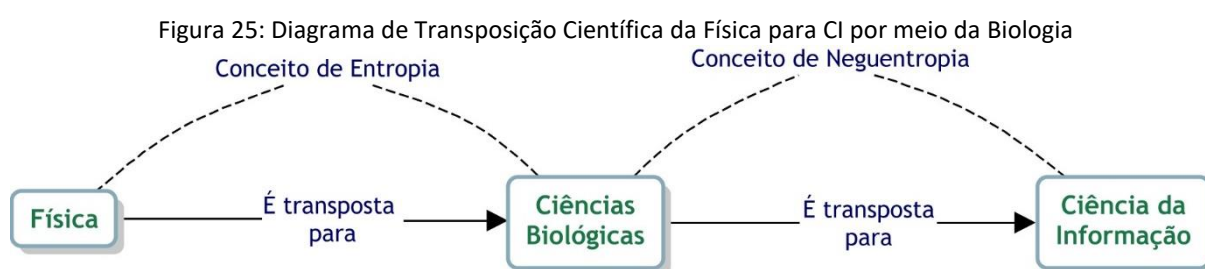
Além disso, estabeleceu um limite mínimo para ΔS_0 .

$$\Delta S_0 (\text{mín}) = k_B \ln 2 \quad (\text{eq. 13})$$

Em 1956, é publicado o livro *Science and Information Theory* de Brillouin, título que sugere a aproximação da Física com a Teoria da Informação. Com efeito, o livro traz os assuntos discutidos nos artigos de forma ampliada e aprofundada.

Nestas comunicações científicas, Brillouin não se limita ao campo teórico, apresenta uma série de possíveis aplicações em engenharia que comprovariam suas ideias.

As ideias de Brillouin podem influenciar o campo da CI, como ocorreu por exemplo no artigo de Dantas (1992), ao explicar a organização dos sistemas, por meio da troca de Informação com sua vizinhança. A ponte entre a Física e a CI foi a biologia, ao afirmar que os sistemas vivos são os melhores exemplos de manutenção da organização por intermédio da troca de neguentropia, ou seja, de informação. Este é um exemplo da ação indireta da Física sobre a CI, dessa vez por meio das ciências biológicas como mostra o diagrama de transposição científica da Figura 25.



6.4 Weizsäcker e a Reconstrução da Mecânica Quântica (1988)

Carl Friedrich von Weizsäcker (1912 – 2007) foi um físico e filósofo alemão com mais de 20 livros publicados, que se dedicou não só à Física Nuclear e Física Quântica, mas também a problemas socioculturais, políticos e religiosos. Uma de suas principais publicações foi o livro *Aufbau der Physik* (1985) que foi posteriormente editado, traduzido e ampliado por Thomas Görnitz e Holger Lyre dando origem em 2006 ao livro *The Structure of Physics*. Weizsäcker cita no livro (WEIZSÄCKER; GÖRNITZ; LYRE, 2006, p. xiii) que seus principais pilares referenciais foram Albert Einstein, Niels Bohr, Werner Heisenberg. Einstein pela sua genialidade, Bohr por ter revelado a ele a filosofia da Física e Heisenberg por tê-lo iniciado em Física aos 15 anos e liderado-o posteriormente no polêmico projeto nuclear alemão na época da 2ª guerra. Além de ter produtividade científica nas áreas de Mecânica Quântica e Física Nuclear, suas pesquisas na filosofia e ética influenciam a Ciência da Informação por meio de Rafael Capurro. Com efeito, a busca “Weizsäcker autor:capurro” feita no Google Acadêmico leva a 26 resultados, dentre estes, alguns que destacam-se pelo número de citações em publicações nacionais, como demonstrado por Pinheiro (2016), são: “O conceito de informação” (CAPURRO; HJORLAND, 2007, p.164), “On the Genealogy of Information” (CAPURRO, 1996), “Pasado, presente y futuro de la noción de información” (CAPURRO, 2014, p.113), “Is a unified

theory of information feasible? A triologue.” (CAPURRO; FLEISSNER; HOFKIRCHNER, 1997). Capurro cita Weizsäcker em sua interpretação do conceito de informação relacionando-o com o de linguagem, considerando esta pré-requisito para o pensamento científico.

De acordo com Lyre (WEIZSÄCKER; GÖRNITZ; LYRE, 2006, p.xi) “a principal preocupação de Weizsäcker foi um entendimento da Unidade da Física”, o que deu origem à sua teoria quântica dos binários alternativos (*ur-alternatives*), também chamada de *ur theory*. Trata-se de uma reconstrução completa da teoria quântica a partir de entidades elementares binárias de informação, antevendo o que seria chamado posteriormente de *qubits*.

A teoria dos *ur alternatives* ou dos *ur objects* é a reformulação da Mecânica Quântica, com o intuito de criar uma Teoria Unificada da Física. Nesta, conceitos importantes da Física, como tempo, espaço, matéria, energia e entropia aparecem diretamente conectados à informação, que seria a “substância fundamental” (LYRE, 1995).

Informação e conhecimento humano fazem parte da filosofia da teoria dos *ur objects*, como descrito por Kober:

A teoria quântica da *ur objects* postula que todos os objetos físicos existentes e suas propriedades são construídos a partir de objetos fundamentais chamados *ur objects*, sendo descritos por um elemento do espaço bidimensional complexo de Hilbert⁶⁴. Esta abordagem é baseada no pressuposto de que a teoria quântica representa uma teoria constitutiva para o conhecimento humano. Objetos físicos são caracterizados pela informação que se pode obter a partir deles, informação contida nos estados quânticos que descrevem o objeto. (KOBBER, 2009, p.1)

Lyre (1995) afirma que a teoria de Weizsäcker deve ser “interpretada como uma Teoria Quântica da Informação”, onde os *ur objects* (*urs*), unidades mais simples dessa teoria, seriam os “átomos da informação”, elementos mais fundamentais do que os bem conhecidos átomos de matéria. O conceito de espaço, fundamento da mecânica quântica “tradicional”, é reconstruído matematicamente e passa a ser uma representação da informação.

A título de exemplo, um dos resultados da teoria de Weizsäcker assume que a matéria é composta por *ur objects* e Lyre calcula a quantidade de *urs* contidas em alguns objetos, como mostra a Quadro 6.

⁶⁴ Por pertencerem ao espaço bidimensional de Hilbert (espaço aqui sendo uma abstração matemática, não o espaço físico), os *ur objects* são binários, ou seja, podem assumir dois valores (sim e não) e podem fazer parte do campo de estudo da Física Digital e interpretados como “bits” de informação.

Quadro 6: Quantidade de urs em objetos materiais⁶⁵

Objeto	Quantidade de urs
Próton	10^{40}
Elétron	10^{38}
Universo	10^{120}

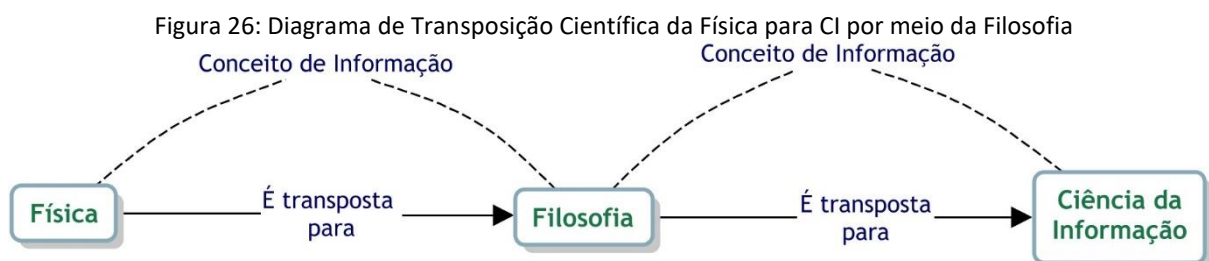
Fonte: Lyre (1995)

A primeira constatação prática da teoria foi o cálculo correto do número de núcleons⁶⁶ no universo, um total de 10^{80} . Os enormes números, os testes com elementos tão pequenos como elétrons e tão grandes quanto o universo indicam a ideia de unificação da mecânica quântica com a teoria da relatividade.

A forte ligação da teoria dos *ur objects* com a informação traz conexões com o conceito de entropia. Para Shannon e Weaver (1964), a informação pode ser representada pela entropia. Weizsäcker afirma isso na ordem inversa, ou seja, que a entropia pode ser entendida como “informação em potencial”. Para exemplificar esse raciocínio, Gornitz (1986) demonstrou que o máximo de informação perdida por um próton que tivesse a infelicidade de cair em um buraco negro é exatamente igual ao valor informacional dele em urs (Quadro 6).

A teoria dos *ur objects* é uma teoria quântica da informação que tem alicerces filosóficos e consistência matemática. Utilizando uma abordagem teórico-informacional, a teoria mostrou que é possível uma unificação diferente e que não somente explica o mundo físico onde vivemos, mas também sua origem e evolução.

A contribuição de Weizsäcker para os estudos sobre informação leva a mais uma possível disciplina intermediária entre Física e CI: a Filosofia, como mostra o diagrama de transposição científica na Figura 26.



⁶⁵ De acordo com esses números, o total de informação que o universo tem é 10^{120} bits. Essa é a base de uma das limitações da teoria do *it from bit*, como comentado no final dessa seção.

⁶⁶ Núcleons são partículas que constituem os núcleos atômicos, como prótons e nêutrons.

6.5 Stonier e a Equivalência entre Informação, Energia e Matéria (1991)

Tom Stonier (1927 – 1999) foi biólogo, filósofo, educador e pacifista que atuou também cientificamente na área da Ciência da Informação. Ele foi membro da lista de discussão FIS, analisada nesta tese.

No artigo *“Towards a new theory of information”*, Stonier (1991) coloca a necessidade da adaptação da Ciência da Informação ao recente desenvolvimento da Teoria da Informação na sociedade da informação. Para Stonier, a definição do que é informação bem como uma forma de medi-la, é fundamental para essa adaptação e, para isto, recorre às ferramentas da Física. Segundo ele, o conceito de informação sempre esteve contido em sistemas físicos, mas de forma implícita. Da mesma forma que o conceito de energia foi revelado diante do advento das máquinas térmicas, na sociedade da informação, a grandeza física Informação, também deve ser definida. Stonier propõe que a Informação é uma entidade física do mesmo nível que matéria e energia. Apesar da profundidade, o artigo é leve e de fácil leitura, pois o rigor teórico e demonstrações foram referenciados ao livro do mesmo autor no qual demonstra a relação entre entropia (S), a informação contida em um sistema (I) e a informação (I_o) contida no sistema quando $S = 0$ (STONIER, 1990, p.33-41):

$$S = k_B \cdot \ln \left(\frac{I_o}{I} \right) \quad (\text{eq. 14})$$

Por meio desta equação, o autor demonstra que a variação de entropia de 1 J/K corresponde a aproximadamente 10^{23} bits de informação. A relação entre informação e entropia de Stonier se diferencia da desenvolvida na teoria da comunicação de Shannon por levar em conta agora também o caráter semântico da informação⁶⁷.

Stonier faz uma analogia com os dois tipos de energia (potencial e cinética) e propõe para a informação uma classificação em duas grandes categorias: estrutural e cinética. A informação estrutural é aquela contida em um sistema e a cinética é a informação que “está sendo transmitida, processada ou transformada”.

Fazendo uso de exemplos nas áreas da Física, Biologia e CI, Stonier adota ainda em seu artigo as relações entre informação, significado e inteligência.

Nos livros e artigos de Stonier, há interdisciplinaridade entre Física e Ciência da Informação. Com efeito, as questões epistemológicas levantadas por ele são na área da CI e

⁶⁷ A teoria de Shannon é útil para discutir aspectos sintáticos da informação.

publicados em periódicos dedicados à CI e suas justificativas utilizam linguagem e métodos que mergulham na Física com a mesma intensidade de artigos comunicados na área da Física.

6.6 Wheeler – It From Bit (1992)

John Archibald Wheeler (1911 – 2008) foi físico teórico, trabalhou em várias subáreas da Física e influenciou pesquisadores com a relação que estabeleceu entre Mecânica Quântica e Teoria da Informação.

Em junho 1989 ocorreu, no *Santa Fe Institute*, um *Workshop* sobre Complexidade, Entropia e Física da Informação onde Wheeler apresentou a ideia do “*it from bit*”, documentada nos anais do encontro (WHEELER, 1990)⁶⁸. O artigo, que trata da “busca dos *links*” entre Informação, Física e Mecânica Quântica, tem 175 de referências (11 das 25 páginas), acima da média do número de citações de seus artigos que é 27⁶⁹. Isso se explica, talvez, pela preocupação de Wheeler com a fundamentação sólida de suas ideias inovadoras.

Wheeler cita Bohr e afirma que o advento da física quântica demanda uma nova visão da realidade. A hipótese defendida por ele é que todas as coisas (*it*) sejam estas partículas, campos de força, o espaço-tempo e sua continuidade, têm suas funções, significados e até mesmo suas existências, derivados de respostas a perguntas com duas respostas possíveis (*bits*). Esse é o significado de *it from bit*.

Para Wheeler, a informação, em particular a binária, é o elemento fundamental do universo. Todas outras entidades físicas como matéria, energia, espaço, tempo, seriam criações da racionalidade humana e poderiam ser dela derivadas. As questões filosóficas, levantadas por Wheeler, utilizam a Física para tentar responde-las e suas hipóteses e conclusões elevam a Informação a elemento primordial e até mesmo unificador do conceito que chamamos Realidade.

Floridi (2010), autor muito citado na área da CI, comenta que a Física da informação é consistente com dois slogans. O primeiro, dito pelo pai da Cibernética Norbert Wiener, “informação é a informação, não matéria ou energia. Nenhum materialismo que não admitir isso pode sobreviver nos dias de hoje”; e o segundo dito por Wheeler, “a natureza última da realidade física, o ‘it’, é informativo, vem do ‘bit’”. Em ambos os casos, a Física acaba

⁶⁸ Wheeler registrou esse artigo, obtendo os *copyrights* sobre este.

⁶⁹ Foi contado o número de referências nos 11 artigos de Wheeler mais citados.

endossando uma descrição baseada na informação da natureza. O universo é fundamentalmente composto por dados, entendido como *dedomena*⁷⁰, padrões ou campos de diferenças, em vez de matéria ou energia, sendo objetos materiais uma manifestação secundária complexa”.

As ideias de Wheeler são sedutoras, uma espécie de metafísica informacional, mas apresentam limitações. Se tudo é informação, o universo deveria ser um gigantesco computador digital que deveria armazenar e processar uma quantidade enorme de informação. Este imenso trabalho computacional demandaria, desde o *Big Bang* até hoje, recursos que teoricamente o universo que conhecemos não dispõe (FLORIDI, 2010).

6.7 Informação e Computação Quântica

O interesse dos físicos, pelo objeto de estudo Informação, aumentou significativamente, a partir da década de 1990, devido a alguns fatores destacados por Nielsen e Chuang (2010), como o incômodo com a enorme abstração necessária para entender os fenômenos na escala quântica, que pode ser minimizado pela computação quântica. Eles afirmam que “um dos objetivos da computação quântica e informação quântica é desenvolver ferramentas que aguçam a nossa intuição sobre a mecânica quântica, e fazer suas previsões mais transparentes para as mentes humanas” (NIELSEN; CHUANG, 2010, p.2)

Além disto, a partir da década de 1970, pode-se obter experimentalmente o controle completo de sistemas quânticos simples, como por exemplo, técnicas para aprisionar um único átomo, o que é especialmente importante para fabricação de computadores quânticos, pois isto viabiliza o controle dos *qubits*. Em 1982, foi descoberto o *no-cloning theorem*, que mostra ser impossível construir a cópia de um estado quântico, o que possibilitou a compreensão de aspectos do emaranhamento quântico importantes para computação quântica. Em 1994 foi descoberto o algoritmo do Shor, que permite ao computador quântico fazer cálculos de fatoração, de forma extremamente mais rápida do que em computadores clássicos, com o uso do emaranhamento quântico. No mesmo ano foi demonstrado experimentalmente uma técnica que torna praticamente inquebrável a troca de chaves criptográficas através de uma fibra óptica de 4 km. Estes fatos fizeram com que, na virada do

⁷⁰ Matéria bruta para produzir informação.

século XX para XXI, nascessem as áreas de computação quântica e da teoria da informação quântica.

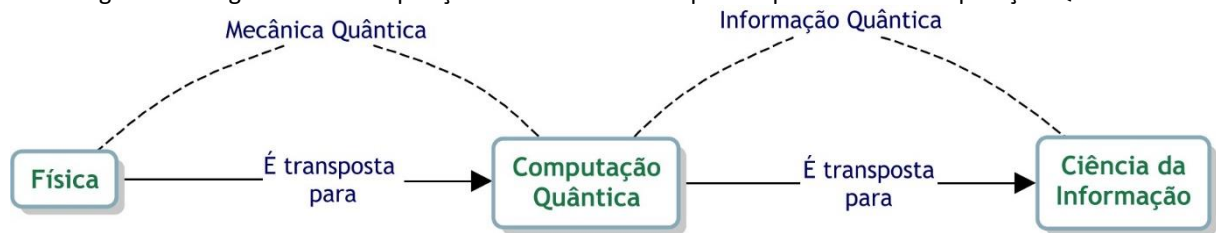
Lloyd (2006), um dos pioneiros da computação quântica, enumera boas razões para se construir computadores quânticos. A primeira é que é possível, ou seja, a tecnologia hoje nos permite a construção de máquinas que operam ao nível do *qubit*. A segunda é que precisamos transpassar a barreira imposta pelos limites da miniaturização. A potência dos computadores clássicos tem dobrado a cada 18 meses desde a década de 1960, principalmente pelo fato dos engenheiros descobrirem como diminuir à metade o tamanho dos fios e portas lógicas em chips processadores de computadores neste mesmo intervalo de tempo. Ocorre que há um limite para isto: o tamanho do átomo, que, neste ritmo, seria alcançado por volta do ano de 2040. Os computadores quânticos, que manipulam estruturas na escala atômica, serão aqueles que naturalmente darão continuidade a este crescimento exponencial. A terceira razão é a que talvez mais fascine os físicos. Os computadores quânticos permitem “entender a maneira como o universo registra e processa informação” (LLOYD, 2006).

Um dos documentos históricos da computação quântica é a transcrição da palestra *Simulating Physics with Computers*, na qual Feynman (1982, p. 467), prêmio Nobel em Física, questiona “que tipo de computador deveríamos usar para simular a Física?”. Mais especificamente: como simular o Tempo sem simplesmente ‘imitá-lo’? Como simular a Probabilidade, já que esta envolve tantas variáveis impossíveis de serem tratadas por computadores clássicos? A solução que Feynman propõe é o Computador Quântico, que seria um Simulador Quântico Universal. Ao invés de imitar o universo quântico usando suas leis em computadores clássicos, por que não computar diretamente a realidade usando *qubits*, que já são entidades quânticas que obedecem naturalmente essas leis? Tratar-se-ia de uma simulação sem imposição.

O poder da computação quântica é evidenciado por quatro principais aplicações: 1) resolução de problemas de fatoração usando o algoritmo de Shor, com consequências diretas no principal algoritmo de criptografia utilizado hoje; 2) a transmissão segura de chaves criptográficas; 3) recuperação da informação mais rápida e eficiente; 4) simulação de sistemas quânticos. Dowling e Milburn (2003) acreditam que estamos vivendo a 2ª revolução quântica, na qual os humanos não são mais “espectadores passivos do mundo quântico”, mas podem agora interagir diretamente com entidades quânticas tão pequenas quanto um grupo de átomos. Participam desta revolução um conjunto multidisciplinar de cientistas e engenheiros

na qual a Física atinge a Ciência da Informação de forma indireta, como mostra o diagrama de transposição científica da Figura 27.

Figura 27: Diagrama de Transposição Científica da Física para CI por meio da Computação Quântica

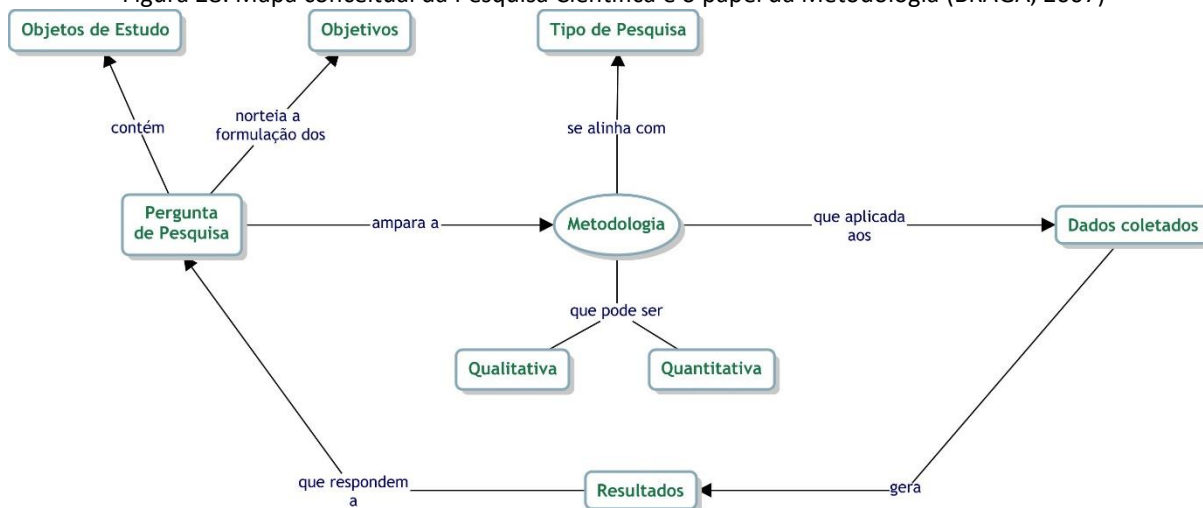


Finalizamos aqui a parte de fundamentação teórica da tese. Vamos discutir nos próximos capítulos as medições efetuadas, bem como apresentar seus resultados.

