UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

MESTRADO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

Impressões e Ações de Professores que Visitaram o Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste: duas décadas do acidente com o Césio-137 em Goiânia

Giovanni Grassi

Goiânia, 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

MESTRADO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

Impressões e Ações de Professores que Visitaram o Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste: duas décadas do acidente com o Césio-137 em Goiânia

Giovanni Grassi

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Celso Ferrari

Goiânia, 2010

FOLHA DE APROVAÇÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Impressões e Ações de Professores que Visitaram o Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste: duas décadas do acidente com o Césio-137 em Goiânia

Giovanni Grassi

Orientador: Prof. Dr. Paulo Celso Ferrari

Banca Examinadora

_____

Prof. Dr. Paulo Celso Ferrari
Orientador - Universidade Federal de Goiás

_____

Profa. Dra. Glória Regina Pessôa Campello Queiroz
Examinadora Externa - Universidade do Estado do Rio de Janeiro

_____

Prof. Dr. Juan Bernardino Marques Barrio
Examinador - Universidade Federal de Goiás

Para

Airton e

Helena

“Falar obscuramente qualquer um sabe; com clareza, raríssimos”.

Galileu Galilei

Agradecimentos

A concretização deste trabalho só foi possível graças à colaboração e apoio de várias pessoas, às quais apresento o meu agradecimento. Em primeiro lugar, ao Professor Doutor Paulo Celso Ferrari, pelo incentivo que me transmitiu para dar continuidade ao mestrado e pelos saberes transmitidos, pelo seu acompanhamento, apoio, orientações teóricas e metodológicas, pelas suas sugestões e indicações durante toda a realização deste trabalho, pela amizade e consideração que sempre esteve presente permitindo assim que este trabalho tenha sido realizado de uma forma bastante agradável e saudável.

A Universidade Federal de Goiás pelo apoio material fornecido durante a realização do trabalho.

Ao Professor Doutor Juan Bernardino Marques Barrio e a Professora Doutora Glória Regina Pessôa Campello Queiroz pelas sugestões e indicações.

A toda população em geral que se disponibilizou para participar neste estudo e em especial, um agradecimento aos integrantes do Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste.

Aos amigos, Físicos ou não, que sempre me apoiaram com gentilezas inenarráveis, em especial a Luana, Francisco, Eduardo, Luciano, Luizmar, Harley, Ermivan, Guilherme R. e Márcio.

Aos professores do Programa de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática da Universidade Federal de Goiás pelas contribuições neste estudo.

Aos meus familiares e amigos pelo incentivo e apoio que me têm prestado durante todo o meu percurso acadêmico.

E por último um agradecimento muito especial aos meus pais por todas as oportunidades que me têm proporcionado ao longo da vida e é claro, ao meu irmão Guilherme.

RESUMO

GRASSI, Giovanni. **Impressões e Ações de Professores que Visitaram o Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste: duas décadas do acidente com o Césio-137 em Goiânia** Goiânia: UFG, 2009. 85p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

O objetivo deste estudo foi analisar de maneira contextualizada as impressões dos visitantes ao Centro de Informações do Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste (CI-CRCN-CO), no mês de aniversário de vinte anos do acidente com o Césio-137 em Goiânia, setembro de 2007; ou seja, analisar qualitativamente as ações de divulgação científica exercidas por este espaço não-formal de educação. Utilizando-nos de alguns referenciais teóricos, discutimos a educação formal e não-formal, a divulgação e popularização da ciência e as funções dos museus e centros de ciências para analisar as atividades de uma instituição que, além de realizar pesquisa e fazer o monitoramento do meio ambiente nas proximidades dos depósitos onde está o lixo gerado pelo acidente com o Césio-137, recebe visitas com o intuito de esclarecer a população sobre o episódio ocorrido em setembro de 1987. Os dados coletados por meio de análise documental e entrevistas semi-estruturadas permitiram uma análise qualitativa considerando os aspectos culturais, político-sociais e acadêmicos das ações exercidas pelo Centro de Informações do CRCN-CO. Os entrevistados consideram que a citada instituição está contribuindo para a ampliação do conhecimento científico da população, despertando o senso crítico sobre a produção científica e gerando desdobramentos de suas atividades nas escolas que a visitam.

Palavras-chaves: educação não-formal; divulgação científica; acidente radioativo; Césio-137.

ABSTRACT

GRASSI, Giovanni. **Impressões e Ações de Professores que Visitaram o Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste: duas décadas do acidente com o Césio-137 em Goiânia**. Goiânia: UFG, 2009. 85p. Dissertation (Master) – Master's Program in Science Education and Mathematics, Pro-Rectory of Research and Post-Graduate, Federal University of Goiás, Goiânia, 2009.

The objective of this study was to analyze contextually how impressions of visitors to the Information Center of the Regional Center of Nuclear Sciences of the Midwest (CI-CRCN-CO) in the anniversary month of twenty years of the accident with the Cesium-137 in Goiânia, September 2007, in others words, qualitatively analyze the actions of popular science pursued for this space non-formal education. Using some of the theoretical references, we discuss the formal and non-formal, communication and popularization of science and functions of museums and science centers to analyze the activities of an institution which, besides carrying out research and make the monitoring of environment near the deposits where the garbage generated by the accident with cesium-137, is visited in order to inform the population about the episode occurred in September 1987. The data collected through documentary analysis and semi-structured interviews allowed a qualitative analysis taking into account the cultural, political, social and academic actions performed by the Information Center CRCN-CO. Respondents consider that the aforementioned institution is helping to expand scientific knowledge of the population, raising the critical sense of scientific production and generating developments of its activities in schools that visit.

Keywords: nonformal; science communication; radioactive accident; Cesium-137.

Índice de Figuras

Figura 1 - Superintendência Leide das Neves Ferreira.....56

Figura 2 - Centro de Informações do CRCN-CO.....58

Índice de Tabelas e Quadros

Tabela 1 - Tipos de radiações quanto à energia.....20

Tabela 2 - Limites de dose equivalente para diferentes seres vivos.....31

Tabela 3 - Níveis de absorção da radiação e efeitos no ser humano.....32

Quadro 1 - Tipos de radiações quanto à natureza.....20

Quadro 2 - Efeitos biológicos a longo prazo.....33

Quadro 3 - Museus e Centros de Ciências e Tecnologia.....47

Quadro 4 - Dados dos professores entrevistados.....63

Quadro 5 - Formação e atuação dos entrevistados.....64

Quadro 6 – Roteiro de Entrevistas.....67

Lista de Siglas e Abreviaturas

α	–	Partícula Alfa
β	–	Partícula Beta
β^-	–	Partícula Beta Negativa
β^+	–	Partícula Beta Positiva
γ	–	Radiação Gama
λ	–	Constante de Decaimento
ν	–	Neutrino / Frequência
Bq	–	Becquerel
c	–	Velocidade da luz no vácuo
Ci	–	Curie
CNEN	–	Comissão Nacional de Energia Nuclear
Co	–	Cobalto
CRCN-CO	–	Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste
Cs	–	Césio
D	–	Dose absorvida
erg	–	Ergon
eV	–	Elétron-volt
E	–	Energia

H – Dose equivalente

I – Intensidade da radiação

ICRU – International Commision on Radiation Units and Measurements

ICRP – International Commission on Radiological Protection

g – Grama

Gy – Gray

J – Joule

k – Quilo

m – Massa / mili

Q – Carga elétrica / Fator de qualidade

R – Roentgen

rad – Radiation absorbed dose

Ra – Radio

rem – Roentgen equivalent men

Sv – Sievert

$T_{\frac{1}{2}}$ – Meia-vida

U – Urânio

X – Exposição

Sumário

Introdução.....15

CAPÍTULO 1 – Césio-137: de mocinho a vilão.....19
1.1 Decaimento radioativo.....21
1.1.1 Decaimento alfa.....23
1.1.2 Decaimento beta.....23
1.1.3 Decaimento gama.....24
1.2 Unidades de radioatividade.....25
1.3 Usos benéficos da radiação nuclear.....28
1.4 Efeitos biológicos.....30
1.5 A Física relacionada ao acidente.....34

CAPÍTULO 2 – Escola, sociedade, ciência e público.....36
2.1. Escola e sociedade.....36
2.1.1 Educação formal.....38
2.1.2 Educação não-formal.....38
2.1.3 Educação informal.....40
2.2 Ciência e Público: divulgação e popularização da ciência.....40
2.3 Museus e centros de ciências.....44

CAPÍTULO 3 – A pesquisa de campo.....51
3.1 Metodologia.....51
3.2 Dados da pesquisa.....52

3.2.1 Visitas aos órgãos de divulgação.....52
3.2.2 Entrevistas com professores visitantes.....61

CAPÍTULO 4 – Análise das respostas às entrevistas.....64
4.1 Referencial de análise.....64
4.2 Análise das entrevistas.....66
4.2.1 Objetivos culturais 67
4.2.2 Objetivos sócio-políticos.....69
4.2.3 Objetivos acadêmicos.....70

Considerações finais.....74

Referências bibliográficas.....77

Introdução

No ano de 1987 um equipamento que fora utilizado para o tratamento contra o câncer foi encontrado no Instituto Goiano de Radioterapia[1]. Este equipamento continha uma fonte de Césio-137 revestida de chumbo. A fonte era de cloreto de césio que pode ser concentrado em animais e plantas.

No dia 13 setembro de 1987, duas pessoas retiraram a fonte desse local e com o auxílio de várias ferramentas conseguiram romper o invólucro de chumbo, expondo o material radioativo ao meio ambiente. Essas duas pessoas não sabiam que se tratava de um material radioativo, muito pelo contrário, ficaram maravilhados com a beleza do pó azul brilhante. Como o invólucro era de chumbo, venderam a fonte a um ferro-velho. O proprietário desse ferro-velho distribuiu fragmentos do Césio-137 para várias pessoas e repassou a fonte para outros dois depósitos. Assim, vários locais e pessoas que foram expostos ao Césio-137 foram irradiados e/ou contaminados[2].

Algumas pessoas que tiveram contato direto com o Césio-137 foram contaminadas externamente (contato com a pele) ou internamente (inalação, ingestão, etc.) e dessas, muitas apresentaram náuseas, vômitos, diarréias, queimaduras na pele, tonturas e as que procuravam auxílio médico eram diagnosticadas como intoxicação alimentar, até que a esposa do proprietário do

[1] O Instituto Goiano de Radioterapia – instituição privada – era localizado na Avenida Paranaíba, no centro de Goiânia.