7 METODOLOGIA

De acordo com Braga (2007), a Metodologia é o elo que liga a Pergunta de Pesquisa aos Resultados da pesquisa científica, conforme mostrado na Figura 28.

Figura 28: Mapa conceitual da Pesquisa Científica e o papel da Metodologia (BRAGA, 2007)



A Pergunta de Pesquisa, que contém os Objetos de Estudo, norteia a formulação dos Objetivos. A Metodologia (quantitativa, qualitativa ou ambas) é alinhada com o Tipo de Pesquisa, que pode por exemplo, ser exploratória ou descritiva. A Metodologia aplicada aos Dados Coletados de uma Fonte, geram resultados que responderão à Pergunta de Pesquisa e que podem ser confrontados com as Hipóteses.

Em particular, na Ciência da Informação, não existem métodos de pesquisa preferenciais ou exclusivos (MUELLER, 2007), pois a CI é uma ciência social que pode ser aplicada em contextos diversos. A presente pesquisa associa metodologias quantitativas, principalmente bibliométricas, com estudos qualitativos, como análise de conteúdo em comunicações científicas formais e não formais.

7.1 Fases da pesquisa e fontes de dados

Inicialmente foi realizada uma pesquisa exploratória, a fim de identificar a interdisciplinaridade entre Física e Ciência da informação. Foram utilizados nesta fase métodos bibliométricos de Análise Descritiva (ANDRÉS, 2009), cujos elementos de estudo foram autores, artigos e palavras-chave e a interdisciplinaridade foi identificada por meio da co-ocorrência de elementos de duas áreas ou disciplinas diferentes em um mesmo estudo ou contexto. Os resultados confirmaram que a Física está presente na CI, desde sua fundação até

hoje. Nesta etapa as fontes de dados empíricos foram sites específicos, artigos científicos selecionados e recuperados das bases de dados Scopus e Web of Science.

Na fase seguinte, foi analisada a lista de discussão *Foundations of Information Science* (FIS) por meio de: (1) análise de conteúdo das mensagens da lista desde sua criação em 1997 até o ano de 2016; (2) questionário aplicado aos membros da lista e (3) entrevistas com três membros da lista e dois físicos brasileiros, um deles também cientista da informação.

Da análise de conteúdo das mensagens da lista FIS, foram selecionadas as palavras-chave mais relevantes que foram aplicadas às bases de dados *Web of Science* e *Scopus* para testar o método da Transposição Científica definida no Capítulo 5.

Na segunda fase, a fonte de dados empírica foi a Lista de Discussão FIS⁷¹. A iniciativa FIS, que surgiu antes da lista de discussão, tem o intuito de “resgatar o conceito de informação de suas controvérsias clássicas e usá-lo como uma ferramenta científica central” e o objetivo da lista de discussão é manter acesa esta chama. Este projeto de longo prazo, que começou em 1992, tem culminado em uma série de conferências (Madrid 1994, Vienna 1996, Paris 2005, Beijing 2010, Moscow 2013 e Vienna 2015) com registros disponibilizados em meio eletrônico vinculados à *International Society for Information Studies* (IS4SI)⁷².

O *board* da iniciativa FIS é composto por um grupo multidisciplinar de 18 membros de quem as biografias estão disponíveis em <http://fis.sciforum.net/fis-board/> e a lista de discussão FIS tem, em 22/jan./2017, 353 membros⁷³.

A lista de discussão FIS tem regras gerais de postagem e é receptiva a novos membros. Em 10/dez./2014 o autor da atual pesquisa entrou como membro da lista. Desde então, tem acompanhado as discussões, tendo sido convidado pelo moderador da lista para ser coautor de um dos tópicos de discussão, que foi publicado em 15/mai./2015. Esta experiência proporcionou o estreitamento de relações com o moderador da lista, que foi informado que a lista FIS seria um dos objetos de pesquisa da atual tese.

⁷¹ Disponível em: <http://fis.sciforum.net/fis-mailing-list/>. Acesso em: 28/jan./2017.

⁷² Disponível em: <http://www.is4si.org/>. Acesso em: 6/dez./2015.

⁷³ O número de membros bem como seus endereços de e-mail estão disponíveis em <http://listas.unizar.es/cgi-bin/mailman/roster/fis> visível apenas para membros da lista. Acesso em: 22/jan./2017.

7.2 Ferramentas utilizadas para coleta de dados

A seguir apresentamos, de forma geral, as ferramentas utilizadas na Metodologia. Os usos específicos destas serão descritos nos Procedimentos metodológicos e Resultados (Capítulo 8).

7.2.1 HTTrack

O HTTrack⁷⁴ é um software para armazenar, localmente no computador, as páginas de um site. Este deve ser instalado na plataforma Windows.

Ao abrir o programa é iniciado um assistente onde pode-se escolher iniciar um novo projeto ou continuar um existente. Na tela seguinte é solicitado o endereço do site a baixar e algumas opções, entre as quais a “profundidade máxima”, que foi configurada de acordo com o número de sub-páginas desejado. Após mais uma tela de assistente, a recuperação do site é iniciada.

Quando o processo é finalizado, as páginas do site podem ser acessadas off-line, possibilitando a utilização de ferramentas locais, como busca do Windows e Notepad++, que poderão, por exemplo, localizar e contar palavras.

7.2.2 Hermetic Word Frequency Counter Advanced (WFCA)

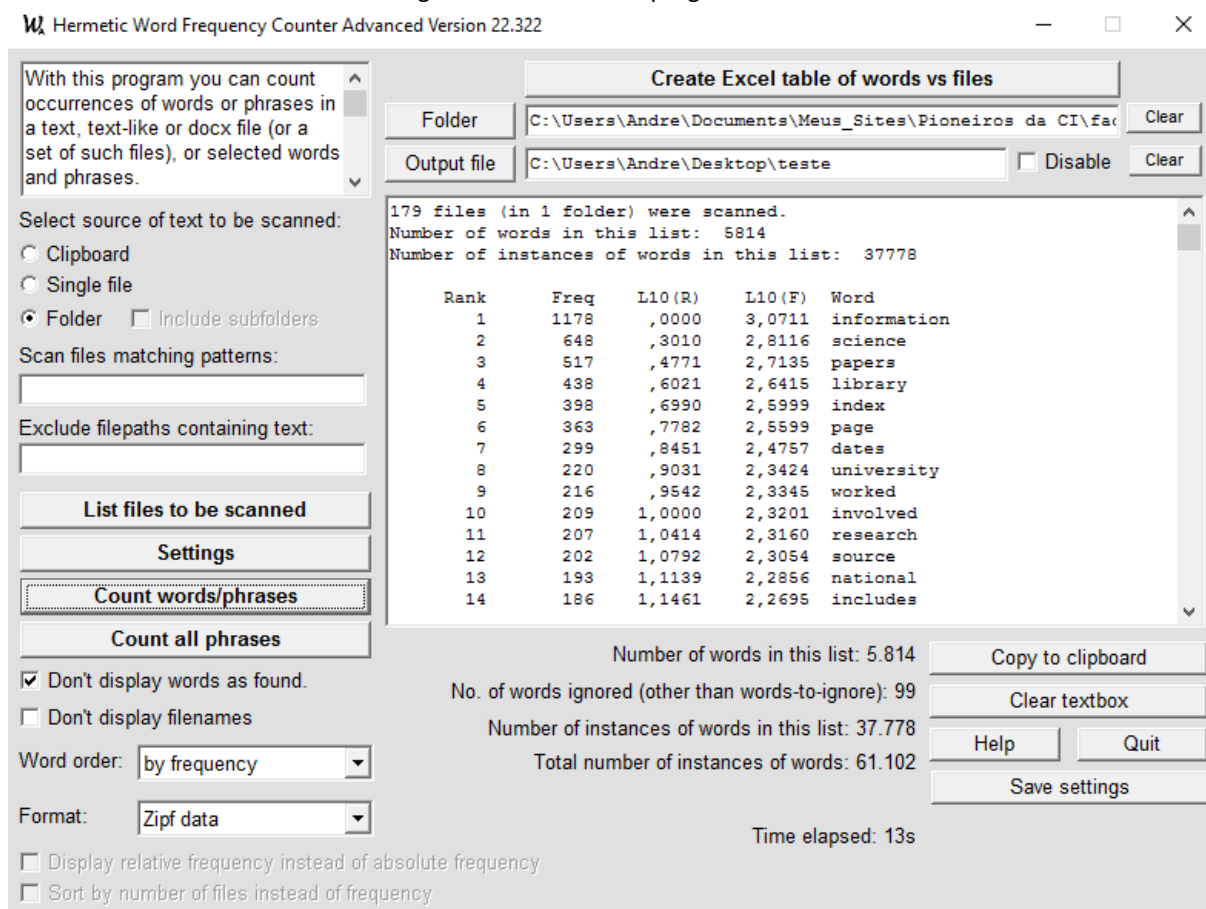
O WFCA⁷⁵ é um software que conta a ocorrência de palavras e/ou frases em um ou mais documentos de texto. O WFCA é pago e deve ser instalado na plataforma Windows.

A interface do programa é mostrada na Figura 29. Uma vez definida a fonte de dados, que pode ser um arquivo, pasta ou área de transferência, basta clicar “*Count word/phrases*” ou “*Count all phrases*” para iniciar a contagem. Os resultados são exibidos na tela central e podem ser salvos em um arquivo especificado em “*Output File*”. O programa usa uma lista de palavras a serem ignoradas que pode ser customizada. Esta e outras opções podem ser configuradas em “*Settings*”.

⁷⁴ Disponível em: <https://www.httrack.com/>. Acesso em: 12/jan./2017

⁷⁵ Disponível em: <http://www.hermetic.ch/wfca/wfca.htm>. Acesso em: 12/jan./2017

Figura 29: Interface do programa WFCa



7.2.3 Bases de dados Scopus e Web of Science

O Portal de Periódicos Capes/MEC garante, aos pesquisadores e estudantes brasileiros, acesso a diversas bases de dados científicas. Esta pesquisa utilizou as bases Scopus e Web of Science por serem as mais utilizadas em pesquisas que medem interdisciplinaridade (NISENBAUM; PINHEIRO, 2016).

Em ambas as bases, pode ser utilizada a linha de comando (busca avançada) para pesquisar documentos, recurso utilizado na atual tese para maior personalização das buscas e para documentação. A estrutura geral da busca avançada envolve Códigos de Campo e Operadores booleanos. Por exemplo, a busca pela frase *"information science"* nos títulos dos artigos em periódicos cujo título contém a palavra que começa com *"physic"* fica:

Scopus: TITLE ("information science") AND SRCTITLE (physic*)

Web of Science: TI=("information science") AND SO=(physic*)

A busca avançada é facilitada pela lista de operadores e códigos de campo exibidos na página de busca, como mostra a Figura 30.

Figura 30: Operadores booleanos e Códigos de Campo das bases de dados Scopus e Web of Science

Scopus		Web of Science	
Operators	Field codes ⓘ	Booleanos: AND, OR, NOT, SAME, NEAR Rótulos do campo:	
AND	SEQNUMBER	TS= Tópico	SA= Endereço da Rua
OR	SRCTITLE	TI= Título	CI= Cidade
AND NOT	SRCTYPE	AU= Autor [Índice]	PS= Província/Estado
PRE/	SUBJAREA	AI= Identificadores de autor	CU= País
W/	TITLE	GP= Autor grupo [Índice]	ZP= CEP/Código postal
	TITLE-ABS	ED= Editor	FO= Agência financiadora
		SQ= Nome da publicação [Índice]	FG= Número do subsídio
		DO= DOI	FT= Texto sobre financiamento
		PY= Ano de publicação	SU= Área de pesquisa
		CF= Conferência	WC= Categoria Web of Science
		AD= Endereço	IS= ISSN/ISBN
		OG= Organização - Consolidada [Índice]	UT= Número de acesso
		OO= Organização	PMID= ID PubMed
		SG= Suborganização	

Fonte: Páginas de busca avançada do Scopus e Web of Science. Acesso em: 13/jan./2017

As bases de dados Scopus e Web of Science têm ferramentas de análise que são acessadas a partir da página de resultados por meio dos links “*Analyze search results*” e “Analisar resultados”, respectivamente. Com estas é possível extrair dos resultados, listagens, como por exemplo, de autores, países e afiliação, ordenados por frequência. Estas listagens podem ser exportadas para outros programas como Excel e softwares bibliométricos.

Caso sejam necessários mais detalhes dos resultados da busca, é possível baixá-los por meio da ferramenta “Export” no Scopus e “Salvar em” no Web of Science. Para estudos de citação, co-citação ou mapas da ciência é utilizado o formato “texto”. No caso do Scopus há uma limitação de 2.000 documentos para informações completas e 20.000 para informações apenas sobre citações. Já o Web of Science permite download de 500 em 500 registros ou um formulário de solicitação de todos os registros. Esta diferença contribui para que o Web of Science seja a base preferida de quem trabalha com muitos registros.

7.3 Entrevistas individuais

A presença de físicos e outros cientistas naturais na Ciência da Informação é um dos sinais de interdisciplinaridade percebidos desde o início da atual pesquisa por meio da análise dos pioneiros da CI nos EUA. A fim de compreender de forma mais detalhada as “crenças, atitudes, valores e motivações” (BAUER; GASKELL, 2012, p. 65) destes pesquisadores, foram realizadas entrevistas com cientistas que têm a Informação como objeto de estudo. Os resultados serviram também como subsídio para elaboração das perguntas do questionário aplicado posteriormente aos membros da lista FIS, bem como para avaliação qualitativa das respostas.

As entrevistas foram semiestruturadas e tiveram como tópico guia os seguintes questionamentos:

- 1) Por favor, conte sobre você. Formação acadêmica, nome da instituição onde trabalha e áreas de pesquisa.
- 2) Como você se interessou pelo objeto de estudo “Informação”?
- 3) Como você define “Informação”?
- 4) Nós vamos aplicar um questionário aos membros da lista de discussão FIS. Você teria alguma sugestão?

De acordo com Bauer e Gaskell (2012, p.67), o tópico guia serve de apoio ao entrevistador, mas deve ser usado com flexibilidade. Desta forma, foram estudadas com antecedência as publicações dos entrevistados para interagir de forma contextualizada e formular perguntas específicas para cada um deles.

Foram selecionados para entrevista três membros estrangeiros da lista FIS (um filósofo, um físico e um engenheiro) e dois físicos brasileiros que pesquisam “Informação”, a fim de explorar diferentes pontos de vista de cientistas que vivenciam ambientes interdisciplinares entre Física e Ciência da Informação.

As entrevistas foram realizadas nos meses de junho e julho de 2016, de forma presencial com os físicos brasileiros e via Skype, em inglês e espanhol, com os cientistas estrangeiros. Com o consentimento dos entrevistados, foi utilizada uma câmera de vídeo para gravar as entrevistas presenciais e o software Evaer⁷⁶ para gravar as conversas via Skype. Os resultados são apresentados de forma anônima⁷⁷. Apesar de gravadas, as entrevistas não foram transcritas por não servirem como fonte de dados, mas sim de apoio para as outras fases da atual pesquisa.

7.4 Questionário para os membros da lista FIS

De acordo com Babbie (2003, p. 95), os objetivos do uso de questionários em pesquisa podem ser categorizados em três grupos: Descrição, Explicação e Exploração. Na presente pesquisa, o caráter descritivo é contemplado pela primeira parte do questionário, que visa coletar dados sobre os pesquisadores, tais como idade, gênero e país de origem. Também a

⁷⁶ O software Evaer é proprietário e pode ser adquirido no site <http://evaer.com/>. Acesso em: 16/jan./2017.

⁷⁷ De acordo com a Resolução no. 510 de 07 de abril de 2016, publicada no Diário Oficial de União no. 98 de 24 de maio de 2016, seção 1, páginas 44, 45 e 46, este tipo de entrevista não necessita de registro nem avaliação do comitê de ética.

segunda parte infere sobre o tipo de participação do cientista na lista FIS. O caráter explicativo não foi contemplado por este questionário. Como a tese tem caráter exploratório, o conceito de informação foi investigado por meio de questões abertas.

O questionário foi aplicado de forma eletrônica por meio do *software Limesurvey*⁷⁸, disponibilizado no endereço <http://www.moisesandre.com.br/survey/>. Este *software* foi escolhido por ter maior flexibilidade do que outros gratuitos (como o Google Formulários) e por ser de baixo custo quando comparado, por exemplo, com o *Survey Monkey*. Foram utilizadas as seguintes funcionalidades do *Limesurvey*: questões discursivas, de múltipla escolha e simples escolha; agrupamento de questões; possibilidade de o usuário salvar suas respostas para continuar respondendo mais tarde; *upload* de documentos; exportar para Excel.

No início de julho de 2016 foi publicado um questionário piloto, o qual, colegas e professores, foram convidados a responder durante uma semana. O objetivo deste piloto foi avaliar o tempo de resposta e colher feedback antes de aplicar o questionário aos membros da lista FIS. Em 23/jul./2016 os membros da lista FIS foram convidados a participar do questionário por meio de duas mensagens enviadas para a lista, uma primeira do moderador da lista e, depois, uma de nossa autoria.

O questionário foi composto por perguntas em inglês organizadas nas seguintes seções:

- 1) “*Consent to Participate in a Research Study*”, contendo uma única pergunta sobre a concordância em participar da pesquisa.
- 2) “*Personal Data*”, com perguntas pessoais como sexo e idade.
- 3) “*Academic and Professional information*”, com questões a respeito da formação e atuação acadêmica.
- 4) “*About Foundations of Information Science (FIS) mailing list*”, contendo perguntas específicas sobre a lista de discussão.

As perguntas do questionário estão disponíveis no Apêndice A.

⁷⁸ O *Limesurvey* é *Open Source*. Pode ser baixado gratuitamente em <https://www.limesurvey.org/> Acesso em: 16/jan./2017. O *Limesurvey* deve ser instalado em um servidor Web e usa base de dados MySQL. Nesta pesquisa foi contratado o aluguel de um servidor Linux compartilhado.

7.5 Transposição científica para identificar e medir interdisciplinaridade

Para atacar seus problemas, uma disciplina desenvolve métodos e terminologias próprias que a identificam em documentos científicos. Por exemplo, “energia”, “átomo” e “quântico” são termos identificadores da disciplina Física e a “Lei de Bradford” identifica um método da Ciência da Informação. Entretanto, estes termos e métodos não são de uso restrito de uma disciplina, podem ser transpostos de uma área à outra. Esta mobilidade, que nesta tese denominamos Transposição Científica (TC), pode ser indicativa de interdisciplinaridade, já que o processo integrativo das disciplinas pode se dar pela integração mútua de terminologias e métodos, dentre outros fatores (JAPIASSU, 1976, p.71). O conceito de Transposição Científica (TC) foi aprofundado no Capítulo 5, onde os termos e métodos transpostos são chamados de Índícios de Transposição Científica (ITC).

O método da Transposição Científica para identificar Interdisciplinaridade entre as disciplinas A e B consiste, de forma geral, em duas etapas:

- Etapa 1: selecionar termos e métodos (ITC) na disciplina A.
- Etapa 2: buscar estes termos e métodos (ITC) na disciplina B.

De forma geral, a Etapa 1 deve ter duas fases, uma quantitativa, quando todos os termos e métodos são identificados e uma qualitativa na qual o pesquisador seleciona os termos relevantes⁷⁹ que são dedicados à disciplina A.

A Intensidade Absoluta da Interdisciplinaridade entre A e B é definida pelo número de ocorrências de ITC de A encontrados em B:

$$INTER(A \rightarrow B) = \#ITC(A \rightarrow B) \quad (\text{eq. 15})$$

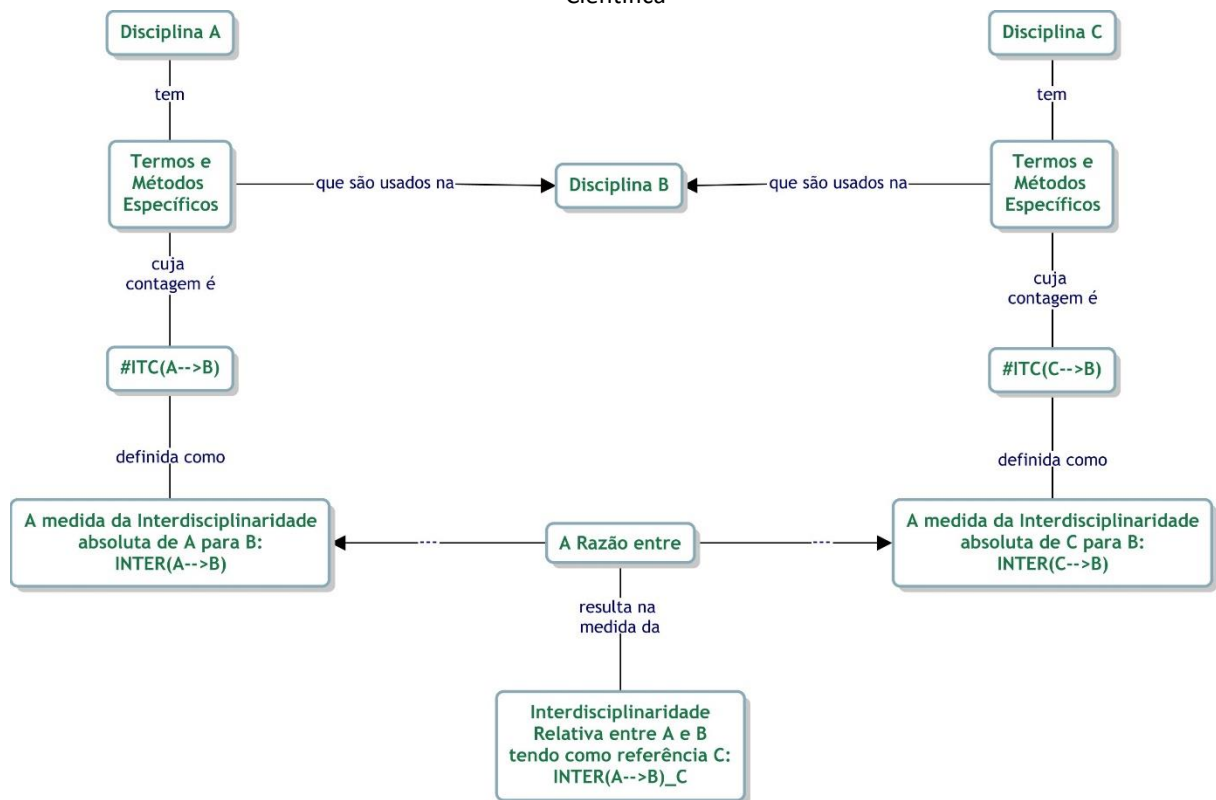
Para quantificar a interdisciplinaridade de forma Relativa é necessário comparar Transposições Científicas. Para isso, toma-se como referência uma terceira disciplina C, de forma que a Interdisciplinaridade Relativa de A em B com referência em C é definida como:

$$INTER(A \rightarrow B)_C = \frac{\#ITC(A \rightarrow B)}{\#ITC(C \rightarrow B)} \quad (\text{eq. 16})$$

A Figura 31 mostra o esquema destas definições.

⁷⁹ A seleção de termos relevantes é subjetiva e o pesquisador, preferencialmente, deve ser especialista.

Figura 31: Quantidade de Interdisciplinaridade Absoluta e Relativa medidas a partir do método da Transposição Científica



Em termos metodológicos, a seleção (Etapa 1) e busca (Etapa 2) de ITC podem ser feitas de diversas formas. Por exemplo, pode-se utilizar a Lei de Zipf para identificar os principais termos (Etapa 1) em um livro de Mecânica Quântica (Disciplina A) e posteriormente buscar, por meio da base de dados *Web of Science* (Etapa 2), o número de artigos científicos em um ou mais periódicos dedicados à Ciência da Informação (Disciplina B), que têm em seus Títulos ou *Abstracts* estes ITC. Este número será a Interdisciplinaridade Absoluta. Para calcular a Interdisciplinaridade Relativa é necessário fazer o mesmo procedimento (Etapa 1), por exemplo, em um livro de Bibliometria (Disciplina C) e posteriormente repetir a Etapa 2 com o mesmo conjunto de periódicos. Opcionalmente, pode-se calcular a interdisciplinaridade relativa, tomando como referência a totalidade dos artigos publicados na disciplina B, ou seja, $INTER(A \rightarrow B)_B$.

8 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados bem como os procedimentos metodológicos (1) das análises exploratórias em torno da interdisciplinaridade entre Ciência da Informação e Física; (2) das entrevistas e questionários; (3) das análises qualitativas e quantitativas das mensagens da lista de discussão FIS e (4) da aplicação do conceito de Transposição Científica para identificação de interdisciplinaridade.

8.1 Pioneiros da Ciência da Informação na América do Norte

A *Association for Information Science and Technology (ASIS&T)* é uma das maiores associações de profissionais da informação do mundo. Os seus grupos de trabalho são organizados em *Special Interest Groups (SIGs)* e *Chapters*. Um dos SIGs⁸⁰ é o *History & Foundations of Information Science (HFIS)* que “incentiva e apoia os trabalhos sobre a história e o desenvolvimento teórico da ciência da informação”⁸¹. Além de estudos históricos, este SIG trata de teorias e conceitos fundamentais da CI, abrangendo (de acordo com sua descrição no site) disciplinas filosóficas, semiológicas, matemáticas, físicas, biológicas, psicológicas e sociológicas. A multiplicidade de disciplinas é reforçada pelas formações acadêmicas diversas dos pesquisadores que trabalham neste SIG, incluindo a Física e outras ciências naturais.

Um dos projetos incentivados em 1994 pelo SIG/HFIS foi o *Pioneers of Information Science in North America* (Pioneiros da Ciência da Informação na América do Norte)⁸², realizado pela *University of South Carolina College of Library and Information Science*, com os seguintes objetivos: “1) identificar os indivíduos e organizações pioneiros significativos para o desenvolvimento da Ciência da Informação na América do Norte durante o período 1900 – 1970; 2) compilar informações sobre os tipos e locais dos documentos pessoais e documentos de arquivo relacionados a estes indivíduos e organizações.” Os resultados deste trabalho estão disponíveis no site do projeto, por meio de duas páginas: uma listando os pesquisadores pioneiros da CI e outra com as organizações envolvidas em CI.

Moraes (2002) analisou este site com o objetivo de categorizar os critérios para a escolha dos pioneiros. Um dos resultados, mostrado na Tabela 1, foi o ranking dos 100 cientistas em função de suas formações acadêmicas.

⁸⁰ A lista completa de SIGs pode ser acessada em <https://www.asis.org/SIG/sigs.html> . Acesso em: 28/out./2015.

⁸¹ Disponível em: <http://www.asis.org/SIG/SIGHFIS/> . Acesso em: 28/out./2015.

⁸² Disponível em: <http://faculty.libsci.sc.edu/bob/ISP/isp.htm> . Acesso em: 28/out./2015.

Tabela 1: Ranking de formações acadêmicas dos cientistas pioneiros da CI na América do Norte.

Formação	Número de cientistas
Bibliotecário	24
Químico	22
Engenheiro	10
Físico	6
Matemático	5
Analista de sistema	4
Médico	3
Estatístico	2
Demais profissões	24 (1 cientista em cada)

Fonte: MORAES (2002, p. 4)

A presente pesquisa apresenta alguns resultados diferentes dos de Moraes (2002) e identifica quais pioneiros da CI têm a Física em sua formação acadêmica ou área de pesquisa. Em nossa contagem, há 102 cientistas, dos quais, 9 são físicos. A discrepância pode ser justificada pela diferença de metodologia.

A metodologia desta análise aproveitou o fato do site conter apenas conteúdo estático, possibilitando assim baixa-lo para navegação off-line com a utilização do software HTTrack, já apresentado na Seção 7.2.1. Uma vez no computador local, foram localizadas, por meio da ferramenta de busca do Windows 7 Explorer, as páginas dos pioneiros que continham "Physic" em seu texto descritivo. Foram encontrados 13 registros, dos quais foram filtrados 9 físicos, após análise de conteúdo. Os resultados estão na Quadro 7, no qual destacamos em negrito as palavras que contém "Physic".

Quadro 7: Lista de pioneiros da CI que são físicos, em ordem alfabética

Cientista	Trecho do site onde aparece “Physic”
David Reynolds Lide, Jr.	founding and editing the Journal of Physical and Chemical Reference Data. He worked at: Office of Standards Reference Data, NBS: Physicist 1954-63; Chief infrared and microwave spectros section 1963-68; Director 1968-?; Editor, Journal of Physical and Chemical Reference Data 1972-?;
Derek DeSolla Price	Price demonstrated early on an inclination toward science and mathematics, and by age 16 was a laboratory assistant in physics at the South West Essex Technical College. He earned a B.A. with honors in physics and mathematics from the University of London in 1942. in experimental physics from the University of London in 1946.
Howard Hathaway Aiken	Harvard University Master's degree in physics 1937 and doctorate in physics 1939
John Wallace Murdock	He worked at: Physicist , Information scientist; Battelle: Principle physicist ,
Joseph Hilsenrath	Instructor Math and Physics , College of Paterson (NJ) 1939-40; Instructor, Public School in NY 1940-42; Instructor in Physics , Newark College 1942; Coordinator of graduate training, U.S. Naval Ord. Lab 1946-48; NBS: Physical Science Administrator 1948-55; Administrative Physicist 1955-60;
Myer Mike Kessler	He was a physicist ...
Thomas Campbell Bagg	Junior Physicist , Carnegie Institute, Washington, 1941; National Institute of Standards and Technology: Physicist Electronic Ord 1941-1952; Physicist Infrared and Ultraviolet Sources
William Joseph Wiswesser	Skolnik Award(ACS) 1980 for pioneering mathematical, physical , and chemical methods of punched-card and computer-stored representation of molecular structures
Yeram Sarkis Touloukian	Touloukian examined the physical properties of numerical databases. ... He was co-author and editor of Thermophysical Properties of Matter (TPRC Data Series, 13 volumes, 1970-1981). He was interested in heat transfer, convection, conduction, radiation, thermophysics , and information science.

Fonte: Site dos PIONEERS OF INFORMATION SCIENCE IN NORTH AMERICA. Disponível em:
<http://faculty.libsci.sc.edu/bob/ISP/isp.htm> Acesso em: 06/dez./2015.

Do total de pioneiros da CI na América do Norte, aproximadamente 9% são físicos. Os resultados confirmam a diversidade de saberes e a influência das ciências naturais nas raízes da Ciência da Informação, talvez pelo fato dela ter surgido da necessidade de resolução de problemas práticos, como documentação e recuperação da informação (WERSIG; NEVELING, 1975).

8.2 Medição da Interdisciplinaridade pela Transposição Científica

Utilizando a metodologia descrita na seção 7.5, a presente análise seleciona as palavras específicas (Etapa 1a) mais usadas em artigos científicos da Física (Disciplina A) para em seguida busca-las (Etapa 2) em artigos científicos da área da Ciência da Informação (Disciplina B). Foram usadas como referência (Etapa 1b) disciplinas da área das Ciências Sociais (Disciplinas C). De acordo com este método, os artigos identificados na Etapa 2 são considerados interdisciplinares e a quantidade de artigos mede a intensidade desta interdisciplinaridade.

Esta análise teve como fonte de dados de pesquisa artigos científicos indexados pela base *Web of Science* (WoS), de forma que foram considerados artigos da Disciplina A (Física) os classificados pela Principal Coleção do WoS como sendo da Área de Pesquisa (SU) “Physics” e pertencentes ao índice *Science Citation Index Expanded* (SCI-EXPANDED). Os artigos da Disciplinas C (Ciências Sociais) foram das Áreas de Pesquisa “*Social Sciences, Biomedical*”, “*Social Issues*”, “*Social Sciences Other Topics*”, “*Sociology*”, “*Psychology*” e “*Education & Educational Research*” e pertencentes ao índice *Social Sciences Citation Index* (SSCI). Os artigos da Disciplina B (CI) foram os da Área de Pesquisa “*Information Science & Library Science*”.

Como as áreas da Física e das Ciências Sociais são grandes, as unidades de análise foram limitados a artigos que contém a palavra “*information*” no título, resumo ou palavras-chave publicados de 1960, ano de surgimento da Ciência da Informação (PINHEIRO; LOUREIRO, 1995), a 2016.

Na Etapa 1 foram submetidas à base WoS em 16/jan./2017, as seguintes *Search Queries*:

Etapa 1a:

```
TS=(information) AND SU=(Physics)
Tipos de documento = Article
Índices=SCI-EXPANDED
Tempo estipulado = 1960-2016
```

Etapa 1b:

```
(TS=(information) and (SU=(Social Sciences, Biomedical) or
SU=(Social Issues) or SU=(Social Sciences Other Topics) or
SU=(Sociology) or SU=(Psychology) or SU=(Education & Educational
Research)))
Tipos de documento = Article
Índices=SSCI
Tempo estipulado = 1960-2016
```

A Etapa 1a resultou em 83.005 artigos e a Etapa 1b em 114.814, que foram organizados por ordem decrescente de citação. Os Títulos e *Abstracts* dos 2000 artigos mais citados foram exportados para arquivos CSV (valores separados por tabulação) e posteriormente copiados para arquivos texto. Estes foram analisados pelo software WFCA, que elaborou um ranking de palavras dos artigos científicos ordenados por frequência.

Foram encontradas 16.474 palavras na Física e 15.454 nas Ciências Sociais. Para determinar o ponto de corte das palavras de maior frequência, foram plotados no Excel os gráficos do Ranking (R) em função da Frequência (F) e as curvas se ajustaram às seguintes funções, Física: $R = 13713.F^{-0,753}$ e Ciências Sociais: $R = 13202.F^{-0,726}$. Em ambos os casos, o ponto de inflexão da curva se inicia aproximadamente no valor $F = 100$, portanto, espera-se que as palavras mais importantes estejam entre as frequências 1 e 100. Foi realizada análise qualitativa das palavras de maior frequência e selecionadas as que eram específicas das áreas da Física e Ciências Sociais. Os resultados são mostrados no Quadro 8 e Quadro 9, respectivamente. Os quadros foram divididos em três partes para facilitar a visualização.

Quadro 8: Palavras selecionadas entre mais frequentes em artigos da Física que têm “informação” no título, resumo ou palavras-chave

Parte 1			Parte 2			Parte 3		
Rank	Freq	Palavra	Rank	Freq	Palavra	Rank	Freq	Palavra
2	1998	quantum	75	218	spectroscopy	181	143	x-ray
12	539	energy	99	191	resonance	184	141	chemical
20	443	optical	103	189	scattering	187	140	matter
21	439	entanglement	106	186	entropy	207	130	decay
24	418	spin	117	180	photon	208	130	entangled
32	369	electron	124	177	atoms	220	124	spectral
42	296	density	139	163	ion	222	123	particle
43	295	magnetic	140	163	nuclear	227	122	particles
44	294	spectra	147	158	laser	232	119	microscopy
46	286	physics	153	155	spectrum	233	118	polarization
51	275	molecular	156	154	qubits	238	117	raman
57	268	temperature	159	152	energies	242	115	computation
68	224	atomic	170	148	wave	272	108	diffraction
72	222	mass	176	144	photons	277	107	qubit
73	222	molecules						

Quadro 9: Palavras selecionadas entre as mais frequentes em artigos das Ciências Sociais que têm “informação” no título, resumo ou palavras-chave

Parte 1			Parte 2			Parte 3		
Rank	Freq	Palavra	Rank	Freq	Palavra	Rank	Freq	Palavra
6	742	social	99	224	disorder	235	131	childhood
7	699	children	101	221	mental	245	127	emotions
14	554	cognitive	113	211	brain	248	127	lexical
21	468	learning	116	209	decision	249	127	neural
36	380	behavior	118	208	human	262	123	psychological
43	328	patients	128	198	cortex	264	122	education
47	314	health	134	188	language	305	109	paradigm
50	307	anxiety	137	185	depression	309	108	behaviors
67	271	emotional	151	174	emotion	315	107	diagnostic
69	267	adults	152	172	clinical	319	106	cognition
80	250	age	165	161	judgments	320	106	decisions
93	227	treatment	177	152	child	332	102	adolescents
94	226	disorders	183	149	behavioral	341	100	medical
95	226	stimulus	193	144	autism	356	95	family
96	226	students						

Na Etapa 2, realizada em 17/jan./2017, as palavras selecionadas em Física e em Ciências sociais foram buscadas nos Títulos, *Abstracts* e palavras-chave de artigos indexados pelo WoS na Área de Pesquisa “*Information Science & Library Science*” por meio das seguintes *Search Queries*:

Etapa 2a:

(SU=(Information Science & Library Science) AND TS=(quantum OR energy OR optical OR entanglement OR spin OR electron OR density OR magnetic OR spectra OR physics OR molecular OR temperature OR atomic OR mass OR molecules OR spectroscopy OR resonance OR scattering OR entropy OR photon OR atoms OR ion OR nuclear OR laser OR spectrum OR qubits OR energies OR wave OR photons OR x-ray OR chemical OR matter OR decay OR entangled OR spectral OR particle OR particles OR microscopy OR polarization OR raman OR computation OR diffraction OR qubit))

Tipos de documento = Article

Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI

Tempo estipulado=1960-2016

Etapa 2b:

(SU=(Information Science & Library Science) AND TS=(social OR children OR cognitive OR learning OR behavior OR patients OR health OR anxiety OR emotional OR adults OR age OR treatment OR disorders OR stimulus OR students OR disorder OR mental OR brain OR decision OR human OR cortex OR language OR depression OR emotion OR clinical OR judgments OR child OR behavioral OR autism OR childhood OR emotions OR lexical OR neural OR psychological OR education OR paradigm OR behaviors OR diagnostic OR cognition OR decisions OR adolescents OR medical OR family))

Tipos de documento = Article

Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI

Tempo estipulado=1960-2016

Os resultados foram 5.798 ocorrências na Etapa 2a e 42.617 na Etapa 2b. De acordo com o método da Transposição Científica (Seção 7.5), as quantidades absoluta e relativa de interdisciplinaridade são mostradas no Quadro 10.

Quadro 10: Quantidades de interdisciplinaridade entre Física e CI e entre Ciências Sociais e CI

Resultado	Descrição
INTER(A→B) = 5.798	Interdisciplinaridade absoluta da Física na Ciência da informação
INTER(C→B) = 42.617	Interdisciplinaridade absoluta das Ciências Sociais na Ciência da informação
INTER(A→B) _c = 5798/42617 = 0,1360 = 13,60%	Interdisciplinaridade relativa da Física na Ciência da informação, tendo como referência as Ciências Sociais.

Os resultados mostram que a intensidade da interdisciplinaridade da Física na CI é aproximadamente 13,6% da que ocorre das Ciências Sociais na CI.

A fim de conferir a efetividade do método, foi feita a análise qualitativa dos títulos e resumos dos 50 mais relevantes⁸³ artigos listados da Etapa 2a (Física). Em 39 dos 50 (78%) houve Transposição Científica da Física para CI. Por exemplo, houve 19 ocorrências do

⁸³ Os “mais relevantes” foram obtidos por meio da classificação do WoS. A “relevância” é um conceito subjetivo, mas aqui estamos interessados na repetibilidade do método. Era necessária uma amostra para conferência qualitativa e este foi o critério escolhido.

periódico *Restaurator-International Journal for The Preservation of Library and Archival Material* que é dedicado à preservação de documentos. Os artigos listados deste periódico usam métodos oriundos da Física para este fim. Há artigos que investigam físicos ou instituições dedicadas à Física e sua produtividade, bem como bases de dados e repositórios dedicados à Física. Neste caso foi necessário que os autores conhecessem termos e conceitos da Física. Outros artigos tratavam do conceito de informação em física, como visto no Capítulo 6 desta tese. Em outros artigos, a Comunicação Científica entre físicos foi analisada e conhecimentos de Física de alta energia foram necessários. O meio ambiente foi o foco de outros artigos que, ao estudarem os hábitos de trocas de informação pela Internet, estudam formas de economizar energia. Foram encontrados dois erros de indexação, onde o resumo não correspondia ao título do artigo. Em ambos os casos, no resumo havia TC da Física para CI. De acordo com estes resultados, consideramos que, nesta amostra, o método se mostrou efetivo.

Uma outra medida relativa pode ser obtida com número total de artigos da área de pesquisa “*Information Science & Library Science*” obtida por meio da *Search Query*

SU=(Information Science & Library Science)

Tipos de documento = Article

Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI

Tempo estipulado=1960-2016

Esta busca resultou em 117.925 artigos. Pode-se agora calcular as interdisciplinaridades relativas tomando como referências a própria área da CI (Disciplina B):

$$\text{INTER}(A \rightarrow B)_B = 5798/117925 = 4,917\%$$

$$\text{INTER}(C \rightarrow B)_B = 42617/117925 = 36,14\%$$

De acordo com estes resultados e com esta metodologia, aproximadamente 5% dos artigos em CI são interdisciplinares com a Física e 36% com as Ciências Sociais.