[2] Irradiado: uma pessoa é irradiada quando se aproxima da fonte radioativa e recebe uma dose da radiação desta fonte. Contaminado: uma pessoa é contaminada quando inala ou ingere material radioativo.

ferro-velho, desconfiada de que todos esses sintomas eram referentes à cápsula, levou o material até a Vigilância Sanitária, onde então o material fora identificado como radioativo em 29 de setembro de 1987.

Nessa data a Comissão Nacional de Energia Nuclear[3] (CNEN) foi comunicada e por sua vez notificou a International Atomic Energy Agency (IAEA). A partir daí foi traçado um plano de emergência para identificar, monitorar, descontaminar pessoas e locais e tratar a população contaminada e/ou irradiada. Participaram deste plano a CNEN, Furnas Centrais Elétricas S/A (FURNAS), Empresas Nucleares Brasileiras S/A (NUCLEBRÁS), Defesa Civil, ala de emergência nuclear do Hospital Naval Marcílio Dias (HNMD), Secretaria Estadual de Saúde de Goiás (SES/GO), Hospital Geral de Goiânia (HGG) e várias outras instituições locais, nacionais e internacionais.

As áreas tidas como focos foram isoladas e iniciou-se a triagem da população no Estádio Olímpico[4]. Grandes volumes foram retirados, construções demolidas, além da monitoração da água, solo, ar e vegetação. Foram monitoradas 112.800 pessoas e 249 apresentaram alto grau de contaminação externa e/ou interna. Das 249 tidas como contaminadas, 120 estavam apenas com suas vestimentas contaminadas e foram liberadas logo após a descontaminação, já as 129 restantes estavam realmente contaminadas e por conta disso foram acompanhadas por um longo tratamento médico, algumas delas até os dias de hoje. Dos 129 contaminados, 14 estavam em estado grave e foram transferidos ao HNMD, porém, 4 foram à óbito entre 4 a 5 semanas depois da exposição.

Aos 9 de dezembro de 1987 foi criada e em fevereiro de 1988 instituída, pelo Governo do Estado de Goiás, a Fundação Leide das Neves – com o nome homenageando uma vítima fatal de seis anos de idade –, posteriormente assumida pela Secretaria da Saúde e transformada em Superintendência Leide

[3] Criada em 10 de outubro de 1956, a CNEN é uma autarquia federal vinculada ao Ministério de Ciência e Tecnologia que tem a função de estabelecer normas e regulamentos em radioproteção e segurança nuclear. A CNEN fiscaliza, controla e licencia toda e qualquer tipo de atividade nuclear no país. Além disso, desenvolve pesquisas referentes ao uso benéfico da energia nuclear.

[4] O Estádio Olímpico, inaugurado na década de 1960 e localizado no Centro de Goiânia, foi o primeiro estádio goianiense com capacidade para mais de dez mil torcedores. Ao seu lado, fica o Parque Aquático e o Ginásio Rio Vermelho. Fora demolido e atualmente encontra-se em reforma sem data prevista para reinauguração.

das Neves (SULEIDE). A SULEIDE é responsável pelo acompanhamento das vítimas do acidente.

Respaldados pelas iniciativas do Comitê de Defesa de Goiânia, em 13 de dezembro de 1987, os envolvidos no acidente, reunidos em assembléia, fundaram a Associação das Vítimas do Césio (AVCésio), sendo até hoje a principal articuladora dos direitos dos acidentados.

Devido ao acidente, técnicos de várias unidades da CNEN visitaram a capital do estado de Goiás para acompanharem o processo de descontaminação das áreas atingidas pelo Césio-137. Nesse processo, toneladas de rejeitos foram gerados, armazenados em contêineres e tambores, e levados até as proximidades da cidade de Abadia de Goiás. Antes do transporte até o local, vários estudos, inclusive geológicos, foram realizados. Os estudos referentes à construção de um depósito definitivo iniciaram-se em 1991. Além do depósito, alguns prédios (laboratórios) também foram construídos no local.

Os 3.500 m^3 de lixo atômico, acondicionados em contêineres concretados, são monitorados pela CNEN através do Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste (CRCN-CO), no município de Abadia de Goiás, desde 1997, e lá permanecerão até 2047.

O CRCN-CO foi criado no dia 1º de junho de 1989 e inaugurado em 5 de junho de 1997, com a missão de representar a CNEN na região Centro-Oeste do país no que diz respeito às atividades decorrentes do acidente radioativo de Goiânia, bem como prestar esclarecimentos à população sobre o acidente e os usos benéficos da radiação nuclear, através do seu Centro de Informações.

Ao longo dessas duas décadas após o acidente a AVCésio, a SULEIDE e o CRCN-CO mantiveram-se em atividade, oferecendo suporte judicial e assistência médica aos vitimados, bem como monitorando os resíduos radioativos e prestando esclarecimentos à população. Interessou-nos, como objeto de pesquisa, as atividades de divulgação do CRCN-CO, que recebe sistematicamente, em seu Centro de Informações, um grande número de estudantes, acompanhados por seus professores.

Nesta dissertação de mestrado em Educação em Ciências e Matemática abordamos, como objeto de investigação, como tem sido a atuação do Centro de Informações do CRCN-CO, percebida por professores que acompanham seus alunos nas visitas.

Para tanto, o Capítulo 1 contempla uma breve introdução aos principais conceitos físicos, químicos e biológicos envolvidos na compreensão da radioatividade e dos efeitos da radiação sobre organismos vivos, com a finalidade de melhor esclarecer o acidente com o Césio-137. Também contextualiza a criação do CRCN-CO.

No Capítulo 2 discutimos as características das três instâncias de educação – informal, não-formal e formal –, bem como os objetivos da popularização da ciência, mais nomeadamente dos centros de ciências na promoção da educação não-formal em apoio à educação formal.

No Capítulo 3 apresentaremos os dados da pesquisa, relatando as principais atividades desenvolvidas pelas três entidades visitadas por nós (AVCésio, SULEIDE e CRCN-CO) e definindo o perfil dos visitantes ao CRCN-CO entrevistados.

O Capítulo 4 traz a análise das respostas às entrevistas com cinco professores que levaram alunos ao Centro de Informações do CRCN-CO.

Finalizamos este trabalho com uma seção intitulada Considerações Finais, no qual fazemos nossas inferências sobre os resultados da pesquisa.

Capítulo 1

Césio-137: de mocinho a vilão

Para melhor compreendermos o acidente com o Césio-137 em Goiânia, bem como as atividades desenvolvidas pelas instituições públicas investigadas em nossa pesquisa, discutiremos alguns conceitos de Física, Química e Biologia relacionados ao acidente, fato social marcante no que diz respeito à sociedade goiana na década de 1980.

A sociedade francesa, no final do século XIX, estava vivendo o desenvolvimento da Física Moderna e Curie vem contribuir, a partir de seus trabalhos voltados para o campo da radioatividade. O termo *radioatividade* foi criado por Marie Curie em 1898 para descrever substâncias nas quais os núcleos dos átomos são instáveis, podendo alterar-se espontaneamente ou desintegrar-se, tornando-se núcleos distintos e emitindo radiação a medida que este processo de desenvolve (RÊGO, 2004).

O primeiro pesquisador a observar este fenômeno foi Henri Becquerel em 1896 ao perceber que alguns filmes fotográficos guardados em uma gaveta escureceram por ficarem próximo a um mineral que continha urânio. Nesse

sentido, Becquerel notou que o urânio próximo aos filmes são emissores de radiação.

Podemos dizer que estamos expostos à radiação a partir do momento em que temos o nosso primeiro contato com o ambiente, onde podemos ser irradiados através do solo, do ar que respiramos, do Sol, dos alimentos. Estes possuem pequenas quantidades de radiação.

Quanto à natureza da radiação, podemos classificá-las como: eletromagnética e corpuscular (Quadro 1). Basicamente a radiação eletromagnética são fótons e a corpuscular são partículas que possuem massa.

Quadro 1: Tipos de radiações quanto à natureza.

Tipo de Radiação	**Exemplos**
Eletromagnética	Luz, microondas, ondas de rádio, radar, raios-X, radiação gama (γ), etc.
Corpuscular	Feixe de elétrons, feixe de prótons, feixe de nêutrons, radiação alfa (α), radiação beta (β), etc.

Quanto à energia transportada pela radiação, podemos classificá-las como:

Tabela 1: Tipos de radiações quanto à energia. Fonte: (RÊGO, 2004, p.17).

Tipo de Radiação	**Característica**
Ionizante	$E > 10eV$
Não-Ionizante	$E < 10eV$

Radiação ionizante é aquela capaz de ionizar os átomos dos materiais que atravessa. Na ionização, um ou mais elétrons são retirados dos átomos e estes ficam carregados positivamente, tornando-se íons positivos, ou seja, ficam ionizados.

Os sistemas vivos, como a célula, por exemplo, podem ser irreversivelmente afetados pela passagem da radiação ionizante (RÊGO, 2004). Na verdade, quando uma radiação ionizante atravessa um sistema vivo, ela pode alterar o código genético desse ser e esse, por sua vez, pode ser transformado definitivamente.

Os núcleos dos átomos podem sofrer vários processos, ocasionando a emissão de radiação. Esses processos são classificados em duas categorias: reação nuclear e decaimento radioativo.

A reação nuclear é a interação núcleo-núcleo ou núcleo com outra partícula. Durante uma reação nuclear pode haver emissão de radiação eletromagnética e/ou corpuscular. Um dos produtos finais da reação nuclear são núcleos que também podem sofrer decaimento radioativo.

No processo de decaimento radioativo o núcleo se desintegra e origina diferentes núcleos ou mesmos núcleos, porém, com estados de menor energia, emitindo radiação gama.

Esse é o caso do Césio-137, por isso nos ateremos a estudar somente o processo de decaimento radioativo, embora a reação nuclear seja um processo de extrema importância social, principalmente na geração de energia.

1.1 Decaimento radioativo

O processo de decaimento está relacionado com as seguintes regras: a) Se o núcleo emitir uma partícula α[5], o número de prótons diminui duas unidades e sua massa quatro; b) Se o núcleo emitir uma partícula β^-[6], a carga positiva nuclear aumenta uma unidade, obtém-se um núcleo correspondente ao elemento químico de número atômico maior em uma unidade e a massa varia pouco e; c) Se o núcleo emitir radiação γ[7], o número atômico e o número de massa não se alteram (RÊGO, 2004).

[5] Uma partícula alfa é um núcleo de Hélio sem os 2 elétrons mas ainda contendo 2 prótons e 2 nêutrons.
[6] Uma partícula beta é um elétron ou um pósitron de alta energia emitidos por núcleos atômicos através de um processo conhecido como decaimento beta. Durante o decaimento beta negativo, um nêutron se converte em próton emitindo um elétron e um antineutrino (antipartícula do neutrino).
[7] Radiação gama é um tipo de radiação eletromagnética.

Quando um nuclídeo se desintegra, transforma-se em outro que pode ser radioativo ou não. Caso seja, esse novo nuclídeo pode se desintegrar. Esse processo (cadeia radioativa) pode ocorrer várias vezes até que se obtenha um isótopo estável. O tempo entre uma desintegração e outra não é sempre o mesmo. Na verdade, esse processo é estatístico, então, calcula-se a probabilidade de o núcleo decair por unidade de tempo. Chamamos este valor de *constante de decaimento* λ. O calculo probabilístico é feito para um grande número de núcleos, não apenas para um.

Em síntese, não há como prever quando um núcleo específico decairá, mas sim o número de desintegrações de uma fonte radioativa por unidade de tempo. Portanto, o número de núcleos instáveis diminui em função do tempo. Nesse caso, atividade de uma fonte radioativa é proporcional ao número de núcleos instáveis de uma amostra.

O número de desintegrações que ocorrem por unidade de tempo depende da quantidade de material radioativo contido na amostra. Quando falamos do número de desintegrações em certo intervalo de tempo, utilizamos as unidades becquerel (Bq) ou curie (Ci), onde:

1 Bq = 1 desintegração por segundo

1 Ci = $3{,}7.10^{10}$ desintegrações por segundo

O número de núcleos radioativos decresce exponencialmente e o intervalo de tempo em que este número cai à metade é sempre o mesmo. Este intervalo de tempo é definido como *meia-vida*, sendo representado por $T_{\frac{1}{2}}$.

Em termos práticos, cada elemento radioativo da tabela periódica possui meia-vida fixo e diferente um do outro. Para exemplificar, o tempo de meia-vida do Césio-137 é de 30 anos, ou seja, uma amostra de 10g de Césio-137 se transformará em 5g passados 30 anos.

A radiação interage com a matéria através de duas formas diferentes: a interação particulada (α e β) e a interação eletromagnética (γ e X). A

interação da radiação γ com a matéria é diferente da interação das radiações α e β, justamente pelo seu alto poder de penetração. Tanto a radiação γ como os raios-X, não possuem alcance definido, pois são de origem eletromagnética e seu alcance depende da energia da radiação. As partículas carregadas perdem sua energia até serem absorvidas devido às colisões com os elétrons dos átomos, ao contrário de um feixe de fótons de raios γ.

1.1.1 Decaimento alfa

Decaimento alfa é a emissão de um núcleo de Hélio (partícula α) – dois prótons e dois nêutrons, ou seja, quando um átomo perde dois prótons e dois nêutrons, não importando como, dizemos que esse átomo sofreu decaimento alfa. Em um determinado material radioativo, não haverá um único átomo sofrendo este processo. Isto ocorre com vários átomos, na forma de uma cadeia e como já mencionamos, este processo é estatístico.

1.1.2 Decaimento beta

Quando Pauli e Fermi investigavam a questão do decaimento beta, perceberam que a energia não se conservava. Como existe uma lei na Física que diz que a energia sempre deve se conservar, produziram algumas hipóteses para justificar o problema. A hipótese aceita foi a da possível existência de uma partícula desconhecida até então. Linus e Fermi chamaram esta partícula de *neutrino* (ν), uma partícula que possuía a quantidade de energia necessária para a conservação da energia total do sistema. Durante o processo de decaimento β há liberação de energia através da partícula β, do neutrino e do núcleo que recua.

De acordo com a teoria de Fermi, ao emitir uma partícula β, o núcleo muda sua carga de uma unidade, enquanto sua massa praticamente não muda. Quando o núcleo emite uma partícula β como sendo um elétron, o número de nêutrons diminui uma unidade e o número de prótons aumenta uma unidade. Quando o núcleo emite uma partícula β como sendo um pósitron, o número de nêutrons aumenta uma unidade e o número de prótons diminui uma unidade (KAPLAN, 1978).

1.1.3 Decaimento gama

O decaimento gama é parte fundamental do nosso trabalho, pois o Cs-137 emite radiação gama. O decaimento γ está associado algumas vezes ao decaimento α e β. Quando um núcleo decai, geralmente ele ainda fica excitado, e ao perder esta energia, emite radiação γ, que é composta por fótons.

As equações de absorção dos raios γ podem ser escritas da mesma forma que fazemos com os raios-X, o que não surpreende devido as duas radiações serem de natureza eletromagnética. Não há meios de diferenciar estas duas radiações pelas suas diferenças de propriedades. Segundo Rêgo (2004), a natureza da radiação gama é idêntica à do raio-X, proveniente da perda de excitação por parte dos átomos, porém possuem origens distintas. Os raios-X são produzidos através de um mecanismo diferente daquele que produz a radiação gama. Basicamente, sua diferença está relacionada com a fonte, enquanto a radiação γ é produzida pelos núcleos dos átomos os raios-X são produzidos por saltos dos elétrons para camadas menos energéticas e assim, emitindo fótons. Durante o processo de emissão de radiação γ o nuclídeo decai sem alterar seu número de massa e os fótons emitidos possuem geralmente energias muito elevadas, da ordem de mais de $10keV$.

Um comportamento bastante diferente da radiação γ com relação às partículas carregadas é a absorção pela matéria, pois a radiação γ tem um poder de penetração muito maior e é, por isso, melhor absorvido pelos materiais. Porém, existem maneiras de atenuar a propagação desses raios, impondo-lhes barreiras de proteção.

Quando um feixe de raios γ homogêneo atravessa uma placa fina, a intensidade da radiação decresce de acordo com a espessura desta placa e com o coeficiente de absorção. Podemos escrever a intensidade do feixe em termos do número de fótons que atravessa uma unidade de área por unidade de tempo e da energia de cada fóton. Nem toda a radiação incidente no material é absorvida e da parcela absorvida, nem toda radiação irá interagir com o material.

Alguns materiais acabam bloqueando parte da radiação γ, como o chumbo, o concreto, o aço, a terra e o corpo humano (KAPLAN, 1978). Um fóton de radiação gama pode perder toda ou quase toda energia numa única interação e a distância que ele percorre antes de interagir não pode ser prevista. Podemos prever apenas a distância em que o fóton tem 50% de chance de interagir. Essa distância se chama *camada semi-redutora*.

1.2 Unidades de radioatividade

Existem três unidades físicas relacionadas à radiação. A primeira delas refere-se à exposição, a segunda diz respeito à dose absorvida e a terceira é a dose equivalente.

Quando a radiação interage com os átomos de algum meio, pode ocorrer a produção de elétrons ou pares (elétron-pósitron). A exposição é uma grandeza física definida para esses raios, tendo o ar como meio de interação. Essa grandeza é dada pelo quociente entre a soma das cargas elétricas de todos os íons de mesmo sinal (produzidos no ar, quando todos os elétrons e pósitrons liberados pelos fótons de radiação gama) e o elemento de volume de ar, são completamente freados no ar: A unidade de exposição é o *roentgen* R:

$$1R = 2{,}58 \cdot 10^{-4} \, C/kg$$

A segunda unidade de radiação se refere à dose absorvida. A exposição à radiação é dada em termos de ionização de partículas do ar e não em termos de quantidade de absorção de radiação. Para isso, precisamos conhecer a grandeza *dose absorvida* D. Esta quantidade está relacionada com as possíveis mudanças químicas e biológicas no tecido exposto à radiação. A International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) define esta grandeza como a energia absorvida da radiação dividida pela massa do absorvedor:

De 1950 a 1975, a ICRU utilizou como unidade oficial a rad (radiation asorbed dose), de forma que:

$$1rad = 100\,{}^{erg}\!/_{g} = 10^{-2}\,{}^{J}\!/_{kg}$$

fosse definido ao modo que, $1R$ de radiação gama resultasse numa dose absorvida pelo tecido mole ou água de aproximadamente $1rad$. Independentemente da energia de radiação, a razão ${}^{rad}\!/_{R} = 1$. Para outros meios, como por exemplo, o osso, a razão ${}^{rad}\!/_{R} = 4$ para absorção de raios X e aproximadamente 1 para absorção de radiações com energias superiores a $300keV$. A partir de 1975, adotou-se a unidade *gray* (Gy) para o Sistema Internacional de Unidades, de forma que:

$$1Gy = 1\,{}^{J}\!/_{kg}$$

e

$$1Gy = 100rad$$

Finalmente, a terceira grandeza: *dose equivalente* H, que além da dependência da energia da radiação, as possíveis mudanças nas configurações biológicas e químicas dependem também da distribuição da energia da radiação, bem como, do tipo da radiação incidente. Quanto maior for a densidade de ionização produzida pela radiação no meio, maior será o dano.

A unidade de H era, até 1975, o *roentgen equivalent men* (rem). A partir desta data, a ICRU adotou o *sievert* (Sv) para o Sistema Internacional de Unidades. Para fótons $1Sv = 1Gy$. A relação entre o *sievert* e o *roentgen equivalent men* é $1Sv = 100rem$.

Todas estas definições são necessárias para entendermos os mecanismos de proteção definidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Com o objetivo de restringir os efeitos somáticos nos indivíduos expostos, são estabelecidos alguns limites, que são diferentes para trabalhadores e para o público em geral. A CNEN e a ICRP acreditam que um método válido para julgar a aceitabilidade do nível de risco no trabalho com

radiação seja compará-lo com o de outras ocupações reconhecidas contendo alto grau de segurança, ou seja, aquelas onde o nível médio anual de mortalidade devido a acidentes de trabalho não exceda a 1 em 10.000.