Aplicando a ferramenta “Analisar Resultados” do WoS aos 5.798 registros da Etapa 2a foi possível listar os principais periódicos onde há Transposição Científica da Física para CI (Tabela 2).

Tabela 2: Principais periódicos onde foram publicados artigos com TC da Física para CI

Título da fonte	registros	% de 5798
Scientometrics	673	11,61
Scientist	343	5,92
International journal of geographical information science	313	5,40
Journal of the american medical informatics association	261	4,50
Telecommunications policy	202	3,48
Restaurator international journal for the preservation of library and archival material	199	3,43
Journal of health communication	195	3,36
Journal of the american society for information science and technology	179	3,09
Information processing management	120	2,07
Journal of the american society for information science	100	1,73
Journal of information science	100	1,73
Journal of informetrics	87	1,50
Journal of documentation (England)	80	1,38
Total:	2852	49,2

Fonte: Web of Scince. Análise realizada em 18/jan./2017

O periódico *Scientometrics* é o que mais utiliza palavras chave da Física. Isso sugere que o assunto metrias exerça um papel importante na interdisciplinaridade entre Física e CI. O periódico *Scientist*⁸⁴ é dedicado à área Ciências da Vida. O posicionamento proeminente nesta análise reforça a ideia da interdisciplinaridade indireta da Física para CI por meio da Biologia e Medicina, como visto na seção 6.3.

8.3 Formação e Área de produção de cientistas mais citados em Comunicação Científica na Revista Ciência da Informação

A interdisciplinaridade pode ser estabelecida pelo trabalho de cientistas de formações acadêmicas diversas na resolução de um mesmo problema. Por conta da CI ser uma área interdisciplinar, é de se esperar que seus pesquisadores tenham graduação e pós-graduação em diversas áreas. Esta análise investiga as áreas de atuação e formação acadêmica de cientistas da subárea Comunicação Científica. Após esse levantamento é contabilizada a participação de físicos.

⁸⁴ A versão eletrônica do periódico *Scientist* está disponível no site <http://www.the-scientist.com/>. Acesso em: 18/jan./2017. Lá aparece com o título “The Scientist”.

Foram utilizados os resultados de Pinheiro (2012) que fez a análise das citações dos nove autores mais produtivos da revista *Ciência da Informação*⁸⁵ no período de 1972 a 2009 em artigos categorizados pela autora como sendo da subárea Comunicação Científica.

Esta análise tem intuito de mensurar o quanto os físicos estão presentes em artigos de Comunicação Científica no Brasil. A Tabela 3 mostra os resultados.

Tabela 3: Autores mais citados pelos autores mais produtivos em comunicação científica, na revista *Ciência da Informação*, 1972-2009

Autores Citados	Número de Citações	Nome dos autores citados
1	15	PRICE, D. de S.
1	13	GARVEY, W. D.
1	9	MERTON, R. K.
1	7	MUELLER, S. P. M.
1	6	NELSON, C. E.
6	5	CRANE, D.; LIN, N.; MEADOWS, A. J. A.; MENEHINI, R.; WELLER, A. C.; ZIMAN, J.M.
5	4	ARAUJO, V. M. R. H.; GARFIELD, E.; GRIFFITH, B.C. TOMITA, K.; ZRZYANOWSKI, R. F.
11	3	ALLEN, T.J.; BIREME; CASTRO, C. de M.; CRAWFORD, S.; HARNAD, S.; LIEVROUW, L.A.; MENZEL, H.; PEREIRA, M. N. F.; POBLACION, D. A.; ROBREDO, J.; ROGERS, E. M.
36	2	36 autores
222	1	222 autores

Fonte: Pinheiro (2012)

Para esta análise, dos 284 autores citados, foram selecionados os 26 que foram citados 3 ou mais vezes. Para cada um deles foi feita uma pesquisa nas seguintes fontes: 1) ferramenta *Author search* da base de dados Scopus⁸⁶, 2) Plataforma Lattes⁸⁷ e 3) Currículos Vitae (CV) publicados pelos autores na Internet. O resultado da *Author search* da Scopus informa as *Subject areas* nas quais as publicações do autor foram categorizadas. A Plataforma Lattes e os CVs foram usados para descobrir a área de formação (graduação, mestrado e doutorado) dos autores brasileiros e estrangeiros, respectivamente.

Dos 26 autores procurados na base Scopus, oito não foram localizados. Os 18 autores restantes geraram 157 registros de *Subject áreas*. A Tabela 4 mostra as *Subject áreas* Scopus com 4 ou mais registros.

⁸⁵ A revista *Ciência da Informação* é um periódico científico do IBICT.

Disponível em: <http://revista.ibict.br/ciinf/index>. Acesso em: 17/jan./2017

⁸⁶ Busca realizada em 3/nov./2015

⁸⁷ Disponível em: <http://lattes.cnpq.br/>. Acesso em: 3/nov./2015

Tabela 4: Sumário das Subject Areas Scopus dos autores listados na Tabela 3

Subject Area	Frequência
Social Sciences	15
Medicine	14
Computer Science	12
Engineering	10
Multidisciplinary	10
Psychology	9
Biochemistry	6
Genetics and Molecular Biology	6
Physics and Astronomy	6
Agricultural and Biological Sciences	5
Arts and Humanities	5
Mathematics	5
Business	4
Chemistry	4

Fonte: Scopus. Acesso em: 03/nov./2015

A área da Física e Astronomia se mostra presente com a mesma frequência das biociências.

Com relação aos currículos dos cientistas citados, não foram localizadas as Graduações de 5, nem os Mestrados de 14 e nem os Doutorados de 8. A Tabela 5 mostra o sumário das formações acadêmicas.

Tabela 5: Frequência (F) da formação acadêmica dos autores listados na Tabela 3

Graduação	F	Mestrado	F	Doutorado	F
Biblioteconomia	6	Ciência da Informação	2	Sociologia	5
Physics	5	Ciências da Comunicação	2	Comunicação	3
Química	3	Library Science	2	Physics	3
psychology	2	Psychology	2	Psychology	2
Agricultura	1	Ciências Biológicas (Bioquímica)	1	Facultad de Ciencias - Química	1
Economia	1	Electrical engineering and management	1	Information Studies.	1
Engineering	1	Physics	1	management	1
Journalism	1	Sociologia	1	history of science	1
Sociology	1			Structural Linguistics	1

Fontes: *Author search* da Scopus, Plataforma Lattes e CV dos autores

Observa-se a participação da Física, principalmente na Graduação e expressivamente no Doutorado. A subárea da Comunicação Científica recebe influência de físicos, especialmente de Derek de Solla Price, Jack Medows e John Michael Ziman, de quem os resultados são detalhados na Tabela 6.

Tabela 6: Formação acadêmica dos físicos mais citados na Tabela 3.

Cientista	Frequência de citações	Formação acadêmica
Derek de Solla Price	15	Doutor em Física e História da Ciência.
Jack Meadows	5	Doutor em Astronomia e mestre em História e Filosofia da Ciência.
John Michael Ziman	5	Doutor em Física e escritor em Filosofia da Ciência.

A influência destes três autores nos trabalhos do Enancib é estudada na próxima análise.

8.4 Influência dos físicos em trabalhos apresentados no ENANCIB

Pinheiro (2015) mostra como a Física e os físicos, em especial os listados na Tabela 6, estão presentes na Ciência da Informação na subárea Comunicação Científica.

Derek J. de Solla Price, doutor em Física e em História da Ciência, é autor de diversas pesquisas inovadoras, dentre estas, estudos do crescimento da ciência, padrões de produtividade científica, frente de pesquisa, elite e indicadores em periódicos científicos. Foi um dos pioneiros da CI com importantes contribuições em Comunicação Científica e Bibliometria. A transcrição da sua palestra na Conferência *Pegram* em 1962 deu origem ao *best seller Little Science, Big Science* traduzido para diversas línguas, inclusive para o Português e considerado “leitura compulsória para todos os cientistas” pela revista *Nature*. Logo no início do livro, impacta ao afirmar que “estão vivos atualmente 80 a 90 por cento de todos os cientistas que já existiram” e depois, ao longo do livro, demonstra que isso é uma consequência do crescimento exponencial da ciência (PRICE, 1976). Gilda Maria Braga, pesquisadora do IBICT, que conheceu Price pessoalmente e manteve correspondências com ele, faz uma revisão de seu trabalho onde destaca, dentre outras, a questão das comunidades científicas, que levou ao conceito de Colégios Invisíveis, pequenos grupos de líderes de comunidades científicas que se reúnem informalmente. Braga (1974, p.167) afirma que “embora seja relativamente fácil identificar um membro do Colégio Invisível de um campo, é extremamente difícil estudar, como um todo, a comunidade aí envolvida”.

Uma parte da biografia de Jack Meadows pode ser extraída de uma entrevista concedida por ele à revista *Serials* (MERRIMAN, 1999). Arthur Jack Meadows nasceu em 1934 em Sheffield, Inglaterra. Como seu pai era militar, ele sempre estava de mudança e chegou a estudar em 16 escolas diferentes. Em 1952 prestou serviço militar e, em seguida, aprendeu

russo em Cambridge para trabalhar como interprete. Em 1955 foi para Oxford estudar Física, onde também foi contratado para traduzir artigos científicos russos. De 1957 a 1959 cursou doutorado em Oxford e se aproximou, por intermédio de amigos, da Filosofia. Em 1959 foi para os EUA dar aulas e voltou à Inglaterra em 1961 onde, além de lecionar astronomia, se interessou pela História da Ciência. Em 1964 começou o mestrado em História e Filosofia da Ciência ao mesmo tempo que trabalhava no Departamento de Livros e Manuscritos do Museu Britânico. Influenciado pelos escritos de Derek de Solla Price, Meadows começava aí a despertar o interesse pela Informação. Em seguida, foi para universidade de Leicester onde ministrou aulas de Astronomia e História da Ciência. Já na década de 1970, Meadows estava bem envolvido com o mundo da Informação. Em 1986 foi chamado para dirigir o Departamento de Estudos em Informação e Biblioteconomia da *Loughborough University* onde se aposentou em 2001. Sua bibliografia é extensa. As obras mais influentes no Brasil foram os livros “*Communication in Science*”, London, Butterworths, 1974 e “A Comunicação Científica” Brasília, Briquet de Lemos Livros, 1999. Possivelmente o trabalho de Meadows no Museu Britânico onde conheceu a literatura de Price, foi um fator importante para seu aprofundamento no campo da Ciência da Informação.

John Michael Ziman foi físico de alta produtividade na área de Matéria Condensada, mas também publicou sobre Sociologia e Filosofia da Ciência, que têm interface com a CI, em especial, com a Comunicação Científica. Uma de suas obras de maior impacto no Brasil é o livro “Conhecimento público: a dimensão social da ciência” São Paulo: Edusp, 1979 [1968]. De acordo com Mueller e Passos (2000, p.14), Ziman “explica que a ciência não é apenas conhecimento publicado ... o conhecimento científico é mais amplo”. Isso implica em discussão e colaboração entre cientistas, ou seja, as condições sociológicas dos cientistas devem ser levadas em conta e a construção do conhecimento é coletiva.

A fim de avaliar a influência desses três autores na área de CI no Brasil, foi feita uma análise utilizando a base de dados Benancib⁸⁸, que indexa os trabalhos publicados no ENANCIB⁸⁹ desde 1994. Utilizando a busca avançada, foram procurados quantos artigos citam

⁸⁸ Disponível em: <http://repositorios.questoesemrede.uff.br/repositorios/handle/123456789/2>. Acesso em: 1/dez./2015.

⁸⁹ ENANCIB - Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação. Disponível em: <http://enancib.ibict.br/>. Acesso em: 1/dez./2015.

Price, Meadows e Ziman em cada um dos Grupos de Trabalho (GTs). Os resultados são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7: Número de artigos do Enancib por GT que citam Meadows (M), Price (P) e Ziman (Z)

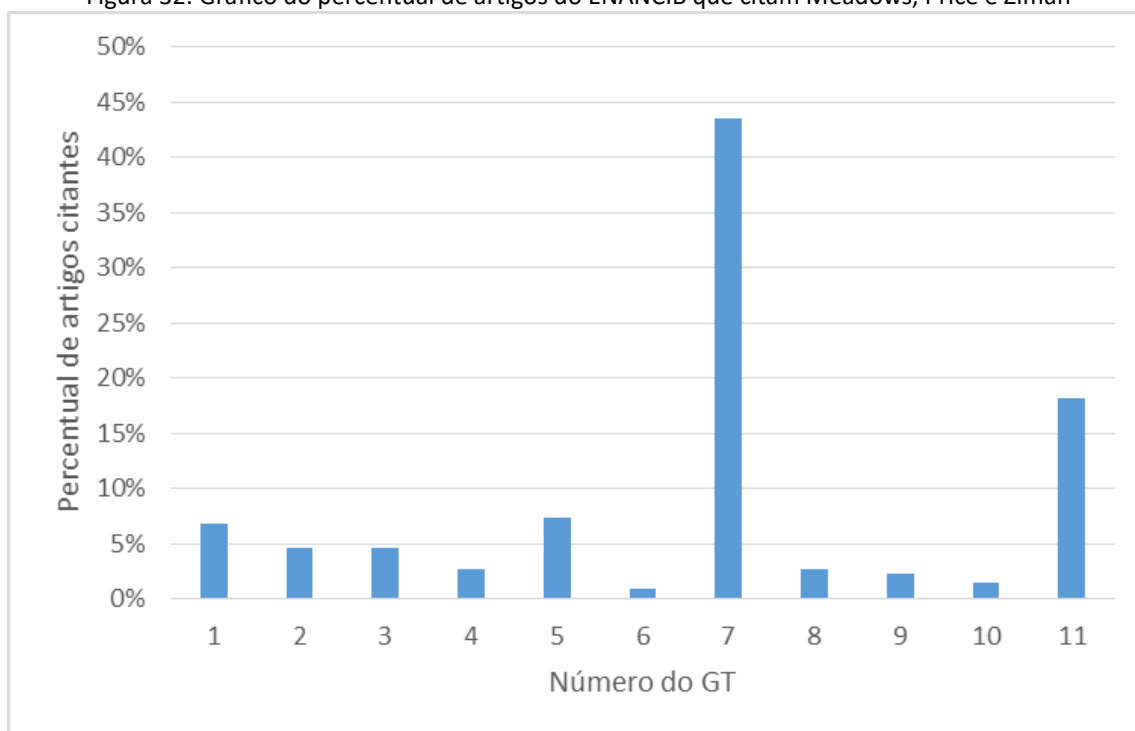
GT	Nome do Grupo de Trabalho	M	P	Z	Soma	Todos	%
1	Estudos Históricos e Epistemológicos da Ciência da Informação	10	2	7	19	281	7%
2	Organização e Representação do Conhecimento	12	3	5	20	435	5%
3	Mediação, Circulação e Apropriação da Informação	11	3	2	16	348	5%
4	Gestão da Informação e do Conhecimento	8	2	0	10	369	3%
5	Política e Economia da Informação	13	4	5	22	300	7%
6	Informação, Educação e Trabalho	2	0	0	2	201	1%
7	Produção e Comunicação da Informação em CT&I	60	31	19	110	253	43%
8	Informação e Tecnologia	4	0	1	5	183	3%
9	Museu, Patrimônio e Informação	1	0	1	2	86	2%
10	Informação e Memória	1	0	1	2	135	1%
11	Informação & Saúde	6	2	4	12	66	18%
Total		128	47	45	220	2657	8%

Fonte: Benancib

Os autores são citados em todos GT's, o que mostra a abrangência e alcance de suas pesquisas. A concentração de trabalhos do GT 7 era esperada, já que o tema do GT é Comunicação Científica.

A penúltima coluna da Tabela 7 mostra o total de artigos do GT. Dividindo a soma dos artigos que citam os 3 autores por esse total, encontra-se o percentual de artigos citantes (Figura 32).

Figura 32: Gráfico do percentual de artigos do ENANCIB que citam Meadows, Price e Ziman



Fonte: Benancib

No GT 7 43% de todos as pesquisas publicadas citam os três físicos e 8% de todos artigos já publicados no ENANCIB os citam.

8.5 Análise de conteúdo das mensagens da Lista de discussão FIS

O objetivo desta análise é identificar e classificar os tópicos de discussão da lista de discussão *Foundations of Information Science* (FIS), apresentada na seção 7.1, e seus respectivos autores, desde sua fundação em 1997 até novembro de 2016. A lista FIS é um fórum eletrônico para troca de e-mails hospedado nos servidores da *Universidad de Zaragoza*, Espanha, onde trabalha o moderador da lista Pedro C. Marijuán. Arquivos com todas as mensagens, que serviram como fonte de dados desta análise estão disponibilizados em três sites⁹⁰:

- Site 1: <http://fis-mail.sciforum.net> - Mensagens postadas de 1997 a 2007.
- Site2: <https://www.mail-archive.com/fis@listas.unizar.es/maillist.html> - Mensagens postadas a partir fevereiro de 2006.

⁹⁰ Devido a transferências de dados e panes no servidor, o arquivo de mensagens acabou ficando dividido.

- Site 3: <http://listas.unizar.es/pipermail/fis/> - Mensagens postadas a partir de abril de 2014.

O Site 1 é um repositório estático, os Sites 2 e 3 são atualizados diariamente fora e dentro do servidor da universidade, respectivamente. Os sites 1 e 2 foram baixados com auxílio do software *HTTrack Website Copier* (já apresentado na seção 7.2.1), de forma que todas as 5.375 mensagens da lista FIS, entre as datas 06/dez./1997 até 29/nov./2016⁹¹, foram salvas em computador local. Cada mensagem é armazenada individualmente em um arquivo html, mas o índice das mensagens, contendo título, data de envio e autor, é exibido em uma página no Site 1 e em 16 páginas no Site 2. É possível organizar as páginas de índice por Data de Postagem ou por Tópico (*Thread*). O Site 3 não foi utilizado nesta pesquisa.

8.5.1 Procedimento metodológico

O procedimento metodológico desta análise foi composto por quatro etapas:

Etapa 1: Exportação para Excel - o conteúdo dos índices de mensagens foi exportado para o Excel em uma planilha com quatro colunas: Assunto da mensagem, Autor, Data de Postagem e Nome do Arquivo html.

Etapa 2: Classificação das mensagens – foi atribuído um Tópico de Discussão a cada mensagem, com base nos 50 tópicos⁹² disponíveis em <http://fis.sciforum.net/fis-discussion-sessions/> (Acesso em: 29/nov./2016). A classificação foi feita após a análise de conteúdo da primeira mensagem de cada *Thread* e estendida às suas respostas. Acrescentamos mais 19 tópicos identificados durante a análise, totalizando 69 tópicos. A lista completa de tópicos, os autores, bem como as datas de publicação estão no Apêndice B.

Etapa 3: Agrupamento de tópicos - os tópicos semelhantes foram agrupados e acrescentamos os tópicos “Administrativas” para mensagens administrativas, em geral de autoria do moderador da lista, “Anúncio” para anúncios por exemplo de congressos, e “Outros Tópicos” para algumas mensagens que não se enquadravam em nenhum dos tópicos.

Etapa 4: Compilação dos resultados – foram utilizadas as ferramentas do Excel, principalmente Tabela Dinâmica, para extração e tabulação de dados quantitativos que, juntamente com a análise de conteúdo, serviram de base para a interpretação dos resultados.

⁹¹ A data da última mensagem (29/nov./2016) foi determinada pelo início das análises qualitativas.

⁹² Esta página de tópicos foi organizada e é mantida por Raquel del Moral e Pedro C. Marijuán. Em 29/nov./2016 havia 50 tópicos. Hoje há mais.

8.5.2 Resultados das análises da lista FIS

A lista de discussão FIS conta, em 22/jan./2017, com 353 membros. Ao longo do tempo, pode ter havido entrada e saída de membros⁹³, entretanto observou-se um crescimento líquido do número de membros ao longo de 2016, já que em 06/dez./2015 havia 283 participantes. No período da análise, 269 autores postaram pelo menos uma vez no fórum. A distribuição de postagens, mostrada na Tabela 8, segue o Princípio de Matheus (poucos autores postam muito e muitos autores postam pouco).

Tabela 8: Número de postagens da lista FIS de 1997 a 2016, em função do número de autores.

# de postagens	# de autores
Mais de 400	1
de 201 a 400	4
de 101 a 200	5
de 51 a 100	14
de 31 a 50	13
de 21 a 30	12
de 11 a 20	25
de 2 a 10	91
1	104
Total	269

O *ranking* dos 20 autores mais produtivos é listado, ao longo do tempo, na Tabela 9.

Tabela 9: Número de postagens dos 20 autores mais produtivos de 1997 a 2016, de 4 em 4 anos.