Estamos expostos à radiação natural a todo o momento. A radiação natural, que não é produzida ou modificada tecnologicamente pelo homem, representa mais da metade da exposição a que as pessoas estão sujeitas. O trabalho de Almeida (1990) apresentou um estudo realizado pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) no ano de 1981, onde esta agência estimou a exposição relativa do homem à radiação ionizante média naquele ano. O resultado mostra que a radiação natural representou 67,6% do total. Outras fontes foram: irradiação médica – 30,7%; precipitação – 0,6%; fontes diversas – 0,5%; exposição ocupacional – 0,45%; e efluentes de instalações nucleares – 0,15%. Os efeitos da radiação natural não são tão nocivos quanto os efeitos oriundos de outras radiações, pois ela se encontra difusa, muito dispersa na Terra. Os raios cósmicos provenientes do Sol que chegam até a superfície da Terra também contribuem, aparelhos utilizados na aviação civil contém pequeníssimas doses de radiação, além dos próprios materiais naturais radioativos distribuídos em toda a porção terrestre.

Para aqueles que trabalham com radiação, a ICRP estipulou um limite máximo de dose absorvida de $50mSv$, tendo por base experiências anteriores sem contar com a exposição à radiação natural e à radiação em exames médicos. Isto porque acredita-se que a exposição a uma dose de radiação no caso de um diagnóstico, por exemplo, pode causar mais benefícios que malefícios. Para tanto, precauções devem ser tomadas a fim de limitar os riscos e prevenir acidentes, como utilizar máscaras, não pipetar com a boca, não colocar dedos na boca, não fumar nos locais de trabalho, lavar as mãos com água e sabão sempre que necessário, utilizar luvas e roupas especiais.

Tomadas essas precauções, a manipulação da radiação nuclear pode trazer enormes benefícios em diversas áreas da atividade humana.

1.3 Usos benéficos da radiação nuclear

A radiação utilizada de forma deliberada pelo homem em "*numerosos benefícios para a sociedade moderna é classificada como radiação feita pelo homem*" (ALMEIDA, 1990, p. 16). A cada dia, novas técnicas de uso da radiação são desenvolvidas em diversos campos da vida humana, como na medicina, farmácia e agricultura, por exemplo, mas infelizmente estes benefícios são pouco divulgados.

Medicina Nuclear é a área da medicina que utiliza substâncias radioativas para detectar doenças e tratar pacientes. Os isótopos radioativos ou radioisótopos possuem propriedades físicas que permitem sua utilização em favor da vida humana. Dependendo da energia dos radioisótopos é possível detectá-los através de detectores de radiação e dessa forma, o deslocamento destes radioisótopos e seu percurso pode ser mapeado. Quando um radioisótopo é utilizado com este fim recebe o nome de traçador radioativo.

Os radioisótopos são utilizados na medicina nas funções de diagnóstico ou terapia (DAMASIO e CALLON, [20--?]). Enquanto recurso de diagnósticos, quando administrados em pacientes, passam a emitir radiação no órgão onde tem preferência de se alojar. A exemplo disso é possível citar o iodo-131 (I-131) que emite partículas beta, radiação gama e tem meia-vida de oito dias. Pelo fato de possuir meia-vida curta, ser absorvido facilmente pela tireóide, eliminado rapidamente do organismo e possuir energia de radiação gama baixa, é largamente utilizado pela medicina. Sua utilização, com o elemento radioativo ou não, torna possível observar se sua absorção e distribuição foi normal (ALMEIDA, 1990). O tecnécio-99 (Tc-99m) é utilizado para mapear rins, cérebro, fígado, pulmão, ossos, além de diagnósticos de infarto agudo do miocárdio, problemas circulatórios e placenta, através da técnica da cintilografia. O samário-153 (Sm-153) é injetado em pacientes com metástase óssea como paliativo para dor. Estes radioisótopos são produzidos e distribuídos semanalmente pelo Instituo de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) em São Paulo (CNEN, [20--?]).

O principal exemplo de uso terapêutico é no combate ao câncer. Inicialmente conhecida por “Curieterapia” devido ao casal Curie, que foram os primeiros a utilizar o elemento rádio na destruição de células cancerosas, a radioterapia atual conta com a utilização de diversos radioisótopos. O césio-137 (Cs-137) e o cobalto-60 (Co-60) destroem células de tumores, por isso são bastante utilizados na medicina, uma vez que células de tumores são mais sensíveis à radiação do que as células normais. A *Bomba de Cobalto* é um dos aparelhos mais conhecidos na radioterapia de tratamento contra o câncer. Este aparelho é uma fonte de Co-60 encapsulada e blindada para impedir a passagem da radiação. O Co-60 veio a substituir a fonte de Cs-137 (a mesma do acidente radioativo em Goiânia) devido ao melhor rendimento terapêutico, além de outras razões técnicas. Apenas no momento do tratamento, a fonte é deslocada de sua posição segura até um orifício que permite a passagem de um feixe de radiação concentrado sobre a região do corpo a ser irradiada. Após este processo, a fonte volta para a posição segura (CNEN, [20--?]).

Na agricultura é possível a utilização de traçadores radioativos para acompanhar o metabolismo das plantas, investigando o que elas precisam para crescer, o que é absorvido pelas raízes e pelas folhas e onde um determinado elemento químico, um agrotóxico por exemplo, ficou retido no alimento ou quanto foi para o solo, para a água e atmosfera. É possível ainda o estudo do comportamento de insetos. As formigas e abelhas, por exemplo, ao ingerirem um traçador radioativo, ficam “marcadas”, permitindo um mapeamento de formigueiros e as preferências das abelhas por flores. Através deste processo, é possível descobrir quais são os predadores das pragas e, portanto, utilizar estes predadores ao invés de inseticidas nocivos à saúde. Outra forma de eliminar pragas é esterilizar os machos através da aplicação da radiação gama e depois soltá-los no ambiente para competirem com os normais, reduzindo sua reprodução sucessivamente, até a eliminação total da praga, sem qualquer poluição com produtos químicos (CNEN, [20--?]).

No caso da batata, cebola, alho e feijão, os engenheiros de alimentos prolongam a validade destes produtos em até um ano irradiando-os com a finalidade de destruir microorganismos degeneradores.

A aplicação de radioisótopos na indústria, por exemplo, permite a inspeção de materiais metálicos, investigando rachaduras e fadigas.

Mesmo no campo das humanidades a radioatividade tem utilização benéfica. Através do carbono-14 (C-14), que tem meia-vida de 5.600 anos, é possível estimar a idade de objetos antigos, como fósseis e objetos de madeira. A partir da quantidade de C-14 encontrada nos Pergaminhos do Mar Morto, por exemplo, foi possível determinar sua idade (CNEN, [20--?]).

Além das formas de utilização da radiação mencionadas acima, outras atividades desenvolvidas pelo homem também utilizam a radiação. Essas atividades também produzem benefícios, "*mas o custo desses benefícios contra os riscos é mais difícil de se estimar*" (ALMEIDA, 1990, p. 17). Certos benefícios favorecem a toda a sociedade, mas os trabalhadores que estão sujeitos à radiação no seu trabalho, sofrem prejuízos, como por exemplo os mineiros que lidam com urânio, utilizado como combustível em usinas nucleares. Eles podem estar sujeitos a um risco aumentado de terem câncer de pulmão, além de outros efeitos biológicos.

1.4 Efeitos biológicos

Existe uma diferença básica entre ser contaminado e irradiado. Contaminado significa que a pessoa inalou ou ingeriu o material radioativo, portanto, essa pessoa passa a ser uma fonte radioativa. Irradiado significa que a pessoa apenas se aproximou da fonte radioativa e recebeu uma dose da radiação desta fonte.

A contaminação radioativa ocorre quando uma pessoa absorve, direta ou indiretamente, uma dose radioativa suficiente para que ocorra algum efeito em seu organismo. Quando esta dose não é suficientemente grande para que ocorra algum efeito, não há contaminação. A contaminação direta ocorre quando uma pessoa inala ou ingere alguma substância radioativa e a contaminação indireta ocorre quando uma pessoa tem um contato físico com esta substância.

Quatro meses após a descoberta dos raios-X, foi identificado o primeiro efeito biológico: a queda de cabelos. Três anos mais tarde, médicos curaram um tumor de pele na ponta do nariz de um paciente, em 1903 obteve-se a diminuição do baço de um paciente com leucemia através da utilização de técnicas de aplicação dos raios-X, evidenciando assim, um avanço desse campo científico que de alguma forma foi aplicado no conjunto da sociedade. Porém, alguns efeitos danosos foram observados e, desde então, há investigação científica em todo o mundo.

Okuno, Caldas e Chow (1986) classificam os efeitos biológicos da radiação apontando dois tipos de manifestação: a curto e a longo prazo.

Os efeitos observáveis em apenas horas, dias ou semanas após a exposição do indivíduo à radiação são considerados efeitos a curto prazo. Estes efeitos estão associados a altas doses de radiação, acima de 1 Sv, recebidas por grandes áreas do corpo, num curto período de tempo. Dependendo da dose, pode ser provocada a chamada *síndrome aguda de radiação*, em que podem ocorrer náuseas, vômitos, prostração, perda de apetite e de peso, febre, hemorragias dispersas, queda de cabelo e forte diarréia. Dependendo das condições da dose e do indivíduo, o resultado final pode ser letal. A radiação, assim como outras fontes de energia, também podem provocar queimaduras e Leucemia (ALMEIDA, 1990).

Os três sistemas de órgãos importantes na síndrome aguda de radiação são o sistema hematopoético – para doses equivalentes abaixo de 5 Sv; o sistema gastrintestinal – para doses equivalentes entre 5 e 20 Sv, e o sistema nervoso central – para doses equivalentes acima de 50 Sv.

Os limites máximos para cada ser vivo são diferentes (Tabela 2). Com base em experiências realizadas em laboratório, as doses equivalentes letais para os diferentes seres vivos foram estimadas:

Tabela 2 - Limites de dose equivalente para diferentes seres vivos.