Autor	1997-2000	2001-2004	2005-2008	2009-2012	2013-2016	Total
Pedro C. Marijuan	58	217	161	207	228	871
Loet Leydesdorff	0	100	109	90	95	394
Stanley N Salthe	0	73	118	89	59	339
John Collier	4	64	40	39	73	220
Joseph Brenner	0	0	20	80	102	202
Jerry LR Chandler	20	78	37	15	28	178
Karl Javorszky	0	54	50	31	41	176
Rafael Capurro	30	62	30	18	16	156
Søren Brier	25	69	20	11	0	125
Steven Ericsson-Zenith	0	8	39	33	38	118
Elohim Jiménez-López	1	78	2	0	0	81

⁹³ No site da lista de discussão não está disponível o histórico de entrada e saída de membros, apenas o número atual.

Michel Petitjean	0	34	21	17	8	80
Robert E. Ulanowicz	0	10	16	22	31	79
Shu-Kun Lin	0	59	9	5	4	77
Francesco Rizzo	0	0	0	0	75	75
Christophe Menant	0	30	13	17	11	71
Gordana Dodig-Crnkovic	0	3	19	29	18	69
Robert K Logan	0	0	17	13	38	68
Krassimir Markov	0	0	0	27	40	67
Koichiro Matsuno	20	15	11	9	12	67
Demais 249 autores	146	559	356	225	576	1862
Total	304	1513	1088	977	1493	5375

O período mais produtivo da lista foi de 2001 a 2004 (total de 1513 postagens). Nos dois períodos subsequentes, o número total de postagens ficou em aproximadamente 1000, aumentando novamente no último período de tempo. O moderador da lista inicia todas discussões e as comenta, pelo menos uma vez por semana. Isto justifica o número alto de postagens de Pedro Maríjuan durante todo período da análise. Aparecer em apenas um período, pode indicar que o participante foi autor de um dos tópicos de discussão (Apêndice B), já que é natural que ele participe mais da discussão de sua autoria. Ao passo que aparecer em mais de um período demonstra a participação ativa em diversos tópicos.

Os 20 autores da Tabela 9 foram pesquisados por meio da ferramenta *Author search* do Scopus. Uma avaliação aproximada⁹⁴ da produtividade de cada um deles é dada pelo número de documentos (# doc) indexados na base Scopus, mostrado na Tabela 10.

Tabela 10: Número de documentos (# doc) indexados na base Scopus, por autor

Autor	# doc
Loet Leydesdorff	344
Koichiro Matsuno	140
Robert E. Ulanowicz	110
Michel Petitjean	81
Shu-Kun Lin	59
Stanley N Salthe	57

⁹⁴ Um estudo mais aprofundado deveria ser feito para uma melhor avaliação, já que os autores podem ter artigos não indexados pela base Scopus, como por exemplo, Rafael Capurro que publica muito em periódicos não indexados e na sua própria página na Internet.

Robert K Logan	47
Gordana Dodig-Crnkovic	37
Pedro C. Marijuan	34
Søren Brier	29
John Collier	27
Jerry LR Chandler	27
Joseph Brenner	20
Rafael Capurro	19
Christophe Menant	5
Krassimir Markov	3
Karl Javorszky	1
Elohim Jiménez-López	1
Steven Ericsson-Zenith	0
Francesco Rizzo	0

Total 1041

Fonte: Scopus. Acesso em: 08/fev./2017

Destaque para Loet Leydesdorff com 344 documentos indexados.

O número de co-autorias entre os 20 principais autores é pequeno. Com efeito, dos 1041 documentos da Tabela 10, apenas oito foram produzidos em conjunto. Portanto, a lista FIS não é um fator importante para a colaboração entre os seus membros.

As formações acadêmicas dos 10 principais autores da lista FIS bem como suas áreas de interesse em pesquisa foram obtidas em páginas publicadas na Internet pelos autores ou pelas instituições onde trabalham e resumidas no Quadro 11.

Quadro 11: Perfil acadêmico e Áreas de Interesse dos 10 principais autores da Lista FIS

Autor	Graduação	Mestrado	Doutorado	Idade	Áreas de Interesse
Pedro C. Marijuan	Engenharia Industrial		Neurociência Cognitiva	64	Ciências da Informação, Biologia, Neurociência
Loet Leydesdorff	Química	Bioquímica e Filosofia	Sociologia	68	Física, Biologia, Filosofia, Bibliometria
Stanley N Salthe	Zoologia		Zoologia	86	Biologia, Filosofia, Física
John Collier	Astronomia e Filosofia	Filosofia	Filosofia da Ciência	66	Filosofia, Biologia, Teoria da Informação, Teia de Sistemas
Joseph Brenner	Química		Química Orgânica	82	Teoria e Filosofia da Informação, Lógica, Física
Jerry LR Chandler	Química	Matemática e Direito	Bioquímica e Genética	76	Química, Bioquímica, Genética, Sistemas Complexos, Física, Medicina

Karl Javorszky	Psicologia			68	Filosofia, Epistemologia, Psicologia,
Rafael Capurro	Filosofia	Documentação	Filosofia (Informação)	71	Filosofia, Ética, Informação em contextos sociais
Søren Brier		Biologia	Filosofia da Informação	65	Filosofia da ciência, Cybersemiótica, Biologia
Steven Ericsson-Zenith	Engenharia		Ciência da Computação	50	Biofísica, Computação, Bioengenharia, Teoria da Mente, Cosmologia, Lógica, Semiótica

Fonte: Sites dos autores e das instituições onde trabalham

A idade média de 70 anos mostra que os 10 principais autores são pesquisadores experientes. 50% deles visitaram áreas diversas durante suas formações acadêmicas. Há áreas de interesse que não são áreas de formação, isso ocorre, por exemplo, com três autores que têm interesse em Física. Isto pode indicar um grau de mobilidade acadêmica destes autores. As áreas de interesse compõem uma malha multidisciplinar que envolve as discussões da lista com contextos e pontos de vista diversos. Com efeito, cada autor participou, em média, de discussões em 23 Tópicos Agrupados diferentes, ou seja, em 73% dos assuntos.

O resultado do agrupamento de tópicos (Etapa 3) está resumido na Tabela 11, que mostra o número de mensagens em cada um dos tópicos agrupados.

Tabela 11: Classificação das Mensagens da Lista de Discussão FIS em Tópicos Agrupados, por ocorrência

Tópico Agrupado	# Mensagens
Informação e Física	1078
Anúncio	824
Definição de Informação	614
Informação Social	344
Informação Biológica	244
Informação e Neurociência	213
Informação e Significado	208
Administrativas	185
Ciência	169
Fenomenologia	167
Informação e Economia	131
Teoria da Informação	127
Informação e Filosofia	120
Informação e Lógica	111

Semiótica	94
Consiliência	91
Informação e Química	86
Ciência da Informação	75
Informação e Ética	66
Bibliometria	58
Informação e Conhecimento	52
Economia Ecológica e Informação	45
Comunicação Científica	44
Informação e Matemática	36
Informação e Música	35
Informação e Linguagens Naturais	33
Informação, Comunicação e Vida	26
Informação e Arte	26
Consciência	23
Informação e simetria	15
Informação e Computação	11
Outros Tópicos	24
Total	5375

O Tópico Agrupado mais discutido na lista foi “Informação e Física” que agrupou os Tópicos *Information & Physics* (1998), *Information Physics* (2002), *Entropy and Information: Two Polymorphic Concepts* (2004), *Quantum Information* (2006), *The Nature of Microphysical Information: Revisting the Fluctuon Model* (2010) e *Quantum Bayesianism (QBism) — An interpretation of quantum mechanics based on quantum information theory* (2014). A recorrência do assunto ao longo dos anos e o número de mensagens (1078) indica que o objeto de estudo da CI (informação) no contexto da Física é importante para os membros da lista FIS.

O questionamento “*What is information?*” aparece na página inicial da FIS (<http://fis.sciforum.net/>), portanto era de se esperar que a “Definição de Informação” ocupasse uma posição importante no *ranking*. Foram três longas discussões (1999, 2015 e 2016) perfazendo aproximadamente 11% de todas mensagens. O tema também permeia as mensagens de outros tópicos, uma vez que o conceito de informação normalmente é definido e/ou questionado antes de ser discutido. Tanto as definições em si quanto questões epistemológicas são levantadas nas mensagens e um dos consensos é que o conceito de informação é contexto dependente.

A “Ciência da Informação” aparece apenas em 15º lugar, em aparente contradição com o nome da lista. Os demais tópicos foram escolhidos de acordo com as especialidades dos líderes das discussões.

8.6 Método da Transposição Científica Utilizando ITC's das Mensagens da Lista FIS

O objetivo desta análise é aplicar o mesmo procedimento metodológico da seção 8.2, para identificar artigos onde haja Transposição Científica da Física para CI, mas utilizando na Etapa 1 os ITC's extraídos das mensagens da lista FIS. Foram separados os arquivos html contendo as mensagens classificadas no Tópico Agrupado “Informação e Física” e submetidos ao software WFCa. Foram encontradas 20.193 palavras diferentes. A análise qualitativa da saída do programa resultou na lista das palavras da Física que mais aparecem nas mensagens. O resultado é mostrado no Quadro 12, que foi dividido em três partes para facilitar a visualização.

Quadro 12: *Ranking* das palavras específicas da Física mais frequentes nas mensagens da lista FIS classificadas em “Informação e Física”

Parte 1			Parte 2			Parte 3		
Rank	Freq.	Palavra	Rank	Freq.	Palavra	Rank	Freq.	Palavra
7	2796	physics	304	278	quarks	969	91	electron
9	2686	entropy	358	234	gravity	1044	85	newton
10	2496	quantum	438	197	chaos	1133	78	relativity
19	1858	energy	458	192	it-from-bit	1145	77	thermodynamical
51	1023	shannon	523	168	molecule	1163	75	negentropy
69	834	matter	621	144	qbism	1225	70	continuum
110	588	symmetry	633	141	szilard	1228	70	entangled
140	513	mechanics	648	138	physicist	1241	69	cosmos
224	356	thermodynamic	777	115	neumann	1245	69	galaxies
245	334	temperature	792	113	vacuum	1310	65	electrical
258	323	mechanical	794	112	einstein	1390	61	photons

266	312	thermodynamics
277	302	mass
278	301	particles
286	293	fluctuon
297	282	molecular
298	282	physicists

818	109	werner
819	108	causality
859	102	atom
902	98	gravitational
918	96	atoms

1497	56	electrons
1604	52	shannon-type
1662	49	hawking
1775	45	energies
1836	43	cosmological

Desta lista de 49 palavras, houve 14 coincidentes com a lista do Quadro 8 (Seção 8.2). A diferença ratifica que esta é uma abordagem de coleta de ITC's diferente da anterior. Nesta lista aparecem nomes de físicos, o que pode ser consequência do tipo de discussão informal, onde não há um espaço separado para referências.

Na Etapa 2, foi utilizado o seguinte comando na busca avançada do WoS:

```
(SU=(Information Science & Library Science) AND TS=(physics OR
entropy OR quantum OR energy OR shannon OR matter OR symmetry OR
mechanics OR thermodynamic OR temperature OR mechanical OR
thermodynamics OR mass OR particles OR fluctuon OR molecular OR
physicists OR quarks OR gravity OR chaos OR it-from-bit OR
molecule OR qbism OR szilard OR physicist OR neumann OR vacuum
OR einstein OR werner OR causality OR atom OR gravitational OR
atoms OR electron OR newton OR relativity OR thermodynamical OR
negentropy OR continuum OR entangled OR cosmos OR galaxies OR
electrical OR photons OR electrons OR shannon-type OR hawking OR
energies OR cosmological))
```

Tipos de documento = Article

Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI

Tempo estipulado=1960-2016

A busca resultou em 4.117 registros, dos quais foram analisados qualitativamente os 50 mais relevantes⁹⁵. Destes, em 23 houve transposição científica da Física para CI dos quais dois se destacam por serem TC nível 3 (interdisciplinaridade): “*Information Physics - Hopes and Weak Points*” e “*Chaos theory as a model for interpreting information systems in organizations*”.

De acordo com as definições da Seção 7.5, a quantidade de interdisciplinaridade absoluta da Física na CI foi de $INTER(A \rightarrow B) = 4.117$, um pouco abaixo dos 5.798 da Seção 8.2.

⁹⁵ “Relevância” de acordo com o algoritmo do *Web of Science*.

Informação; Dinâmica Social e Reconstrução Espacial; Eletrônica, Informação e Bioengenharia; Pesquisas do Cérebro, Gestão da Informação; Geografia e Matemática. A diversidade das áreas de atuação confirma o caráter multidisciplinar da lista FIS.

A amostra se mostrou significativa com relação ao ano de entrada na lista, havendo respondentes membros desde o início em 1997 até membros recentes em 2016, com uma boa distribuição ao longo dos anos.

Nove respondentes acessam a lista de discussão diariamente, quatro semanalmente e um eventualmente. As mensagens da lista podem ser enviadas pelo servidor diariamente ou semanalmente, conforme configuração do usuário. Em 26/jan./2017 havia 293 membros diários e 58 semanais, o que confirma a tendência da amostra.

Quanto à participação ativa na lista, de 14 respondentes, sete postam apenas quando o assunto é de domínio deles, para seis, basta estarem interessados no assunto e um nunca posta.

Doze respondentes definiram “Informação” nos contextos de suas pesquisas. As definições foram transcritas para o Quadro 13.

Quadro 13: Definições de "Informação" formuladas pelos respondentes do questionário

#	Definição de Informação
1	A percepção humana limita-se à percepção das formas. Referimo-nos a estas formas como informação.
2	Quantidade adimensional que representa uma elevação de incerteza e possivelmente apoiado por uma energia.
3	Um modelo que envolve aspectos de Shannon (estatísticos), juntamente com papéis "significativos" (selecionados, funcionalmente significativos).
4	A informação é equivalente a vínculos e também a distinção.
5	Informação é uma seleção de uma oferta de significado feita por um intérprete (Luhmann: Information, Mitteilug, Verstehen = Kommunikation)
6	Dados bem formados e significativos (independentemente do valor de verdade), isto é, a "definição geral de informação" de Floridi.
7	A informação é uma diferença que faz a diferença para um ser vivo.
8	A informação-neguentropia está calculada de acordo com Brillouin
9	A estrutura de informação está mesurada por $\log_2(1/P)$ e não passa pela fórmula de Shannon
10	A informação são fatos básicos e processos, tanto inatos quanto aprendidos.
11	A informação é uma distinção que faz uma diferença
12	A informação é entropia memorizada revelando correlações ocultas em observações.
12	Eu não sei!

Alguns princípios básicos que permearam as definições foram a teoria matemática da comunicação de Shannon, a semiótica de Peirce, a relação do conceito de informação com vínculos (KAUFFMAN et al., 2008), a filosofia da informação e a “diferença que faz a diferença”

do cientista inglês Gregory Bateson e a definição de comunicação de Luhmann (SANTOS, 2005, p.71).

Foi solicitado em seguida aos respondentes uma definição para “Ciência da Informação” no contexto da lista de discussão FIS. As respostas são mostradas no Quadro 14

Quadro 14: Definições de "Ciência da Informação" formuladas pelos respondentes do questionário

#	Definição de Ciência da Informação
1	A ciência da informação está focada na teoria, tecnologia e técnicas de transferência e manipulação de formas.
2	Tudo que diz respeito à informação, além de Shannon
3	O estudo da informação em um papel fundamental, ou a gênese da informação.
4	A ciência da informação é uma tentativa de unificar nossa compreensão da informação sob o escopo mais amplo possível.
5	Ciência da Informação é um campo de pesquisa interdisciplinar onde o conceito é definido adequadamente em relação a cada campo, bem como ligado a outros campos, mas não necessariamente sendo unívoco, equívoco ou análogo todo tempo.
6	Ciência da informação é uma disciplina em potencial que tenta encontrar uma teoria unificada de informação que tem poder de explicação elevado tanto para fenômenos de informação e disciplinas relevantes para a informação.
7	Ciência da informação é uma maneira de formalizar a informação, e engloba representação e atribuições semânticas
8	A ciência da informação aparece em todas as áreas da ciência desde a Física básica até a sociologia. Se aplicada de forma correta, iria desenvolver os recursos para cobrir todas estas aplicações.
9	No contexto FIS, Ciência da Informação é uma vasta gama de conceitos mal distinguidos.
10	É uma disciplina muito importante em pleno em desenvolvimento!

Fonte: membros da lista FIS

As definições 5 e 8 citam o caráter interdisciplinar e contexto dependente da CI. As definições 1 e 7 atribuem à CI a função de dar significado e humanizar a CI, em contraponto às teorias matemáticas da informação. As definições 2, 3, 4 e 6 atribuem à CI o dever de unificar o conceito de informação. A definição 9 é uma crítica às discussões da lista FIS.

8.8 Entrevistas

A seguir, os conceitos de informação e ciência da informação bem como algumas particularidades dos entrevistados são apresentados.

8.8.1 Entrevistado 1

O primeiro entrevistado é Cientista da Informação estrangeiro, participante da lista FIS. Se graduou em engenharia e migrou no doutorado para área da informação, no contexto da biologia e neurociência.

Para ele não há definição única para “Informação”, o pesquisador tem que fazer uma escolha que irá depender do contexto. A que mais se ajusta à sua pesquisa é “Interação entre sujeitos e vizinhança⁹⁶”, pois não há informação se não houver contato. A informação é parte integrante da comunicação entre dois sujeitos que estão em contato entre si e com a vizinhança.

Sobre Ciência da Informação, ele a considera o campo mais importante da ciência hoje. A Wikipedia define a CI como “um campo interdisciplinar que se ocupa principalmente da análise, coleta, classificação, manipulação, armazenamento, recuperação, movimentação, disseminação e proteção da informação”. Mas para o entrevistado, a CI não se resume a isso. A Física clássica foi extremamente importante para a primeira revolução industrial. Analogamente, vivemos hoje uma revolução informacional onde o fluxo artificial de informação está por toda a parte. Além disso, de acordo com suas pesquisas e de outros, os mecanismos ligados à vida, como reprodução e organização, não podem ser explicados sem os conceitos de informação e comunicação entre entes vivos, como células, homens e sociedades. Portanto, o que é mais importante nos dias de hoje: entender em detalhes o funcionamento de um motor de automóvel ou a dinâmica dos seres vivos do planeta?

O entrevistado citou a frase de Michael Conrad “Se você olha para a organização da vida, você está olhando ao mesmo tempo para a organização do universo”, dito na 1ª conferência da iniciativa FIS em 1994 para fazer uma ponte com a multidisciplinaridade das discussões da lista FIS. As ideias das ciências naturais podem se conectar às ciências sociais e da vida em torno do conceito de informação.

8.8.2 Entrevistado 2

O segundo entrevistado é filósofo e cientista da informação estrangeiro, participante da lista FIS. Tem graduação e doutorado em Filosofia, cuja tese foi sobre o conceito de

⁹⁶ Em Ciências Naturais é comum a delimitação de um Sistema a ser analisado. O que está fora do Sistema é chamado de “Vizinhança”, como já visto na seção 6.1.

informação. Atualmente trabalha com Ética da Informação. Aproximou-se do objeto de estudo “informação” por intermédio do físico e filósofo Carl Friedrich von Weizsäcker. Desta forma, os temas da Física relacionados à informação também são de seu interesse.

Para o entrevistado, informação é um elemento da definição de comunicação de Niklas Luhmann, importante sociólogo alemão falecido em 1998. Em suas palavras, Luhmann “pensa as informações (em alemão: "Information") como o processo de seleção de um sistema com base em uma "oferta de sentido”, que ele chama de "Mitteilung" (comunicação em alemão). Esta seleção, de acordo com os parâmetros do sistema, leva ao sentido selecionado dentro do sistema, chamado de "compreensão" ("Verstehen"). Ou seja, a informação é um momento conceitual dentro do processo de comunicação, que inclui a oferta de sentido e a compreensão do sentido selecionado dentro do sistema”. E ele continua “A diferença entre ‘oferta de sentido’ (Mitteilung) e ‘informação’ ("Information") - que são sinônimos no alemão corrente - é essencial e põe em questão o senso comum de que informação é algo que se move entre A e B (Shannon).” Mas sob a ótica de Luhmann, o que trafega é a mensagem. Então uma Teoria das Mensagens (não da informação) seria mais abrangente e a teoria de Shannon faria parte dela.

Quando questionado sobre a possibilidade de uma Teoria Unificada não Reducionista da Informação, o entrevistado crê que é possível, mas é necessário antes definir o que se entende por “unificação”. Os fenômenos informacionais que acontecem em diferentes contextos podem estar relacionados e um olhar interdisciplinar pode ajudar a identificar similitudes, analogias e diferenças, de modo que seja possível um pensamento único em vários contextos aparentemente tão distantes quanto, por exemplo, biologia e redes sociais.

Sobre a lista FIS, ele reconhece que as discussões se aproximam mais das áreas da Física e matemática do que propriamente de questões sociais, as quais ele considera muito importantes e úteis na resolução de problemas atuais.