Mamíferos	entre 2 e 10 Sv
Insetos	entre 10 e 103 Sv
Plantas	entre 10 e 103 Sv
Microrganismos	entre 103 e 104 Sv

Os efeitos nas pessoas que são irradiadas, dependendo da dose de radiação absorvida, podem variar desde uma simples diarréia até a morte. Cruz (1987) apresenta uma tabela com os efeitos e níveis de absorção da radiação (Tabela 3).

Tabela 3: Níveis de absorção da radiação e efeitos no ser humano. Fonte: (CRUZ, 1987, p. 167).

150 a 400 rem	Problemas digestivos leves; perda parcial dos pelos e cabelos; cansaço persistente; problemas sanguíneos leves; náuseas; vômitos e; diarréias.
400 a 600 rem	Náuseas; vômitos; vertigens; perda dos pelos e cabelos em 2 a 6 semanas; modificação da composição sanguínea e; risco de morte elevado.
600 a 2000 rem	Problemas sanguíneos e digestivos graves; diarréia; vômitos; perfuração intestinal; a morte pode se seguir 15 dias após a irradiação.
Acima de 2000 rem	Morte.

Outros efeitos são aqueles que são observados alguns anos depois. São casos de animais adultos que receberam altas doses de radiação não letal, portanto com recuperação aparente. Podem ser também exposições a pequenas doses e durante um longo intervalo de tempo: são os casos de pessoas ocupacionalmente expostas, como radiologistas e pesquisadores da radiação.

Os efeitos a longo prazo ou tardios, podem ser subdivididos em duas classes, conforme o quadro 2.

Quadro 2 – Efeitos biológicos a longo prazo.

Genéticos	Mutação das células reprodutoras, afetando gerações futuras. No plural, pois, as mutações podem afetar filhos, netos e etc. Este efeito é cumulativo, ou seja, quanto maior a dose, maior o número de mutações ocorridas. Tais mutações podem produzir defeitos físicos ou mentais, aumentar a suscetibilidade a determinadas doenças crônicas, ou a anormalidades bioquímicas ou ainda levar a óbito.
Somáticos	Afetam diretamente o indivíduo exposto, não são transmitidos a gerações futuras e dependem do tipo de radiação, da profundidade atingida, da área ou volume do corpo exposto, da dose total recebida e do tempo de irradiação. Os efeitos somáticos mais importantes no homem são: o aumento na incidência de câncer; anormalidade no desenvolvimento do embrião; indução de catarata e redução da vida média. É claro, o mais temido é o efeito carcinogênico (leucemia, câncer de pele, da tireóide, dos ossos e do seio).

Alguns efeitos a longo prazo já observados:

1. 1913 a 1925. Alguns pintores utilizavam rádio radioativo para pintar mostradores de relógios. Eles afinavam o pincel com a língua, ingerindo, dessa forma, o rádio. Observou-se necrose nos ossos, causada pela radiação emitida pelo rádio, depositado nos ossos por causa das semelhanças químicas entre o rádio e o cálcio. Alguns desenvolveram também câncer na boca e no esôfago;

2. 1945. Alguns dos sobreviventes dos bombardeios atômicos nas cidades de Hiroxima e Nagasáqui desenvolveram leucemia e câncer na tireóide e ossos.

3. 1986. O acidente de Chernobyl matou 31 pessoas instantaneamente, causou a evacuação de mais de 130.000 pessoas da região, produziu câncer em várias pessoas, principalmente na glândula tireóide de crianças (NUCTEC,

2000). Para se ter uma idéia da grandeza do acidente, foi liberada 400 vezes mais material radioativo na atmosfera do que a bomba atômica de Hiroshima (CABRAL, 2002).

4. 1987. Foram examinadas 112 mil pessoas em Goiânia, dentre as quais, 249 estavam contaminadas, apresentando diversas complicações de saúde. Na verdade, a falta de informação por parte dos indivíduos que romperam o invólucro de chumbo do equipamento de radioterapia possibilitou que diversas outras fossem contaminadas com o material radioativo.

1.5 A Física relacionada ao acidente

O césio é um elemento químico e pode ser encontrado na natureza da na forma de Cs-133, o que significa que ele possui 133 partículas em seu núcleo atômico, sendo elas 55 prótons e 78 nêutrons. Este elemento é estável, porém, pode ser obtido artificialmente a forma Cs-137, com 4 nêutrons a mais. Este elemento pode emitir partículas α e γ. Dependendo da forma como se usa essa radiação, podemos produzir efeitos benéficos, porém, é possível também ocorrer situações devastadoras como foi o caso de Goiânia, ou seja, sua utilização pode curar doenças, mas também pode causar doenças. Estes resultados devastadores podem depender de uma série de fatores, como energia de radiação, tempo de exposição à radiação, parte do corpo irradiado, dose de radiação absorvida, maior ou menor sensibilidade da pessoa, etc.

O Césio 137 é um elemento radioativo que possui meia-vida de 30 anos, isto quer dizer que uma amostra de 100 g, por exemplo, terá, daqui 30 anos, apenas 50 gramas de elemento radioativo. Depois de mais 30 anos, haverá apenas 25 g e assim por diante.

No nosso dia-a-dia somos irradiados pela natureza constantemente, isso por ela possuir um pequeno nível de radiação. Além disso, o efeito é cumulativo, assim uma dose absorvida hoje poderá se somar com uma dose absorvida que por ventura a pessoa absorva daqui a um mês. A radiação que recebemos da natureza não nos é prejudicial, justamente pelo seu baixo nível de radiação. Porém, as pessoas que entraram em contato com a cápsula de Césio-137 no acidente de Goiânia receberam doses que chegam a atingir

dezenas de milhares de vezes a quantidade que absorvemos naturalmente em um ano, demonstrando assim a gravidade do acidente.

Há maneiras de nos protegermos da radiação do Césio-137, como:

> Restringindo-nos ao problema físico, poderíamos dizer que barreiras naturais ou artificiais podem ser interpostas entre nós e as fontes radioativas atenuando esta radiação para níveis seguros. O próprio ar pode agir como atenuador. A uma distância de aproximadamente 250 m, a intensidade de radiação do césio cai a um décimo do seu valor próximo à fonte, se houver apenas ar. Por essa razão, foi delimitada uma área de perigo em Goiânia, fora da qual os níveis de radiação são mínimos (CRUZ, 1987, p. 169).

Para o acondicionamento do lixo atômico é necessário:

> [...] escolher recipientes que amenizem a radiação. Uma placa de concreto de aproximadamente 10 cm de espessura pode atenuar a radiação do césio para um décimo de sua intensidade. Este mesmo efeito pode ser obtido com uma placa de chumbo de 2,1 cm, ou uma de ferro de 4,28 cm, ou ainda uma de alumínio de 12,9 cm e até mesmo com um recipiente de água de 29 cm (CRUZ, 1987, p. 169).

Após o acidente, a CNEN ficou responsável por monitorar o lixo radioativo extraído das instalações contaminadas. Esta instituição nacional recebe recursos do governo federal para pesquisas relacionadas ao uso benéfico da energia nuclear, divulgação e orientação para a sociedade em geral, ao mesmo tempo oferecendo cursos de formação na área nuclear, certificando estes profissionais. Outro aspecto importante é a relação que a CNEN estabelece com as escolas, com o objetivo de informar grande parte do alunado no que se refere à energia nuclear e mais especificamente, através do CRCN-CO, esclarecer a sociedade sobre o acidente radioativo com o Césio-137 em Goiânia.

Nesse sentido, a CNEN cumpre uma função social relevante em relação à educação, estreitando as relações sociais entre educação formal e não-formal, ampliando a perspectiva educacional, possibilitando ao aluno um entendimento diferente do que normalmente está habituado ao cotidiano da escola, estimulando esse aluno a descobrir outras possibilidades de conhecimento.

Capítulo 2

Escola, sociedade, ciência e público

A educação em ciências não pode se valer apenas do ensino promovido dentro das escolas, nem somente com materiais previamente organizados para fins didáticos. Outros ambientes de aprendizagem e fontes de informação devem integrar uma boa educação.

2.1 Escola e sociedade

A educação é um processo onde os indivíduos estão envolvidos de modo necessário e inevitável, pelo simples fato de existirem socialmente (LIBÂNEO, 1992). Segundo Libâneo (1992), desde Marx e Engels, a educação só pode ser entendida como produto de desenvolvimento social. Esse produto é determinado pelas relações sociais e pelo interesse e prática da classe. Num sentido mais geral, a educação abrange o conjunto das influências do meio natural e social que afetam o desenvolvimento do homem. Vários são os fatores que exercem ação educativa, como os naturais, sociais, políticos e culturais. São forças que operam e condicionam a prática educativa os valores, os costumes, as idéias, a religião, as leis, a organização social, o sistema de

governo, os movimentos sociais, as práticas de criação de filhos e os meios de comunicação social.

Ao longo do desenvolvimento histórico da sociedade, surge a educação intencional como conseqüência da complexificação da vida social e cultural, da modernização das instituições do progresso técnico científico, da necessidade cada vez maior número de pessoas participarem das decisões que envolvem a coletividade.

Libâneo (1992) observa que a educação pode ser intencional e não-intencional. A educação intencional se desdobra em formal e não formal. Já a educação não-intencional também é conhecida como informal ou paralela.

Na educação intencional, distinguem-se duas modalidades: formal e não-formal. De acordo com Libâneo (1992), o termo formal refere-se a tudo que implica uma forma, isto é, algo inteligível e estruturado. Em uma palestra proferida por Libâneo (1993), as modalidades de educação intencional foram sucintamente descritas como:

> [...] a educação não-formal e a educação formal compreendem instâncias de formação, escolares ou não, onde há objetivos educativos explícitos e uma ação intencional mais estruturada, mais deliberada, embora variem, em uma e outra modalidade, os graus de institucionalização e estruturação. É claro que existe uma interpenetração constante entre essas três modalidades. Elas se distinguem, mas é impossível considerá-las isoladamente (LIBÂNEO, 1993, p. 113).

Para Sarramona et al (1998 apud MARTINS, 2009) as três modalidades de educação – formal, não formal e informal – possuem outras relações além da intencionalidade. Estas diferenças e/ou semelhanças estão arroladas segundo os critérios de duração, universalidade, instituição e estruturação. A modalidade formal possui limites bem definidos, não é universal, pois não afeta todas as pessoas, é institucionalizada – na verdade, a única que se dá em uma instituição específica – e bem estruturada, visto que o ensino escolar é organizado em níveis no Brasil, atualmente denominados Fundamental, Médio e Superior. A educação não-formal não possui limites definidos, também não é universal, é parcialmente institucionalizada e não é estruturada. Por outro lado,

a modalidade de educação informal não possui limites, é universal, não é institucional, porém, bem estruturada.

2.1.1 Educação formal

Educação formal é aquela estruturada, organizada, planejada e sistemática. A educação escolar é, então, formal. A educação escolar é um exemplo de educação formal, constituindo-se em promover a aquisição de conhecimento e habilidade para o exercício pleno de práticas de “alfabetismo” científico (CAZELLI, 2001). Isso não significa que só a escolar seja formal ou intencional, mas também o é a educação de adultos, a educação sindical, a educação profissional, pois caracterizam um trabalho pedagógico-didático.

Martins (2002) aponta a importância de todas as modalidades de educação para a compreensão de ciências e ainda define a educação formal como aquela estruturada de acordo com os objetivos específicos das políticas educativas vigentes.

Portanto, a educação formal acontece prioritariamente na escola, cujo modelo de ensino é sistemático e organizado, é estruturada de acordo com leis e normas e apresenta um currículo relativamente rígido em termos de objetivos, conteúdo e metodologia.

Um dos elementos obrigatoriamente presente na educação formal é a avaliação, uma vez que a educação formal tem o compromisso de “certificar” e, portanto precisa definir objetivos e critérios para avaliar o cumprimento desses objetivos.

2.1.2 Educação não-formal

A educação não-formal contempla as atividades intencionais com baixo grau de estruturação, sistematização e organização. É claro, há interações pedagógicas, porém não formalizadas. Exemplo disso são as atividades extra-escolares que provêem conhecimentos complementares (Libâneo, 1992).

A educação não-formal pode acontecer fora da escola, veiculada por museus, centros de ciências e outros meios de comunicação. Por não ser

obrigatória, acontece de acordo com a vontade do indivíduo, é necessário torná-la agradável (MARTINS, 2002). Outra possibilidade é o que ocorre dentro da escola. Apesar de ser um espaço formal, quando há interações entre estudantes, ocorre, de acordo com Cazelli (2001), a educação não-formal.

A modalidade não-formal tem ganhado destaque na elaboração de políticas nacionais de ensino e divulgação. Devido às ações de cunho educacional e às pesquisas na área se constitui como referência para a educação contemporânea. A modalidade não-formal promovida nos museus de ciências, por exemplo, deve ser reconhecida no sentido de "*desenvolver parcerias educacionais para a formação de profissionais para a educação formal e a não formal em ciências que atuem articulando essas duas formas de educar*" (CAZELLI, 2001, p. 16).

Kutenbach et al (2005) utilizam o termo não-formal tomando como exemplo um museu, onde acontecem atividades programadas e intencionais, porém, com baixa estruturação e sistematização. Dessa forma, possibilita a ampliação e a melhoria do conhecimento científico dos estudantes e da população em geral. Neste sentido, avaliam esta modalidade como vantajoso para todos os envolvidos, sofisticando suas concepções científicas. Além do mais, os pesquisadores se aproximam das necessidades e problemas prementes da sociedade, divulgando conceitos e resultados em uma linguagem acessível a todos, facilitando para que os conhecimentos científicos possam fazer parte do cotidiano do cidadão comum.

Na educação não-formal não é obrigatório que haja avaliação, pois não há o compromisso de certificar e, portanto qualquer contribuição para a aprendizagem é satisfatória. No entanto, aqueles que a desenvolvem estudam formas de avaliar sua atuação, considerando a notória contribuição desta modalidade de educação na formação da opinião pública e na constituição da cultura.

2.1.3 Educação informal

A educação ocorre também de modo não intencional, informal, ou seja, sem uma sistematização formal. É exemplo dessa modalidade de educação a criação de filhos, valores, costumes, religião, estrutura social, perpassando a intencionalidade. Mesmo acontecendo de forma não-intencional, não podemos negar seu valor educativo. O termo *informal* seria mais adequado para situações informais do cotidiano da pessoa, afetando e influenciando sua educação. A produção das conseqüências educativas informais acontece na rua, no trabalho, em casa e não em "*instâncias claramente institucionalizadas* [...] *dirigidas por sujeitos determináveis*" (LIBÂNEO, 1992, p. 83)

A aprendizagem informal ocorre de forma espontânea no nosso dia-a-dia e é, entre todas, a forma de aprendizagem menos programável (MARTINS, 2002). Por isso, esta modalidade de educação se apresenta numa linguagem mais próxima da usual e acontece sem método ou técnica e ainda sem objetivo consciente. Sucintamente:

> Chamo de educação informal aquela que se desenvolve através das relações dos indivíduos e grupos com seu ambiente humano, social, ecológico, físico e cultural, das quais resultam conhecimentos, experiências, práticas, mas que não estão ligadas especificamente a uma instituição, nem são intencionais e organizadas. Chamo essas práticas educativas de não intencionais. (LIBÂNEO, 1993, p. 113)

Este autor menciona que os pesquisadores desta modalidade de educação dão ênfase no processo educativo além da "dualidade" docente/discente.

2.2 Ciência e público: divulgação e popularização da ciência

A ciência é diferente de todas as outras áreas do conhecimento, tão diferente que sua aprendizagem apresenta alguns problemas particulares. Não apenas por ser diferente, Shamos (1995) argumenta que para se ter uma compreensão de ciência, é necessário um modo incomum de pensamento.

Para o autor, um sério problema é que a ciência é apresentada aos estudantes e ao público *a posteriori*, como um fato consumado, com teorias,

fatos e leis já “amarradas”. Na educação formal não se utiliza outra forma de apresentá-la ao aluno, que, por sua vez, utiliza pouco de seu tempo com a ciência formal e em muitos casos, de má vontade. Segundo este autor, a deficiência fundamental da educação em ciências é o fato de a mesma ser fragmentada e distinta em áreas (Biologia, Química, Física, Ciências da Terra, Astronomia), além de suas subdivisões. No entanto, espera-se que o aluno consiga ver o todo e não somente as partes.

Outro problema é a metodologia de ensino, pois a Educação em Ciências é, por vezes, centrada nos cursos e não na própria ciência, muito menos, centrada nos alunos. O desenvolvimento de novas perspectivas para o currículo tem sido discutido há alguns anos, no sentido de renovar esforços para a alfabetização científica (SHAMOS, 1995). Essa discussão é relevante no sentido de que são tentativas de solucionar, ao menos amenizar, alguns problemas da educação em ciências.

Uma das formas de o conhecimento científico estar ao alcance de todos é através da divulgação científica. Existe uma discussão sobre a utilização de material de divulgação científica na educação formal, porém, ela integra o conjunto de ações da educação não-formal, ou seja, sem horários, lugar ou currículos, compartilhando os conhecimentos “*em meio a uma interação sociocultural que tem, como única condição necessária e suficiente, existir quem saiba e quem queira saber*” (Equipe da Casa da Ciência, 2002).

O processo de divulgação científica é um elo entre o público em geral e a ciência por meio de diversos tipos de recursos e técnicas (RIBEIRO e KAWAMURA, 2006).

Três pontos fundamentais são levantados por Candotti (2002) para tratar da divulgação científica na educação de todos. O primeiro deles é promover uma campanha entre pesquisadores e sociedades científicas com o intuito de promover e incentivar mais cientistas a escreverem para as crianças e alunos das escolas, enriquecendo seu universo de informações e atualizando professores e textos didáticos. O segundo ponto está relacionado às tecnologias. Elas devem ser incorporadas, porém nunca com a intenção de

"*substituir o papel da experiência, do teste e da interpretação dos resultados, dos modelos e das idéias, como também do exame dos objetos e documentos* [...]". O terceiro e último ponto está centrado na contextualização "*à cultura, às condições, aos hábitos, aos jogos, às histórias e às tradições locais quando ensinamos ciências*" (Candotti, 2002, p. 22-23).

Silva, Arouca e Guimarães (2002) complementam a respeito, considerando que as ações da divulgação científica têm como objetivos principais:

> 1. afirmar o direito de cidadania com relação ao conjunto das ações de popularização da ciência;
> 2. despertar vocações científicas nos jovens;
> 3. gerar parâmetros para a própria comunidade científica.

Na atualidade, vivemos um constante avanço tecnológico, intimamente ligado à ciência, ciência esta que, ao ser popularizada *"[...] deixa de ser um fim em si mesmo e adquire o significado de direito do cidadão e uma das condições necessárias à formação e capacitação dos indivíduos para lidarem com o mundo em que estão inseridos"* (SILVA; AROUCA e GUIMARÃES, 2002, p. 157).

Os artigos científicos passam por diversas transformações ao serem adaptados para textos de divulgação, como por exemplo, utilizar uma linguagem mais convencionais em detrimento de termos muito técnicos, não mencionar ou pelo menos simplificar a apresentação das técnicas e métodos utilizados (MOREIRA; MASSARANI, 2002).

As tecnologias crescem com tamanha velocidade, que despertam admiração e encanto na sociedade e, ao mesmo tempo, temor e desconfiança. É dever do cientista divulgar o que faz, evitando que o conhecimento seja sinônimo de poder e dominação. Este trabalho deve ser feito não com o intuito de diminuir a ausência de conhecimentos, mas sim facilitar uma análise das dificuldades de o cidadão entender aquele conhecimento, além de se propiciar o diálogo entre os laboratórios e as praças públicas (CANDOTTI, 2001).

O governo britânico criou um documento oficial que traz uma discussão sobre a relação entre a ciência e a sociedade. Através do Parlamento Britânico criou uma Comissão que estudou com cuidado a questão e preparou:

> Apesar do fato de que os cientistas são uma minoria da população, o exercício da cidadania democrática, em uma sociedade moderna, depende, entre outras coisas, da habilidade dos cidadãos de entender, criticar e utilizar afirmações e idéias científicas. Como já tem sido observado, as aplicações da ciência levantam ou alimentam complexas questões éticas e sociais, que os governos e a indústria devem tratar de modo a ganhar a confiança do público (CANDOTTI, 2001, p. 7).