8.8.3 Entrevistado 3

O terceiro entrevistado é físico e *Media Ecologist*⁹⁷ estrangeiro, participante da lista FIS. É professor há muitos anos e, apesar de aposentado, ainda ministra cursos na

⁹⁷ A *Media Ecology Theory* é o estudo da mídia, tecnologia e comunicação e como estes afetam os ambientes humanos.

universidade, um destes intitulado “O que é informação?”. Sua aproximação com Ciência da Informação veio por influência de Marshall McLuhan, com quem colaborou, e que inspira suas pesquisas atuais, que incluem interfaces com áreas como administração, biologia e linguística.

Para o entrevistado, há muitas definições para informação. Ele cita as definições de Donald M. MacKay e Gregory Bateson, “a distinção que faz a diferença” e “a diferença que faz a diferença”, respectivamente que relacionam informação a algo que tenha um objetivo ou propósito. Mas para o entrevistado, Informação é aquilo que possibilita, aos organismos vivos, fazerem escolhas. Os seres vivos estão constantemente emitindo e recebendo sinais da vizinhança, trocando informações, fundamentalmente em busca da sobrevivência. Esta troca os torna mais organizados. Para haver informação é necessário que haja seres vivos. A teoria de Shannon não fala sobre informação, mas sim sobre sinais, é uma Teoria da Sinalização, pois, o problema dele é transmitir sinais do ponto A para o ponto B, independente de significado e, sem significado, não há informação.

8.8.4 Entrevistado 4

O quarto entrevistado é físico experimental brasileiro em ressonância magnética nuclear (RMN), que se especializou em informação quântica. Ele não é membro da lista FIS. É autor de livros de divulgação científica adotados em escolas. Seu interesse pelo objeto de estudo Informação veio do desejo de fazer algo diferente e multidisciplinar, utilizando seu conhecimento e habilidades.

A computação quântica, idealizada por Feynman, começou nos anos 1980 com a consolidação de teorias e viabilidade de construção do computador quântico. Uma das técnicas experimentais para implementação da computação quântica foi a RMN, especialidade do entrevistado, que abraçou a oportunidade de trabalhar com os fundamentos da Física em uma área experimental. Nas palavras do entrevistado, “a Mecânica Quântica é a teoria mais bem-sucedida na história da Ciência (não apenas da Física), mas do ponto de vista das interpretações, da compreensão, esta é altamente controversa, tem aspectos filosóficos, é fascinante!”. As pesquisas em computação e informação quânticas são interdisciplinares porque misturam várias técnicas experimentais da Física, envolvendo subáreas como

supercondutividade⁹⁸, óptica quântica, RMN, entre outras. A informação quântica é objeto de estudo comum que possibilitou que físicos teóricos e experimentais de diversas subáreas, bem como cientistas da informação, falassem “a mesma língua”, facilitando a pesquisa multi e interdisciplinar. No Brasil foi criado o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) de Informação Quântica, que conta com cerca de 300 estudantes e pesquisadores, colocando o Brasil numa posição de destaque na América Latina. Mas o maior problema do Brasil, segundo o entrevistado, é “transpor as barreiras acadêmicas”. Apesar de estarmos bem na área da pesquisa, a academia não está preparada e nem sabe como transformar este conhecimento em tecnologia e posteriormente em produto. Outra área importante é a da Comunicação Quântica, baseada no fenômeno do emaranhamento quântico com aplicações, principalmente, em segurança nas comunicações. Estes estudos estão avançados e já há no mundo pelo menos duas empresas que vendem esta tecnologia. Segundo o entrevistado, o Brasil teria condições de desenvolver esta tecnologia se houvesse incentivo.

Com relação à definição de informação no contexto da computação quântica, o entrevistado fez uma analogia entre a teoria de Shannon e a mecânica dos movimentos. A teoria de Shannon não tem dinâmica, não inclui as causas dos fenômenos, apenas os descreve, similar ao estudo do movimento por meio da cinemática. As Leis de Newton trouxeram dinâmica ao estudo do movimento dos planetas, por exemplo. A teoria quântica da Informação é dinâmica, ou seja, esta descreve como a informação evolui ao longo do tempo, regida pelas leis da mecânica quântica. No mundo quântico há uma variedade de fenômenos muito maior que no mundo clássico (regido pelas leis da Física Clássica). Enquanto um bit clássico pode ser uma voltagem elétrica, por exemplo $0\text{ V} = 0$ e $5\text{ V} = 1$, o bit quântico, ou *qubit*, é uma superposição de estados clássicos mutuamente excludentes. Por exemplo, um elétron pode estar no estado fundamental e no estado excitado ao mesmo tempo, um fóton pode estar polarizado verticalmente e horizontalmente ao mesmo tempo. Esta superposição é a base do paralelismo da computação quântica. Para isso, foi desenvolvida a Teoria da Informação Quântica, da qual a teoria de Shannon é um caso particular.

O computador quântico será uma realidade no futuro porque não existe nenhum impedimento físico para que isto aconteça. Há limitações tecnológicas, mas já estamos no caminho para superá-las. Entretanto, estes não irão substituir os computadores convencionais

⁹⁸ A supercondutividade é utilizada em um computador quântico da IBM disponibilizado na nuvem em <http://www.research.ibm.com/quantum/>. Acesso em: 27/jan./2017.

que executam múltiplas tarefas, ao contrário, serão máquinas específicas para resolver certos problemas. Por exemplo a fatoração de grandes números em seus fatores primos é impossível de ser resolvida por um computador tradicional, entretanto, utilizando o algoritmo de Shor, um computador quântico forneceria a solução de forma rápida. A dificuldade da fatoração é o princípio dos algoritmos de criptografia atuais, portanto a viabilização da computação quântica traria impactos em praticamente toda comunicação eletrônica. A descoberta de problemas que podem ser resolvidos com a ajuda da computação quântica é uma área de pesquisa que tem crescido, os problemas estão “ocultos”.

Há uma pergunta fundamental na Física: onde o mundo deixa de ser quântico para ser clássico. Sabemos que um átomo é regido pelas leis da mecânica quântica e uma bola de gude é clássica. Mas em que ponto ocorre a transição? O entrevistado explica que a questão não é o tamanho, mas sim a interação com a vizinhança. Um sistema quântico perde coerência ao interagir com a vizinhança, se tornando clássico. No contexto da teoria da informação quântica, a perda de coerência significa perda de informação. O mundo clássico na verdade é uma “ilusão”, uma visão incompleta da realidade, que só existe quando o observador não tem acesso à informação. Se houvesse um meio de termos todas as informações de um sistema, o observaríamos obedecendo às leis da mecânica quântica (é o que conseguimos com sistemas pequenos). Com o entendimento dos fundamentos da mecânica quântica, a informação entrou no vocabulário específico da Física para ser considerado o seu conceito mais fundamental. Ao descobrirem isso, cientistas (como Weizsäcker) propuseram reconstruir a mecânica quântica como uma teoria da informação, e mais do que isso, uma teoria do que nós não podemos saber. Com efeito, o princípio da incerteza impede que tudo seja conhecido, ou seja, ter informação sobre tudo é impossível, de acordo com a mecânica quântica.

8.8.5 Entrevistado 5

O quinto entrevistado é físico e cientista da informação, com habilidades em informática, que pesquisa hoje Dados de Pesquisa, repositórios e *e-Science*. Ele não é membro da lista FIS. O seu interesse pela CI adveio de uma oportunidade de trabalho como indexador num grande centro de informações nucleares, na década de 1980. Ele encantou-se com o trabalho multidisciplinar de especialistas em subáreas da Física, bibliotecários e pessoal da computação em um ambiente interativo onde as conversas poderiam ir desde a Física e filosofia até questões sociais e humanísticas.

O centro de informações servia de intermediário entre as informações e os usuários. Com a chegada da Internet, a nova intermediária, o que o entrevistado chamou de “triângulo amoroso” acaba ocasionando o enfraquecimento de centros de informação como este. Então, o entrevistado se aproximou da *e-Science* por meio de uma orientação de tese de doutorado.

Situação análoga ao dos centros de informação acontece com as bibliotecas de pesquisa, mas que pode ser minimizado com o advento dos Dados de Pesquisa, porque estes precisam de curadoria, papel que pode ser assumido por essas bibliotecas.

Algumas subáreas da CI, como Recuperação da Informação e Web Semântica, são de interesse de físicos e cientistas da computação que podem utilizar as suas habilidades em problemas fundamentados em CI. A *e-Science* atinge um espectro mais amplo da multidisciplinaridade envolvendo pesquisadores em computação e ciências naturais de forma mais integrada.

Os Dados de Pesquisa são quase documentos arquivísticos porque necessitam autenticidade, integridade e também de intervenção forte, ou seja, precisam de Preservação Digital. O entrevistado integra estas duas áreas em suas pesquisas por meio dos chamados Repositórios Confiáveis. As ciências exatas geram muitos dados de pesquisa que devem ser preparados para sistemas de acesso multidisciplinar, por exemplo, os dados de uma pesquisa em Física podem estar disponíveis para outras pesquisas em Química. A alta disponibilidade de dados, por exemplo na área de Física das Partículas e Astronomia, proporciona uma inversão do paradigma de pesquisa experimental, em que os dados são primeiro coletados para depois serem formuladas as hipóteses. Para o cientista da informação, o depósito de dados de pesquisa em repositórios confiáveis permitiria a observação dos processos científicos (erros, acertos e metodologias) ao invés de apenas os produtos finais (*outputs*). Como envolve mudanças na rotina de trabalho dos cientistas, a implementação destes sistemas depende também da formulação de políticas e da observação de aspectos sociais da ciência. Os Dados de Pesquisa poderiam ser abordados em um tópico de discussão da lista FIS ou fazer parte da própria organização dos dados da lista e foi sugestão do entrevistado para uma das perguntas do questionário.

A definição de informação utilizada pelo entrevistado em suas pesquisas é a do *Open Archive Information Systems* (OAIS) que rege o padrão utilizado pelos repositórios confiáveis. Nas palavras do entrevistado, “A informação é entendida como qualquer forma de

conhecimento que pode ser intercambiado”, ou seja, é o conhecimento dinamizado⁹⁹. Os dados só são considerados informação se estiverem representados em um contexto onde o público alvo possa compreendê-los. É análogo ao arquivamento de um livro escrito em português. Para ser compreendido daqui a 1000 anos, este deve ser armazenado junto com a gramática e o dicionário.

A área de Dados de Pesquisa “salva” a Ciência da Informação, pois, é muito avançada tecnologicamente, mas preserva todos os pressupostos da CI e abre espaço para pesquisas inéditas.

⁹⁹ No contexto do OAIS, os Objetos de Dados existem em duas formas: como um objeto físico (por exemplo, um documento em papel, uma amostra de solo), ou como um objeto digital (por exemplo, um arquivo PDF, um arquivo TIFF).

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para investigar a interdisciplinaridade entre Física e Ciência da Informação foi necessário revisitar os estudos em Comunicação Científica, Interdisciplinaridade, Conceito de Informação e a própria definição de Ciência da Informação.

No Fluxo da Informação da pesquisa científica há perdas ou ocultamentos de dados (Figura 10) porque os Dados de Pesquisa não estão disponíveis nos produtos finais (*outputs*). Por estes serem os elementos mais bem documentados e indexados das pesquisas, terminam sendo os mais analisados pela CI. Entretanto, é muito difícil avaliar a Pesquisa Interdisciplinar usando, por exemplo, os critérios de Klein (Capítulo 4), apenas observando os *outputs* da ciência. Métodos de identificação e medição da interdisciplinaridade que analisam a estrutura das publicações científicas (mapas da ciência, co-citação, co-autoria, *co-words*) foram desenvolvidos em busca de “pistas” deixadas pelos dados ocultados (Capítulo 4). A presente pesquisa desenvolveu um novo método na busca de se tornar mais adequado para analisar a interdisciplinaridade entre Física e CI, a Transposição Científica (Capítulo 5). Mais do que apenas um método envolvendo palavras-chave, a TC se mostrou útil para delimitar o assunto “Interdisciplinaridade” que definimos nesta tese como a transposição de termos, métodos e outros elementos de uma disciplina para outra. Apesar da pesquisa interdisciplinar ser bidirecional, a TC, como foi definida, mede apenas a interdisciplinaridade em uma direção, no nosso caso, da Física para CI. Além disso, os quatro níveis de TC definidos na Seção 5.2, traçam um paralelo com os níveis de interdisciplinaridade observados por Olga Pombo, dando consistência ao método.

Muitas das considerações finais encontraram inspiração na revisitação das entrevistas gravadas e em mensagens da lista FIS, selecionadas ao longo da pesquisa, como apontado neste capítulo final.

O principal elemento de ligação entre Física e CI é a Informação, um conceito sensível ao contexto, por exemplo, diversas subáreas da CI utilizam definições diferentes para Informação. Talvez por isso o conceito de informação foi discutido mais no campo epistemológico do que pragmático, em *posts* da lista FIS. Uma teoria da informação unificada não reducionista¹⁰⁰ é possível, de acordo com o Entrevistado 2, e poderia trazer consenso a esta polêmica discussão.

¹⁰⁰ Como definida em <http://glossarium.bitrum.unileon.es/Home/teoria-unificada-de-la-informacion-tui/unified-theory-of-information--ut>. Acesso em: 5/fev./2017.

Descobrimos, em nossos resultados (Capítulo 8) que a Informação no contexto da Física é utilizada em artigos científicos na área de CI. Por este motivo, foi necessária a apresentação de algumas importantes definições de informação em Física (Capítulo 6). Em muitas definições, as palavras Matéria, Energia, Espaço e Tempo apareceram. Estas, juntamente com Personalidade, compõem as cinco categorias da Classificação Facetada de Ranganathan. A análise do que o levou a escolher estes termos, seus significados e relações entre estes com o conceito de informação em Física, pode ser tema de futuras pesquisas. Inclusive os estudos em Recuperação da Informação, muitas vezes relacionados com a Classificação Facetada, foram identificados nesta tese, em artigos onde houve TC da Física para CI.

O Entrevistado 4 (Seção 8.8.4) acrescenta que a introdução de estudos de informação na mecânica quântica facilita sua interpretação, fato ratificado pelos teóricos, que afirmam que a Informação é o elemento mais importante do mundo físico (Seções 6.4, 6.5 e 6.6). Afirmações e estudos como estes podem abrir caminho para pesquisas sobre a influência da Ciência da Informação na Física. Estas seriam possíveis transposições científicas que ocorreriam na direção inversa da estudada nesta tese. Por exemplo, no campo teórico, o quanto os resultados de estudos epistemológicos sobre o conceito de informação em CI, estruturados há décadas, poderiam ser transpostos para as pesquisas em Informação Quântica? No campo prático, o quanto as metodologias desenvolvidas em Recuperação da Informação poderiam ser aproveitadas em estudos empíricos de Física de Altas Energias?

As análises exploratórias mostraram que físicos e o próprio paradigma físico esteve presente no início da formalização da CI e que físicos como Price, Medows e Ziman são influentes ainda hoje nas pesquisas em CI, especialmente no Brasil. A medição da interdisciplinaridade, utilizando a metodologia da Transposição Científica, mostrou que há aproximadamente 5% de interdisciplinaridade da Física para CI. Concluímos que esta interdisciplinaridade existe e se mostra principalmente nas subáreas que envolvem metrias da informação e comunicação, mas também em outras como preservação e recuperação da informação.

A Transposição Científica (TC) foi aplicada apenas a um dos tópicos agrupados da lista de discussão FIS, a Informação em Física. Mas os dados desta pesquisa ainda podem ser utilizados para análises de outros tópicos da lista FIS. Além disto, não foi feita, ainda, a análise qualitativa dos resultados para identificar os níveis de TC dos artigos considerados interdisciplinares. Esta classificação poderá ser feita, por exemplo, nos artigos considerados mais relevantes pelo

WoS. Os níveis de TC poderiam ainda ser confrontados com a distância entre as disciplinas em mapas da ciência, em uma espécie de mesclagem de métodos. A TC não foi testada de forma dinâmica, ou seja, para acompanhar a evolução da TC ao longo do tempo, a fim de verificar a evolução dos níveis.

Tanto os métodos de identificação e medição da interdisciplinaridade apresentados no Capítulo 4 quanto a Transposição Científica têm potencial para ajudar organizações brasileiras, como a CAPES, a identificar a interdisciplinaridade de grupos de pesquisa e mesmo de disciplinas, para melhor classificá-las e avaliá-las. Para isto, bastariam ser analisados os documentos de projetos de pesquisa, bem como seus relatórios, em busca de ITC que pudessem servir de base para medição das interdisciplinaridades absolutas e relativas.

O mergulho na lista de discussão FIS permitiu acompanhar postagens sobre tópicos, como informação em Física e conceito de informação, além de outros mais específicos. Além das mensagens, as relações sociais entre os autores poderiam ser aprofundadas. Os principais participantes ativos da lista são pesquisadores experientes que ouvem os demais, mas defendem suas convicções, de forma que nós observamos discussões multidisciplinares, ou seja, diversas disciplinas estiveram presentes nos debates analisados, mas não houve articulação suficiente para serem caracterizados como interdisciplinares.

A seguir, alguns exemplos de textos postados na lista FIS que poderiam se desdobrar em discussões interdisciplinares com a CI. Em 19/dez./2016, Dick Stout escreveu sobre uma sutileza na Teoria de Shannon (TMC), que define a “quantidade de informação” em bits, e não a “informação”, ou seja, não é possível desenvolver o conceito de informação a partir da TMC. Seria como tentar entender a natureza da água a partir da medição de sua quantidade em litros. Esta impossibilidade e outras características epistemológicas da informação levaram Capurro a entender as Mensagens como elementos fundamentais em Ciência da Informação, desenvolvendo assim a Angelética. Este poderia ser um ponto de partida para discussões interdisciplinares que, infelizmente, não ocorreram ainda na lista.

Em janeiro de 2015, em discussão liderada por Terrence W. Deacon sobre Teorias da Informação, Gordana Dodig-Crnkovic escreveu “É por isso que a sugestão de estudar a Informação, não só em Física e Química, em um sistema simplificado bem definido, mas em muitos níveis diferentes de abstração, é relevante. Algumas pessoas, como Alexej Kurakin, veem estruturas fractais regendo a geração de informação, desde átomos até as sociedades humanas, e pode-se aprender sobre as propriedades de um nível a partir dos padrões

observados em outros níveis.” Esta afirmação vem ao encontro de discussões sobre transposições científicas não reducionistas da Física para as Ciências sociais por meio de teorias da informação, que poderiam ser o ponto de partida de estudos interdisciplinares entre estas áreas.

Em 26/mai./2015, John Collier fez uma associação das Simetrias, estudadas em diversos campos da Física, em especial em Física de Partículas, com a informação. “A relação da geometria com a teoria da informação (e também da teoria das partículas na Teoria Padrão) é por meio da teoria dos grupos. Os grupos descrevem simetrias, que são reversíveis. O que resta são as assimetrias, que são as diferenças que podem ser identificadas como informação.” A palavra “diferenças” remete à clássica definição de informação “diferença que faz a diferença” do filósofo Gregory Bateson, ou seja, há cientistas relacionando (e até mesmo identificando) “informação” com essa assimetria, essa diferença. Isto vai ao encontro do pensamento de Belkin & Robertson quando dizem que informação é aquilo que “transforma estruturas”. As estruturas estabelecidas estão em equilíbrio, estáticas, “sem emoção”. O que causaria a “transformação” dessas estruturas? Poderiam ser assimetrias? O mesmo conceito pode ser cientificamente transposto para a arte. O que emociona (informa), são as regularidades ou as assimetrias (surpresas)? Pode estar também na relação entre informação e inovação. A inovação pode ser análoga à uma quebra de simetria? Uma discussão mais profunda com Collier poderia trazer o processo pelo qual ele (e seu aluno de doutorado) desenvolveu esta relação potencialmente interdisciplinar.

Em uma lista de discussão, *Thread* pode significar também o conjunto de mensagens que comentam o mesmo tópico, ou seja, a mensagem inicial e suas respostas, que podem atingir diversos níveis de profundidade, alcançados por réplicas, tréplicas e assim por diante. Mensagens de um mesmo *Thread* têm o mesmo texto no assunto e a profundidade é medida pela quantidade de “Re:”. Zelman e Leydesdorff (2000) estudaram a influência da frequência e profundidade das mensagens de uma lista de e-mails e as relacionaram com a produção de conhecimento na área específica em discussão. Um desdobramento natural seria utilizar metodologia semelhante nesta tese para investigar a relação entre *Threading* e a interdisciplinaridade. Entretanto, é hábito dos membros da lista FIS alterar o assunto ao responder, impedindo assim a contagem automatizada, que é essencial neste tipo de análise. Portanto, poderia ser sugerido ao grupo de participantes da lista que preservassem este “metadado” para facilitar pesquisas futuras. Neste sentido, análises de co-autoria e co-citação

entre os membros da lista, assim agrupados, poderiam revelar indícios de interdisciplinaridade.