Ciência e tecnologia constituem elementos centrais do mundo contemporâneo, sendo importante a educação científica e tecnológica, bem como sua história, para que a população possa tomar decisões com autenticidade (MOTA, 2001).

Bauer (1994), para adjetivar um cidadão como cientificamente alfabetizado estabelece três componentes: os conceitos científicos, o processo científico (história, filosofia e sociologia da ciência) e o papel da ciência na sociedade e na cultura. Para este autor, quando um determinado assunto está em discussão, aqueles que conhecem mais este assunto argumentam mais e provavelmente farão muitas coisas de forma melhor, mas seria muito difícil prever quais são essas coisas e o quão melhor ele fará.

A ciência constitui uma gama cultural, um conjunto de informações onde toda a população deve ter acesso e possibilidades de usufruto (MASSARANI, 2001). A discussão passa por estabelecer-se um conjunto mínimo de conhecimentos, uma vez que não há como um indivíduo absorver todo o conhecimento científico (SHAMOS, 1995). Porém, a problemática vai além de um mínimo de conhecimentos essenciais para o indivíduo, pois, uma vez em posse desses conhecimentos, não significa que ele esteja apto a lidar com eles de maneira crítica.

Existem outros termos para nominar as iniciativas não-formais de educação em ciências, como vulgarização da ciência, alfabetização científica e popularização da ciência. Há semelhanças e diferenças entre estes termos. Segundo Germano e Kulesza (2006), o termo vulgarização da ciência foi inicialmente utilizado na França e enfrentou muitas dificuldades ao ser utilizado devido à sua conotação pejorativa. Esta expressão significa tornar a ciência conhecida, mas carrega a idéia de vulgar, relativo ao vulgo, trivial, usual,

comum ou freqüente. O termo alfabetização, que nos permite uma idéia de aprender o alfabeto, surgiu a partir do termo em inglês *literacy*. Sua tradução é alfabetização, mas alguns defendem que a tradução correta deveria ser alfabetismo ou ainda, letramento – palavra não existente nos dicionários modernos.

No Brasil, confunde-se muito facilmente divulgação científica com popularização da ciência. O primeiro remete à idéia de divulgar, ato ou ação de divulgar, tornar conhecido, propalar, difundir, publicar, transmitir ao vulgo, enquanto popularização da ciência – do inglês *popularization of science* – que também surgiu na França como forma alternativa ao termo vulgarização da ciência, é o ato ou efeito de popularizar(-se): difundir algo entre o povo, tornar popular. Pode-se entender este termo, de acordo com a literatura pertinente, como "*um processo de transposição das idéias contidas em textos científicos para os meios de comunicação populares*", ou ainda "*uma ação cultural que, referenciada na dimensão reflexiva da comunicação e no diálogo entre diferentes, pauta suas ações respeitando a vida cotidiana e o universo simbólico do outro*" (GERMANO e KULESZA, 2006, p. 20).

Desse modo, popularização da ciência traduz uma ação mais democrática que divulgação científica ou vulgarização da ciência. É fazer com que haja uma participação da sociedade, convertendo a ciência à serviço da sociedade, através da comunicação e do diálogo, respeitando a mesma.

2.3 Museus e centros de ciências

De acordo com Burcaw (1983 apud CHAGAS, 1993) distinguem-se dois tipos de museus de ciência: Museu de História Natural, responsável pela exposição das coleções daqueles que se interessam pelo estudo do mundo natural, e Museu de Ciência e Tecnologia, comprometido com o ensino de princípios físicos, químicos e matemáticos e a exposição de artefatos e instrumentos que são fruto do engenho humano.

A partir do século XIX, a missão educativa dos museus foi se ampliando, tornando-se, por vezes, sua razão de existir. Na Europa, a criação de departamentos de educação nos museus viabilizaria a política de dar acesso a

todas as formas de conhecimento para a população, forjando o cidadão. Em 1880, o Louvre (Paris) criou seu serviço educativo permanente. No Brasil, a partir de 1920, a ação educativa em museus foi disseminada sob influência escolanovista. A idéia da visita ao museu como complementação da aprendizagem escolar permanece até hoje (ALMEIDA, 1997).

De acordo com Gruzman e Siqueira (2007) há três gerações de museus: a primeira é marcada como tendo os objetos históricos como cerne das exposições. A segunda busca uma maior comunicação com o público, onde a ênfase das exposições está centrada no papel educativo, mostrando o intenso progresso científico. A terceira geração de museus, ou *hands-on science* utilizam métodos interativos de exposição, apresentando os fenômenos do mundo natural de modo a demonstrar como as invenções e as descobertas constituem respostas às necessidades e curiosidades do homem. Esta geração também é marcada por assumir a preocupação com a alfabetização científica.

Junto com esta terceira geração de museus surgiram os centros de ciências e tecnologia, que assumem como objetivo ensinar ciências a todos os setores sociais de uma forma rigorosa, porém, agradável (CHAGAS, 1993). As atividades de um centro de ciências se aproximam das de um museu de ciências, porém os métodos de trabalho deslocam-se da área da curadoria para a da comunicação, há um compromisso maior com renovação e reposição do que com restauração e são mais voltados à comunicação dos temas científicos ligados à política do centro do que à preservação de acervos. Cury (2002) expressa as diferenças e semelhanças entre essas duas atividades (Quadro 3).

Quadro 3 - Museus e Centros de Ciências e Tecnologia. Fonte: (CURY, 2002)

MUSEUS	CENTROS DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Função social e educacional.	Função social e educacional.
Política de atuação.	Política de atuação.
Comprometimento com a socialização do conhecimento.	Comprometimento com a socialização do conhecimento.
Preserva e comunica	Comunica.
Método de trabalho centrado no processo curatorial.	Método de trabalho centrado no processo de comunicação.
Aquisição de acervo/formação de coleções.	Fabricação de “acervo” de modelos.
Conservação, preservação e restauração	Restauração, manutenção e reposição.
Comunicação dos temas pertinentes ao acervo por meio de exposição, monitoria e outras estratégias.	Comunicação de temas científicos ligados à política científica do centro por meio de exposição, monitoria e outras estratégias
As atividades são orientadas pelo acervo e a exposição é a principal forma de comunicação.	As atividades são orientadas pela divulgação científica e nem sempre há uma ênfase sobre um meio específico.

Diferentemente dos museus, os centros de ciências têm um comprometimento explícito com a educação não-formal e por isso procuram apresentar conceitos complexos por meio de experimentos atrativos, partindo do pressuposto que os visitantes não possuem nenhuma base anterior de conhecimentos em ciência. Funcionam de acordo com certos princípios gerais: priorizar aspectos contemporâneos da ciência, mais do que uma visão simplesmente histórica; encorajar a participação dos visitantes, estimulando-os a entrar em contato direto com os objetos em exibição; enfatizar exposições vinculados a projetos educacionais; promover atividades educativas complementares e eventos paralelos às exposições. Mas, segundo Albagli (1996) diferentemente das escolas, os centros de ciências não têm sido capazes de dar um caráter sistemático às suas atividades educacionais.

Os centros de ciência expõem a natureza de forma didática e lúdica, proporcionando a interatividade e permitindo a apreensão de conceitos, idéias e princípios científicos e técnicos (GIL, 1993 apud DELICADO, 2004).

Nos últimos anos, tanto os museus quanto os centros de ciências desenvolveram consideravelmente técnicas educativas e de exposição, de tal

sorte que seus objetivos estão cada vez mais próximos. De acordo com Albagli (1996), os objetivos de um museu ou centro de ciências são:

- mostrar a natureza, o homem e a evolução das realizações científicas e técnicas da humanidade;
- prover informação inteligível sobre o avanço da ciência e tecnologia;
- despertar nos indivíduos, especialmente nos jovens, uma vocação nesses campos;
- educar, no sentido da aquisição do espírito e da mentalidade científica;
- fazer com que os indivíduos não se sintam marginalizados ou temerosos pela ciência e tecnologia, de modo a que eles possam compreender, avaliar e julgar seus diferentes usos na sociedade contemporânea.

Uma visita ao museu pode proporcionar aprendizagem cognitiva e afetiva, extrapolando a idéia de complementação escolar. A aprendizagem cognitiva não difere da escolar, a diferença está no ganho afetivo (ALMEIDA, 1997).

Nessa visita, o visitante traz consigo uma bagagem de perguntas e interrogações, portanto, esta bagagem irá conduzi-lo em suas interações com os elementos de uma exposição (CONLINVAUX, 2005).

Além disso, pode proporcionar encantamento, curiosidade, debate, pesquisa, trabalho de campo e aprendizagem, por isso é um campo fértil para práticas educativas (GRUZMAN, SIQUEIRA, 2007).

A preocupação com relação à organização das exposições dos museus e centros de ciência, de acordo com o interesse dos visitantes, vem crescendo acentuadamente, e por isso, a necessidade de pesquisas sobre visitantes enquanto usuários das informações ali contidas. Continuam em aberto questões sobre como avaliar os resultados das experiências em termos de aquisição de conhecimento e como atestar a eficácia pedagógica das atividades desenvolvidas pelos centros de ciência (ALBAGLI, 1996).

Falk e Dierking (1992, apud COLINVAUX, 2005) propõem analisar a experiência vivida no museu a partir da perspectiva do visitante, tendo em vista sua interação com os contextos social, pessoal e físico.

O estudo das atividades nos museus e centros de ciência focado nos visitantes, e não no museu em si, começaram entre 1920 e 1930 nos EUA e na Inglaterra, com a preocupação inicial das causas da fadiga e do desconforto do visitante e os efeitos de variáveis inerentes (como por exemplo, o uso de luz natural ou artificial) no seu comportamento. Estes estudos foram postos de lado, devido a uma nova preocupação: os aspectos psicológicos que envolvem uma visita a um museu ou centro de ciência são mais importantes do que os aspectos fisiológicos dos visitantes.

Existe um conjunto vasto e heterogêneo de estudos que se fundamentam, quer numa abordagem behaviorista quer numa abordagem cognitivista, no estudo de variáveis que possam influenciar a qualidade do que se aprende e a forma como se aprende nos museus. Estes estudos são, em geral, investigações de cunho quantitativo. Há também estudos sobre concepções alternativas e suas interferências na aprendizagem de conceitos, cujas implicações no ensino formal se revestem da maior importância. Estes estudos têm como objetivo fornecer dados que orientem a criação de exposições em que as idéias do visitante são confrontadas com modelos concretos dos fenômenos em estudo (CHAGAS, 1993).