Uma visão mais ampla da CI foi apresentada pelo Entrevistado 1, que a considera “a área de pesquisa mais importante da ciência”, e esta ideia está no site oficial da FIS. Neste sentido, poderíamos seguir as ideias de Rosenbloom no livro *“On Computing”* e dividir a ciência em quatro grandes domínios, os três tradicionais, Físico, Social e da Vida, e um quarto que seria o Informacional¹⁰¹, de forma que todos campos de estudo seriam uma composição ontológica¹⁰² dos principais domínios. Outra proposta semelhante, porém, mais pragmática, seria, seguindo Loet Leydesdorff, propor uma espécie de “decomposição” da ciência em “fatores”, utilizando a técnica *Factor Analysis*, um método estatístico utilizado em ciências sociais. Esta técnica é análoga à decomposição de vetores ou estados quânticos no espaço de Hilbert. Em ambos os casos, poderia ser revelado o papel da informação ou do domínio informacional em todas as áreas no mundo científico moderno que, por sinal, é dependente da comunicação eletrônica.

Em resumo, os resultados desta tese mostram que a Física está presente na pesquisa em Ciência da Informação, principalmente de forma indireta, ou seja, por meio de outras disciplinas como Biologia, Filosofia e Engenharia. A Física tem cerca de 13% da intensidade de interdisciplinaridade que as Ciências Sociais têm com a CI (Quadro 10). A iniciativa FIS amplia a abrangência da Ciência da Informação e discute exaustivamente em sua lista tanto o conceito de informação quanto a informação em Física, para dar sentido a esta amplitude. Apesar das discussões aprofundarem em várias disciplinas, não foram observados projetos interdisciplinares entre os membros da lista FIS.

Esperamos, com esta pesquisa, abrir caminho para estudos de interdisciplinaridade entre a CI e outras disciplinas, que o método da Transposição Científica possa ajudar a entender melhor estas relações, que as relações indiretas com a Física sejam percebidas, que a informação em Física, especialmente as relacionadas com Mecânica Quântica, possam ser aprofundadas em cursos de pós-graduação em CI.

Os desdobramentos desta tese envolverão o aprofundamento do estudo das relações entre os autores mais produtivos da lista FIS, aplicação do método da transposição científica em outras listas de discussão ou canais informais de comunicação científica e análise e classificação de teorias da informação unificadas não reducionistas.

¹⁰¹ No livro de Rosenbloom, o quarto domínio é o Computacional.

¹⁰² Como definida na computação (não na filosofia).

REFERÊNCIAS

- ACADEMIES, N. **Facilitating interdisciplinary research**. Washington, D.C.: National Academies Press, 2004.
- ANDRÉS, A. **Measuring academic research : how to undertake a bibliometric study**. Oxford: Chandos Publishing, 2009.
- BABBIE, E. **Métodos de pesquisas de survey**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2003.
- BAIS, F. A.; FARMER, J. D. The physics of information. **arXiv preprint:0708.2837v2**, 2007.
- BAUER, M. W.; GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático**. 10. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2012.
- BENNETT, C. H. The thermodynamics of computation—a review. **International Journal of Theoretical Physics**, v. 21, n. 12, p. 905–940, Dec. 1982.
- BJÖRK, B.-C. A model of scientific communication of a global distributed information system. **Information Research**, v. 12, n. 2, p. 1–47, 2007.
- BOLLEN, J. et al. Clickstream data yields high-resolution maps of science. **PLoS ONE**, v. 4, n. 3, p. e4803, 11 mar. 2009.
- BORKO, H. Information science: what is it? **American Documentation**, v. 19, n. 1, p. 3, jan. 1968.
- BRAGA, G. M. Informação, ciência, política científica: o pensamento de Derek de Solla Price. **Ciência da Informação**, v. 3, n. 2, 1974.
- BRAGA, K. S. Aspectos relevantes para a seleção de metodologia adequada à pesquisa social em Ciência da Informação. In: MULLER, S. P. M. (Org.). **Métodos para a pesquisa em Ciência da Informação**. Brasília: Thesaurus, 2007. p. 17–38.
- BRILLOUIN, L. Maxwell's demon cannot operate: information and entropy I. **Journal of Applied Physics**, v. 22, n. 3, p. 334, 1951a.
- BRILLOUIN, L. Physical entropy and information II. **Journal of Applied Physics**, v. 22, n. 3, p. 338, 1951b.
- BRILLOUIN, L. The negentropy principle of information. **Journal of Applied Physics**, v. 24, n. 9, p. 1152, 1953.
- BROMME, R. Beyond one's own perspective: The psychology of cognitive interdisciplinarity. In: WEINGART, P. e STEHR, N. (Ed.). **Practicing interdisciplinarity**. Toronto: University of Toronto Press, 2000. p. 115–133.
- BROOKES, B. C. The foundations of information science. Part III. Quantitative aspects: objective maps and subjective landscapes. **Journal of Information Science**, v. 2, n. 6, p. 269–275, 1980.
- BUSH, V. As we may think. **The Atlantic**, v. 176, p. 101–108, July 1945.
- CAPURRO, R. On the genealogy of information. In: KORNWACHS, K (Ed.). **INFORMATION. New questions to a multidisciplinary concept**. Berlim: Akademie Verlag, 1996. p. 259–271.

CAPURRO, R. Pasado, presente y futuro de la noción de información. **Logeion: Filosofia da Informação**, v. 1, n. 1, p. 110–136, 24 out. 2014.

CAPURRO, R.; FLEISSNER, P.; HOFKIRCHNER, W. Is a unified theory of information feasible? A dialogue. **World Futures: Journal of General Evolution**, v. 49, n. 3–4, p. 213–234, 1997.

CAPURRO, R.; HJORLAND, B. O conceito de informação. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 12, n. 1, p. 148–207, Apr. 2007.

CRONIN, B.; SUGIMOTO, C. R. **Beyond bibliometrics**: harnessing multidimensional indicators of scholarly impact. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2014.

DANTAS, M. Sistemas de informação: a evolução dos enfoques. **Ciência da Informação**, v. 21, n. 3, 1992.

DE BELLIS, N. **Bibliometrics and citation analysis**: from the science citation index to cybermetrics. Maryland: Scarecrow Press, 2009.

DOWLING, J. P.; MILBURN, G. J. Quantum technology: the second quantum revolution. **Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences**, v. 361, n. 1809, p. 1655–74, 15 ago 2003.

FEYNMAN, R. P. Simulating physics with computers. **International Journal of Theoretical Physics**, v. 21, n. 6–7, p. 467–488, June 1982.

FLORIDI, L. **Information**: a very short introduction. New York: Oxford University Press, 2010.

FREIRE, I. M.; ARAÚJO, V. M. R. H. DE. Tecendo a rede de Wersig com os indícios de Ginzburg. **DataGramaZero**, v. 2, n. 4, 2001.

GARFIELD, E. Citation indexes for science: a new dimension in documentation through association of ideas. **Science**, v. 122, n. 3159, p. 108–111, 1955.

GARFIELD, E.; MALIN, M. V.; SMALL, H. Citation data as science indicators. In: ELKANA, Y. et al. (Ed.). **Toward a metric of science**: the advent of science indicators. New York: John Wiley & Sons, 1978. p. 179–208.

GARVEY, W. D. **Communication**: the essence of science: facilitating information exchange among librarians, scientists, engineers and students. Oxford: Pergamon Press, 1979.

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Training science information specialists. Proceedings...** Atlanta: Georgia Institute of Technology, 1962

GORNITZ, T. New look at the large numbers. **International Journal of Theoretical Physics**, v. 25, n. 8, p. 897–904, Aug. 1986.

GRIFFITH, B. C. et al. The structure of scientific literatures II: toward a macro- and microstructure for science. **Social Studies of Science**, v. 4, n. 4, p. 339–365, 1974.

HANSEN, A. Grand challenges in interdisciplinary physics. **Frontiers in Physics**, v. 2, p. 1–2, 9 out. 2014.

HELMAN, J. S. (CBPF); GRINSTEIN, B. (FERMILAB). **Termodinamica Fenomenologica y Estadística**. Rio de Janeiro: CBPF, 1988.

- IVANCHEVA, L. E. The non-Gaussian nature of bibliometric and scientometric distributions: a new approach to interpretation. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 52, n. 13, p. 1100–1105, 2001.
- JAPIASSÚ, H. **Interdisciplinaridade e patologia do saber**. Rio de Janeiro: Imago Editora, 1976.
- JAPIASSÚ, H.; MARCONDES, D. **Dicionário básico de filosofia**. 4. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2006.
- KAUFFMAN, S. et al. Propagating organization: an enquiry. **Biology & Philosophy**, v. 23, n. 1, p. 27–45, 2008.
- KESSLER, M. M. Bibliographic coupling between scientific papers. **American Documentation**, v. 14, n. 1, p. 10–25, 1963.
- KLEIN, J. T. **Interdisciplinarity: history, theory, and practice**. Detroit: Wayne State University Press, 1990.
- KLEIN, J. T. Evaluation of interdisciplinary and transdisciplinary research. A Literature review. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 35, n. 2 suppl., 2008.
- KOBER, M. Quantum theory of ur objects and general relativity. **arXiv preprint: 0905.3828v3**, 2009.
- LANDAUER, R. Information is physical. **Physics Today**, v. 44, n. 5, p. 23–29, 1991.
- LANDAUER, R. Irreversibility and heat generation in the computing process. **IBM Journal of Research and Development**, v. 44, n. 1, p. 261–269, 2000.
- LEE, J. J.; KANTOR, P. B. A study of probabilistic information retrieval systems in the case of inconsistent expert judgments. **Journal of the American Society for Information Science**, v. 42, n. 3, p. 166–172, Apr. 1991.
- LEFF, H. S.; REX, A. F. **Maxwell's Demon 2: entropy, classical and quantum information computing**. Philadelphia: Intitute of Physics Publishing, 2003.
- LEYDESDORFF, L.; CARLEY, S.; RAFOLS, I. Global maps of science based on the new Web-of-Science categories. **Scientometrics**, v. 94, n. 2, p. 589–593, 2013.
- LLOYD, S. **Programming the universe: a quantum computer scientist takes on the cosmos**. New York: Knopf Doubleday Publishing Group, 2006.
- LOGAN, R. K. **Que é informação? a propagação da organização na biosfera, na simbolosfera, na tecnosfera e na econosfera**. Rio de Janeiro: Contraponto - PUC-Rio, 2012.
- LYRE, H. Quantum theory of Ur-objects as a theory of information. **International Journal of Theoretical Physics**, v. 34, n. 8, p. 1541–1552, Aug. 1995.
- MACHLUP, F.; MANSFIELD, U. **The study of information : interdisciplinary messages**. New York: Wiley, 1983.
- MAXWELL, J. C.; RAYLEIGH, J. W. S. **Theory of heat**. London: Longmans, Green, and Co., 1902.
- MEADOWS, A. J. **A comunicação científica**. Brasília: Lemos Informação e Comunicação, 1999.
- MERRIMAN, J. Profile: Jack Meadows. **Serials**, v. 12, n. 319–321, 1999.

MERTON, R. K. The Matthew effect in science. **Science**, v. 159, n. 3810, p. 56–63, 1968.

MIKHAILOV, A. I.; CHERNYI, A. I.; GILYAREVSKY, R. S. Informatics: its scope and methods. In: FID/RI- International Federation for Documentation. .Study Committee Research on Theoretical Basis of Information. **On theoretical problems of Informatics**. Moscow, 1969. All-union for scientific and technical information (FID 435), p. 7–24.

MORAES, A. F. de. Os pioneiros da ciência da informação nos EUA. **Informacao e Sociedade**, v. 12, n. 2, p. 1–15, 2002.

MUELLER, S. P. M. O. **Métodos para a pesquisa em Ciência da Informação**. Brasília: Thesaurus, 2007.

MUELLER, S. P. M.; PASSOS, E. J. L. As questões da comunicação científica e a ciência da informação. In: MUELLER, S. P. M. (Org.) **Comunicação científica: estudos avançados em Ciência da Informação**. Brasília: Departamento de Ciência da Informação - Universidade de Brasília, 2000. p. 13–22.

NATURE. Why interdisciplinary research matters. **Nature**, v. 525, n. 7569, p. 305, 17 Sep. 2015.

NIELSEN, M. A.; CHUANG, I. L. **Quantum computation and quantum information**. New York: Cambridge University Press, 2010.

NISENBAUM, M. A.; PINHEIRO, L. V. R. Métodos para medição da interdisciplinaridade adotados na ciência da informação. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 17. **Anais...** Salvador: UFPB, 2016. Disponível em: <<http://www.ufpb.br/evento/lti/ocs/index.php/enancib2016/enancib2016/paper/view/3874>> Acesso em: 01/fev./2017

OECD. **Principles and guidelines for access to research data from public funding**. Paris, 2007. OECD Publishing.

OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT. **Global communications: opportunities for trade and aid**. Washington, D.C.: Government Printing Office, 1995.

PIGNATARI, D. **Informação. Linguagem. Comunicação**. 29. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2002.

PIMENTEL SOBRINHO, A. C. **A contribuição do conceito do bit quântico (q-bit) para os fundamentos teóricos da ciência da informação**. 181 f. Tese. (Doutorado em Ciência da Informação) - IBICT/UFRJ, 27 mar. 2013.

PINHEIRO, L. V. R. Gênese da Ciência da Informação ou sinais anunciadores da nova área. In: **AQUINO, M. A. O campo da Ciência da Informação: gênese, conexões e especificidades**. João Pessoa: UFPB, 2002. p. 61–86.

PINHEIRO, L. V. R. Informação: esse obscuro objeto da ciência da informação. **Revista Morpheus-Estudos Interdisciplinares em Memória Social**, v. 3, n. 4, 2004.

PINHEIRO, L. V. R. Ciência da Informação: desdobramentos disciplinares, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade. In: **GONZÁLEZ DE GÓMEZ, Maria Nélide; DILL ORICO, Evelyn Goyannes (Org.). Políticas de memória e informação**. Natal: EDUFRN, 2006. p. 111–142.

PINHEIRO, L. V. R. **Configurações disciplinares e interdisciplinares da Ciência da Informação**

no ensino e pesquisa no Brasil. In: ENCONTRO DE LA ASOCIACIÓN DE EDUCACIÓN E INVESTIGACIONES EN CIENCIA DE LA INFORMACIÓN DE IBEROAMÉRICA Y EL CARIBE (EDIBCIC). **Anais...**Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2009

PINHEIRO, L. V. R. Constituição epistemológica e social da comunicação científica no Brasil. In: PINHEIRO, L. V. R.; OLIVEIRA, E. DA C. P. DE (Ed.). . **Múltiplas facetas da comunicação e divulgação científicas:** transformações em cinco séculos. Brasília: IBICT, 2012. p. 368.

PINHEIRO, L. V. R. O que a Ciência da Informação deve aos físicos e à Física? In: SEMINÁRIO TEMÁTICO DA REDE DE BIBLIOTECAS DAS UNIDADES DE PESQUISA DO MCTI, 2. Rio de Janeiro: CNEM, 2015.

PINHEIRO, L. V. R. Reflections on rafael capurro's thoughts in education and research of information science in brazil. In: KELLY, M.; BIELBY, J. (Ed.). . **Information cultures in the digital age:** a festschrift in honor of rafael capurro. 1st. ed. Wiesbaden: Springer VS, 2016. p. 413–425.

PINHEIRO, L. V. R.; LOUREIRO, J. M. M. Traçados e limites da ciência da informação. **Ciência da Informação**, v. 24, n. 1, p. 42–53, 1995.

PINHEIRO, L. V. R.; REBEL, S. L. Redes eletrônicas e seus impactos na comunicação científica pesquisadores brasileiros. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 5, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte : UFMG, 2003. 20 p. Disponível em: <<http://ridi.ibict.br/handle/123456789/63>>. Acesso em: 30 nov 2015.

PIWOWARSKI, B.; AMINI, M. R.; LALMAS, M. On using a quantum physics formalism for multidocument summarization. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 63, n. 5, p. 865–888, 16 may 2012.

POMBO, O. Epistemologia da Interdisciplinaridade. In: PIMENTA, C. **Interdisciplinaridade, humanismo, universidade.** Porto: Campo das Letras, 2004a. p. 240.

POMBO, O. **Interdisciplinaridade:** Ambições e Linites. Lisboa: Relógio D'Água Editores, 2004b.

POMBO, O. Práticas interdisciplinares. **Sociologias**, v. 8, n. 15, p. 208–249, 2006.

PORTER, A. L.; CHUBIN, D. E. An indicator of cross-disciplinary research. **Scientometrics**, v. 8, n. 3–4, p. 161–176, Sep. 1985.

PRICE, D. J. de S. Networks of scientific papers. **Science**, v. 149, n. 3683, p. 510–515, 1965.

PRICE, D. J. de S. **O desenvolvimento da ciência:** análise histórica, filosófica, sociológica e econômica. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1976.

RAFOLS, I.; MEYER, M. Diversity and network coherence as indicators of interdisciplinarity: case studies in bionanoscience. **Scietometrics**, v. 82, n. 2, p. 263–287, 2010.

RIBEIRO, M. S. **Características da informação na Teoria Quântica e suas possíveis interpretações para um objeto informacional na Ciência da Informação.** 129 f. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) - Universidade de Brasília, Brasília, 26 nov. 2014.

RIJSBERGEN, C. J. VAN. **The geometry of information retrieval.** New York: Cambridge University Press, 2004.

ROBREDO, J.; BRÄSCHER, M. **Passeios pelo bosque da informação:** estudos sobre

representação e organização da informação e do conhecimento. Brasília: IBICT, 2010.

SANTOS, J. M. **O pensamento de Niklas Luhmann**. Covilhã: Universidade da Beira Interior, 2005.

SARACEVIC, T. Ciência da informação: origem, evolução e relações. **Perspectiva em Ciência da Informação**, v. 1, n. 1, p. 41–62, 1996.

SARACEVIC, T. Information science. **Journal of the American Society for Information Science**, v. 50, n. 12, p. 1051–1063, 1999.

SAYÃO, L. F.; SALES, L. F. Dados abertos de pesquisa: ampliando o conceito de acesso livre. **Revista Eletrônica de Comunicação, Informação & Inovação em Saúde**, v. 8, n. 2, p. 76–92, 2014.

SAYÃO, L. F.; SALES, L. F. Dados de pesquisa: contribuição para o estabelecimento de um modelo de curadoria digital para o país. **Tendências da Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação**, v. 6, n. 1, 2013.

SCHRÖDINGER, E. **O que é vida? : o aspecto físico da célula viva**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1997.

SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **Bell System Technical Journal**, v. 27, n. 4, p. 623–656, 29 oct. 1948.

SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana: The University of Illinois Press, 1964.

SMALL, H. Co-citation in the scientific literature: a new measure of the relationship between two documents. **Journal of the American Society for information Science**, v. 24, n. 4, p. 265–269, 1973.

SMALL, H. A passage through science: crossing disciplinary boundaries. **Library Trends**, v. 48, n. 1, p. 72–108, 1999.

SMALL, H. Maps of science as interdisciplinary discourse: co-citation contexts and the role of analogy. **Scientometrics**, v. 83, n. 3, p. 835–849, 5 Dec. 2009.

SMALL, H.; GRIFFITH, B. C. The structure of scientific literatures i: identifying and graphing specialties. **Social Studies of Science**, v. 4, n. 1, p. 17–40, 1974.

STONIER, T. **Information and the internal structure of the universe: an exploration into information physics**. London: Springer-Verlag, 1990.

STONIER, T. Towards a new theory of information. **Journal of Information Science**, v. 17, n. 5, p. 257–263, 1991.

STONIER, T. Information as a basic property of the universe. **Biosystems**, v. 38, n. 2–3, p. 135–140, jan. 1996.

SZILARD, L. On the decrease of entropy in a thermodynamic system by the intervention of intelligent beings. **Behavioral Science**, v. 9, n. 4, p. 301–310, 1964.

URRY, J. Small worlds and the new “social physics”. **Global Networks**, v. 4, n. 2, p. 109–130, 2004.

VARGAS-QUESADA, B.; MOYA-ANEGÓN, F. DE. **Visualizing the structure of science**. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2007.

WAGNER, C. S. et al. Approaches to understanding and measuring interdisciplinary scientific research (IDR): A review of the literature. **Journal of Informetrics**, v. 5, n. 1, p. 14–26, 2011.

WEIZSÄCKER, C. F. VON; GÖRNITZ, T.; LYRE, H. **The structure of physics**. Dordrecht: Springer, 2006.

WERSIG, G. Information science: the study of postmodern knowledge usage. **Information Processing and Management**, v. 29, n. 2, p. 229–239, Mar. 1993.

WERSIG, G.; NEVELING, U. The phenomena of interest to information science. **The Information Scientist**, v. 9, n. 4, p. 127–140, 1975.

WHEELER, J. A. Information, physics, quantum: the search for links. **Complexity, Entropy, and the Physics of Information**, p. 3–28, 1990.

WIENER, N. **Cibernética e Sociedade - o uso humano de seres humanos**. 2 ed. São Paulo: Cultrix, 1954.

WILSON, A. Notes on some concepts in social physics. **Papers of the Regional Science Association**, v. 22, n. 1, p. 159–193, Dec. 1969.

ZELMAN, A.; LEYDESDORFF, L. Threaded email messages in self-organization and science & technology studies oriented mailing lists. **Scientometrics**, v. 48, n. 3, p. 361–380, 2000.

ZHANG, Y. Definitions and sciences of information. **Information Processing & Management**, v. 24, n. 4, p. 479–491, Jan. 1988.

APÊNDICES

Esta tese tem dois apêndices. O Apêndice A é a cópia das perguntas do questionário aplicado aos membros da Lista FIS. O Apêndice B é a lista de todos os tópicos identificados nas mensagens da lista FIS.

APÊNDICE A – Questionário aplicado aos membros da lista FIS

Seção 1: Consent to participate in a research study

Project Title: Interdisciplinarity between Physics and Information Science

Researcher: Moisés André Nisenbaum - e-mail: moises.nisenbaum@ifrj.edu.br

Institution: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), in partnership with Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Dear Researcher,

We are asking you to consider taking part in the research study Interdisciplinarity between Physics and Information Science supervised by Dr. Lena Vania Ribeiro Pinheiro – PhD (IBICT/UFRJ) and Dr. Jose Abdalla HELAYEL - Neto – PhD (CBPF).

The aim of this Project is to investigate words, expressions and methods of Physics that are present in scientific communications of Information Science.

One of the Project's sources of data will be this survey with members of Foundations of Information Science (FIS) mailing list.

Your participation is voluntary and consists of answering questions on this online survey. It will take between 15 - 20 minutes. Your responses will be confidential and all data will be stored in a password-protected electronic database. Survey results will be part of my PhD thesis, and will be presented at conferences and published in scientific journals.

Thank you very much.

Moisés André Nisenbaum (PhD Candidate at IBICT/UFRJ)

ELECTRONIC CONSENT: Please select your choice below.

Checking the "I agree" checkbox below indicates that:

- you have read the above information
- you voluntarily agree to participate
- you are at least 18 years of age

If you do not wish to participate in the research study, just leave the survey, closing this browser window.

Seção 2 - Personal Data

Please, answer some questions about yourself.

Your full name (optional)

Gender (optional)

Your age (optional)

Your email address (optional)

Country where you live

Please indicate in which institution(s) you do your research and the respective department(s)

If there is a link to your Curriculum Vitae (CV), would you please paste it here?

If there is a file with your Curriculum Vitae (CV), would you please upload it here?

Seção 3 - Academic and Professional information

Please, let us know about your academic and professional history and production.

Please indicate the year of conclusion and the areas of knowledge of your academic education.

Please provide a list of your publications (papers, anals, books, etc.) where "information" was the object of study or played an important role in your research.

Please indicate the areas of knowledge that best match your current research? (Check all that apply)

Please indicate the areas of knowledge that best matched your research in the past (Check all that apply).

Area 1: Exact and Earth Sciences (eg Mathematics, Probability and Statistics, Computer Science, Astronomy, Physics, Chemistry, Earth Sciences, Oceanography)

Area 2: Biological Sciences (eg: General Biology, Genetics, Botany, Zoology, Ecology, Morphology, Physiology, Biochemistry, Biophysics, Pharmacology, Immunology, Microbiology, Parasitology)

Area 3: Engineering (eg Civil Engineering, Mining Engineering, Materials and Metallurgical Engineering, Electrical Engineering, Mechanical Engineering, Chemical Engineering, Sanitary

Engineering, Production Engineering, Nuclear Engineering, Transportation Engineering, Naval Architecture and Ocean Engineering, Aerospace Engineering , Biomedical engineering)

Area 4: Health Sciences (eg Medicine, Dentistry, Pharmacy, Nursing, Nutrition, Public Health, Speech Therapy, Physiotherapy and Occupational Therapy, Physical Education)

Area 5: Agricultural Sciences (eg Agronomy, Forest Resources and Forest Engineering, Agricultural Engineering, Animal Science, Veterinary Medicine, Fishing Resources and Fishing Engineering, Food Science and Technology)

Area 6: Applied Social Sciences (eg: Law, Business Administration, Economics, Architecture and Urbanism, Urban and Regional Planning, Demographics, Information Science, Museology, Communication, Social Services, Home Economics, Industrial Design, Tourism)

Area 7: Humanities (eg Philosophy, Sociology, Anthropology, Archaeology, History, Geography, Psychology, Education, Political Science, Theology)

Area 8: Linguistics, Letters and Arts

Seção 4 - About Foundations of Information Science (FIS) mailing list

Please indicate the year you joined the FIS mailing list.

How often do you read the FIS mailing list posts? (Daily, weekly, monthly, other)

What motivates you to reply to a topic posted in the FIS list? (I reply if it is a topic of my interest (not necessarily my area of expertise), I only reply if it is a topic in my area of expertise, I reply regardless of the topic, I never reply, Other.)

Have you ever chaired (or moderated) a discussion in the FIS mailing list? (Yes, once; Yes, more than once; Never)

Please write down your definition of "information" in your research context.

Please write down your definition of "Information Science" in the FIS context.

Please add any additional comments you would like to make about yourself, your work or FIS mailing list. (optional).

APÊNDICE B – Listagem de Tópicos da Lista de Discussão FIS, ordenados por data.

Tópico	Autor	Data	Tópico acrescentado pela tese?
Information and Natural Languages	koichiro matsuno	08/12/1997	
Information & Physics	koichiro matsuno	06/01/1998	
Biological Information	Ray Paton	13/02/1998	
The Language of Cells	Pedro C. Marijuan	25/02/1998	
Consciousness	Otto E. Rossler	25/05/1998	
Two Cents	Michael Conrad	28/05/1998	
Social Information	Bob Artigiani	25/09/1998	
Definition of Information	Tom Stonier	06/05/1999	
Information Physics	Koichiro Matsuno	06/05/2002	
Information & Neuroscience	Peter Erdi	04/06/2002	
Philosophy & Information	John Collier	30/06/2002	
Is FIS in semiotics?	Pedro C. Marijuan	10/07/2002	Sim
Misconceptions and Paradoxes (information & meaning)	John Holgate	17/09/2002	
The Power of Power Laws	Pedro C. Marijuan	18/10/2002	Sim
Social and/or General Information	Wolfgang Hofkirchner	11/11/2002	
Apparent Fundamental Differences	Ted Goranson	09/12/2002	
Music & Information	Juan G. Roederer	03/05/2003	
Symetry & Information	Michael Leyton	28/05/2003	Sim
Molecular Recognition and the Fundamental Laws of Information	Shu-Kun Lin	14/07/2003	
Ecological Economics and Information	Jerry L.R. Chandler	24/10/2003	
Locale' Knowledge	Pedro C. Marijuan	13/01/2004	Sim
Information, Autopoiesis, Life and Semiosis	Søren Brier	22/01/2004	
meaning of meaning	Pedro C. Marijuan	06/02/2004	Sim
Entropy and Information: Two Polymorphic Concepts	Michel Petitjean	05/04/2004	
Philosophers describe science	Michael Devereux	30/06/2004	Sim
Consilience: When Separate Inductions Jump Together	Malcolm Forster	15/09/2004	
On Biomolecular Networks	Jerry L.R. Chandler	08/11/2005	
art and meaning	Lauri Grohn	15/02/2006	Sim
On Information Ethics	Rafael Capurro	03/03/2006	
Quantum Information	Andrei Khrennikov	15/05/2006	
Introducing Social and Cultural Complexity	Joseph A. Tainter	05/12/2006	
The Relativity of Information and Its Relationship to Materiality,	Robert K. Logan	20/09/2007	

Meaning and Organization (info & meaning)			
Is Nature Orderly?	Pedro C. Marijuan	22/05/2008	Sim
Neuroscience of art	John Collier	18/09/2008	Sim
Economic & Information	Andrei Khrennikov	02/11/2008	Sim
Definition of Knowledge?	Pedro C. Marijuan	01/10/2009	Sim
The Nature of Microphysical Information: Revisting the Fluctuon Model	Joseph Brenner	24/09/2010	
Intelligence and Information	Yi-Xin Zhong	05/11/2010	
The Background to Modern Science	James Hannam	02/02/2011	
On Information Theory: Information, Mystery Solving	Mark Burgin	08/04/2011	
Chemical Information: a Field of Fuzzy Contours?	Michel Petitjean	16/09/2011	
Discussion of Information Science Education	Marcin J. Schroeder	03/12/2011	Sim
Information & Math	Krassimir Markov	16/04/2013	Sim
It from Bit	Xueshan Yan	17/05/2013	Sim
Information & Logic	Joseph Brenner	17/05/2013	
The Sociotype: Social Relationships and Beyond	Raquel del Moral	27/09/2013	
Fis New Year Lecture: "Quantum Bayesianism (QBism) — An interpretation of quantum mechanics based on quantum information theory"	Hans von Baeyer	02/01/2014	
On Collective Intelligence: The Future of IT-Mediated Crowds	John Prpic	04/03/2014	
Information Science and the City	Pedro C. Marijuan	05/06/2014	Sim
General Information Theory (GIT)	Krassimir Markov	26/07/2014	Sim
Fis New Year Lecture: "Steps to a Theory of Reference & Significance in Information"	Terrence W. Deacon	07/01/2015	
The Frontiers of Intelligence Science	Zhao Chuan	02/03/2015	
A Dialog on the Informational as the 4th Great Domain of Science	Moisés André Nisenbaum	15/05/2015	
Information & Computation	Emanuel Diamant	15/06/2015	Sim
Informational Foundation of the Act	Fernando de Flores	22/07/2015	
Information and Locality	Steven Ericsson-Zenith	09/09/2015	
Five Momenta	Pedro C. Marijuan	20/10/2015	Sim
Sustainability Through Multilevel Reseach	Nikhil Joshi	20/11/2015	
Fis New Year Lecture: "Information and the Forces of History"	Howard Bloom	03/01/2016	

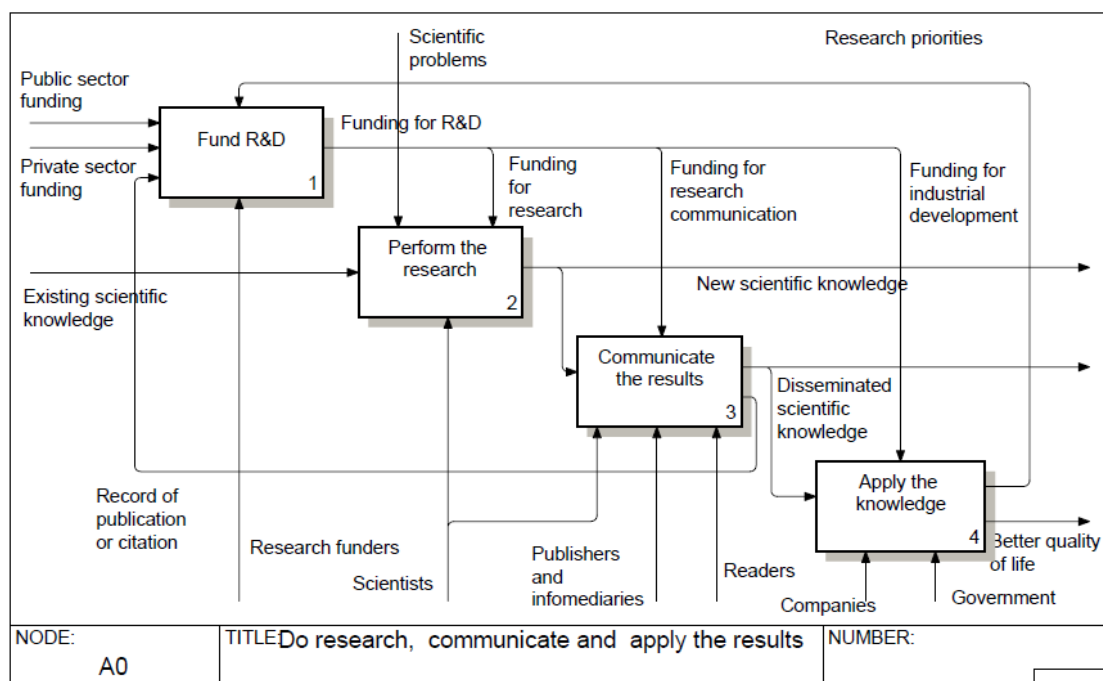
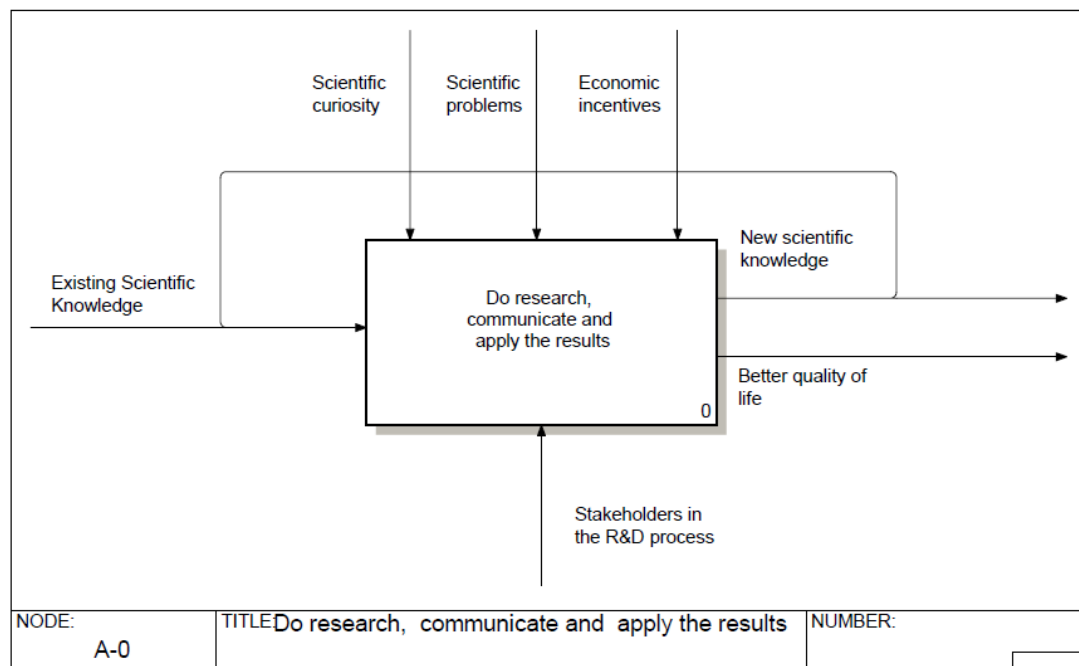
"Phenomenology, Life, and Information Science"	Pedro C. Marijuan	12/02/2016	
PHENOMENOLOGY & LIFE: from Biology	Maxine Sheets-Johnstone	16/02/2016	
PHENOMENOLOGY & LIFE: Biologic	Louis H. Kauffman	06/03/2016	
On mathematical theories and models in biology	Guy A Hoelzer	29/03/2016	Sim
PHENOMENOLOGY & LIFE: from Bio/Cybersemiotics (INFOBIOSEMIOTICS)	Soeren Brier	31/03/2016	
PHENOMENOLOGY & LIFE: from Physics	Alex Hankey	22/04/2016	
PHENOMENOLOGY & LIFE: with a challenging subject in integrative medicine	Plamen L. Simeonov	11/05/2016	
"A Priori" Modeling of Information	Marcus Abundis	16/06/2016	
Scientific Communication and Publishing	Mark William Johnson	22/09/2016	
A TOPOLOGICAL APPROACH TO BRAIN FUNCTION	Arturo Tozzi	22/11/2016	

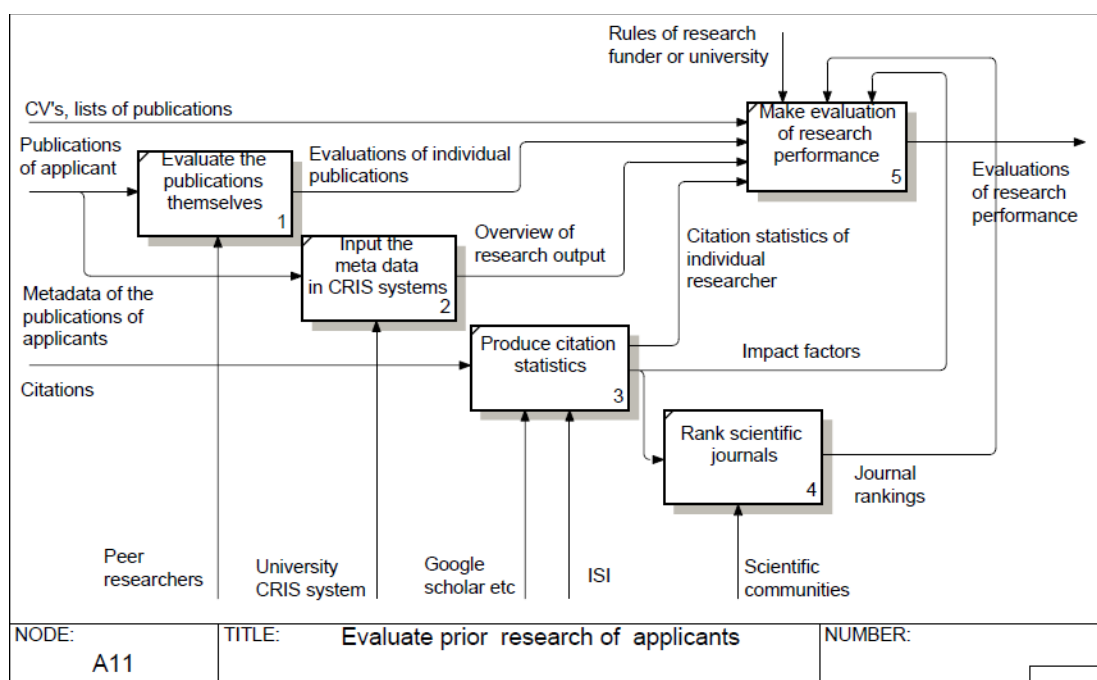
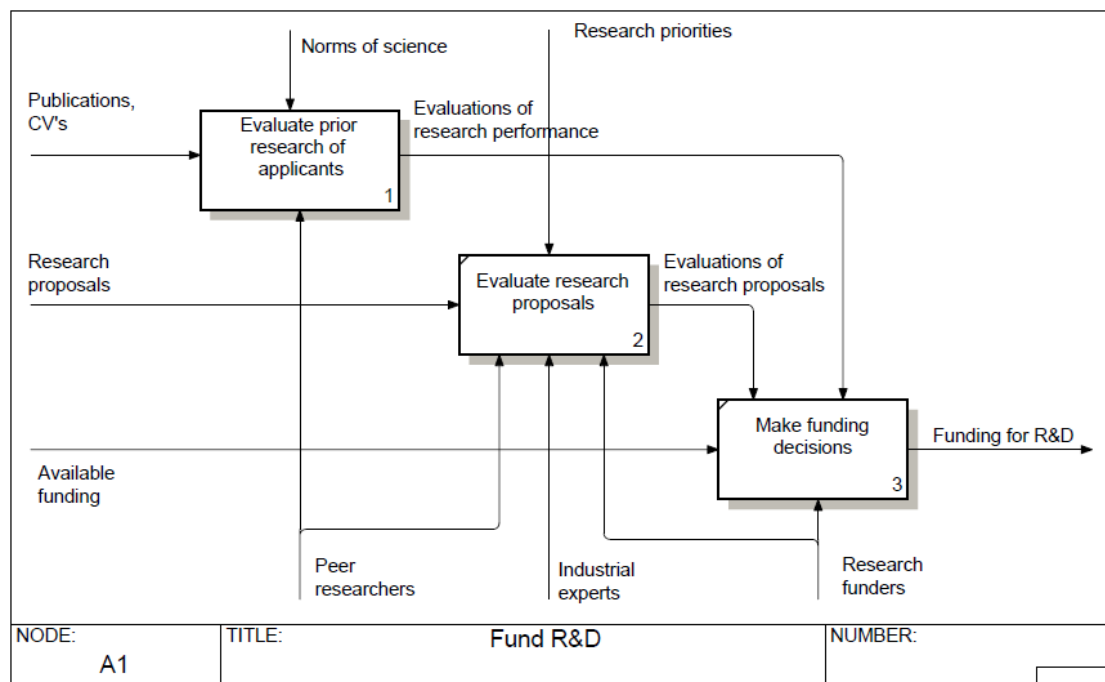
ANEXOS

ANEXO A - Exemplos de esquemas IDEF0.

O primeiro esquema é o nó principal do modelo onde a Comunicação Científica é mostrada de forma mais geral. Os outros três esquemas são exemplos de detalhamentos em hierarquias inferiores.

Alguns esquemas que utilizam IDEF0 para modelar a Comunicação Científica





Fonte: Björk (2007)