Porém, existem poucos estudos sobre o modo como a visita ou a experiência do museu afetam o processo de ensino e aprendizagem. Isto se deve à dificuldade da criação de experiências no museu que permitam estudar as variáveis pretendidas. Alguns estudos qualitativos amenizam certas dificuldades, porém, o tempo que requer estes estudos é um grande limitador.

Não obstante, Chagas (1993) identifica na literatura os resultados de algumas investigações: o estudo dos efeitos da exploração livre e das atividades *hands-on* proporcionadas por centros de ciência e tecnologia no aproveitamento de alunos de biologia; o estudo das relações entre compreensão conceptual, exploração livre e os estádios de desenvolvimento

cognitivo de crianças com idades compreendidas entre 13 e 15 anos; o estudo dos efeitos a longo prazo, em jovens de idades compreendidas entre 14 e 19 anos, de um programa em que tiveram de ensinar ciência ao público visitante; o estudo dos efeitos das visitas aos museus de ciência e tecnologia nas atitudes de alunos relativamente aos programas Ciência Tecnologia e Sociedade; a avaliação da relevância e do impacto educativo das exposições na aprendizagem de 11 conceitos científicos de alunos do nível secundário; o estudo dos efeitos da visita a um planetário no aproveitamento e nas atitudes relativamente à ciência em alunos do nível elementar; e o estudo das atitudes dos alunos de vários níveis de ensino relativamente à visita a centros de ciência e tecnologia. Todas estas pesquisas mostram que a visita ao museu estimula o interesse dos jovens por ciência e aumenta o entusiasmo em aprender mais sobre ciência.

Em uma pesquisa que investigou o motivo de 11 professores que levaram seus alunos ao Museu de Astronomia do Rio de Janeiro, a principal justificativa foi a fixação dos conteúdos trabalhados em sala de aula para dar concretude aos mesmos (GOUVÊA, 2001).

No que tange as relações entre as escolas e os museus ou centros de ciência, enquanto a escola proporciona aos alunos o contato com objetos científicos não pertencentes ao universo escolar, um centro de ciência permite a construção de ambientes em que o aluno experimenta aspectos concretos de conceitos científicos. Ao viverem estas experiências, podem perceber as relações entre ciência e tecnologia, bem como suas implicações na vida cotidiana (CHAGAS, 1993).

A escola não é o único lugar onde as pessoas podem aprender conceitos científicos, além de não apresentarem totais condições de proporcionar à sociedade (in)formação técnico-científica e humanística necessária a leitura do mundo.

Chagas (1993) aponta que as universidades, através de seus cursos de formação de professores, devem fazer parte do processo de ligação entre as escolas e os centros de ciência.

Os processos de transformação do conhecimento científico com a intenção de ensinar e divulgar não são apenas simplificações comuns. A discussão acerca da necessidade de haver estes processos, são temas de debates entre diversos cientistas, divulgadores (educadores, jornalistas, comunicadores ou museólogos) (MARANDINO, 2005).

Esta questão leva à afirmação de que, em um museu, a ciência não é apresentada em seu estado puro, pois sofre processos de transformação. A partir desta idéia, pôde-se chegar ao termo *transposição museográfica*, caracterizada por uma operação delicada de transformação, onde o espaço, a linguagem, os conceitos e texto estão em questão. Elementos como a prática museológica[8], as características das coleções, a história dos museus de ciências, a formação profissional da equipe envolvida são fundamentais na elaboração das exposições. A elaboração do discurso expositivo pode ser compreendido com base em uma analogia com o discurso pedagógico, que é um princípio para apropriar outros discursos e colocá-los numa relação mútua especial, com vistas à sua transmissão e aquisição seletivas, ou seja, um princípio que tira (desloca) um discurso de sua prática e contexto, recolocando aquele discurso de acordo com seu próprio princípio de focalização (MARANDINO, 2004).

A função educativa em um museu se tornou tão importante que deve ser acrescentada às funções de preservação. O destaque à *interação* nos museus de ciências emergiu de tal forma que influenciou museus de outras áreas a se adaptarem a esta nova forma de trabalho. Sendo assim, o papel dos mediadores entre o museu e o público se torna mais essencial (QUEIROZ et al, 2002). A discussão vai ainda além. A formação dos mediadores deve ser cuidadosamente examinada, pois os mediadores de um museu ou centro de ciências contribuem diretamente para a aprendizagem nas diferentes exposições. Contudo, há uma preocupação de não escolarização destes espaços para que não percam suas próprias características (QUEIROZ, 2001).

[8] Prática que articula a conservação da materialidade dos objetos, a documentação das respectivas informações, a elaboração de discursos expositivos e a implementação de estratégias educativas e de ação cultural (BRUNO, 1998 apud MARANDINO, 2004, p. 103)

Capítulo 3

A pesquisa de campo

Neste capítulo iremos apresentar a metodologia e os resultados da nossa pesquisa, tanto no que diz respeito ao levantamento das entidades que mantém compromisso com o acidente com o Césio-137, quanto às entrevistas que realizamos com professores que visitaram uma dessas instituições, no caso, o Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste.

3.1 Metodologia

Nossa pesquisa é de natureza qualitativa, não se apoiando na informação estatística nem sendo especulativa. Temos como principal objetivo abordar, como problema de investigação, a atuação de um centro de popularização da ciência, no caso o Centro de Informações do Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste, em Abadia de Goiás-GO, responsável pelo esclarecimento do acidente radioativo com o Césio-137 em Goiânia, a partir de entrevistas com professores que lá levaram alunos. Nossa pesquisa trata-se, portanto, de um estudo de caso envolvendo este centro.

Na preparação das perguntas da entrevista com os professores levamos em conta principalmente três aspectos: a preocupação em conhecer o perfil profissional dos nossos entrevistados, apresentado no item 3.2.2 *Entrevistas com professores visitantes*; analisar as ações de popularização desenvolvidas pelo centro na visão dos entrevistados, discutidas nos itens 4.2.1 *Objetivos culturais* e 4.2.2 *Objetivos sócio-políticos*; e avaliar os desdobramentos subsequentes da visita no âmbito escolar que serão apresentadas no debate do item 4.2.3 *Objetivos acadêmicos*.

Durante a elaboração do roteiro de entrevistas houve atenção especial relativamente à linguagem utilizada, visando clareza e objetividade, com perguntas curtas, permitindo uma resposta rápida e fácil. As perguntas escolhidas no nosso roteiro de entrevistas foram todas abertas, deixando o entrevistado à vontade para responder como quisesse.

3.2 Dados da Pesquisa

A coleta de dados da pesquisa foi desenvolvida em duas etapas: o levantamento das atividades dos órgãos responsáveis por manter a população esclarecida sobre o acidente a partir de visitas a esses órgãos para a eleição do órgão mais representativo e a realização de entrevistas com professores visitantes.

3.2.1 Visitas aos órgãos de divulgação

Investigamos as atribuições das três entidades que mantêm relação com o acidente radioativo com o Césio-137 em Goiânia: a Associação das Vítimas do Césio (AVCésio), a Superintendência Leide das Neves (SULEIDE) e o Centro de Informações do Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste (CI-CRCN-CO).

A AVCésio foi a primeira entidade a se constituir após o acidente de setembro de 1987. Trata-se de uma associação fundada pelos próprios vitimados, reunidos em assembléia, no dia 13 de dezembro do ano do acidente, precedidos por um movimento de intelectuais, professores universitários, artistas, jornalistas, profissionais liberais e estudantes,

assessorados por Fernando Gabeira, denominado Comitê de Defesa de Goiânia (WIDERHECKER e CHAVES, 1990).

Atualmente possui 1.194 associados e sua principal atribuição é defender os direitos civis da população prejudicada pelo acidente. Até a data de realização desta pesquisa não tem sede própria. A Associação empreendeu uma luta em exigir do poder público indenizações para as vítimas. Para isso, se reuniram na Assembléia Legislativa com um estudo em mãos definindo critérios de caracterização das vítimas para os pedidos de indenizações.

Para conhecermos melhor esta entidade entrevistamos o atual presidente da Associação, que trabalha na Secretaria Estadual de Saúde. Logo após a apresentação de ambas as partes, contou-nos um pouco da história do acidente e da história da sua vida. Logo de início denunciou que houve uma vítima fatal do acidente devido a um câncer de próstata e de esôfago, mas que foi atestado em seu óbito uma causa independente do acidente (vítima de infecção hepática e cirrose), não constando como causa da morte esses cânceres.

Pensávamos em uma conversa com outros integrantes da AVCésio, porém, o entrevistado nos alertou para o fato de a AVCésio possuir 1.194 membros e apenas 10 deles estarem abertos para conversas e/ou esclarecimentos. Acrescentou como tem sido sua luta em convencer os membros da AVCésio de que eles necessitam de esclarecimentos, necessitam expor suas angústias e dúvidas e que só através do diálogo é que poderiam tomar conhecimento de fatores que os levariam a ter uma vida mais tranqüila.

Explicou-nos que a Associação é dividida em grupos: aqueles que tiveram contato direto com o Césio-137 – o mesmo fazia parte dele. O grupo 3 é formado por aqueles que eram vizinhos “de parede” dos locais onde o Césio-137 fora exposto.

O entrevistado nos contou sobre os vários exames aos quais é submetido: cerca de trinta por semestre, sendo que, destes trinta, cinco são radiológicos. Disse que não concorda com tanta exposição a Raios-X, pois o recomendado pelo Ministério da Saúde é de, no máximo, cinco por ano e o

mesmo vem nesse ritmo de exames desde a época do acidente, ou seja, há vinte anos. Demonstrou extrema indignação com relação à lentidão da "máquina burocrática" do governo, em suas próprias palavras. Quando é escrita uma resolução, por exemplo, tem que ficar esperando "fulano" aparecer para assinar, mas este "fulano" nunca está ou não é encontrado.

Relatou-nos que constatou, em uma de suas várias palestras em escolas e institutos (principalmente de formação técnica), o fato de os estudantes de um curso técnico em radiologia manusearem as máquinas radiológicas totalmente sem proteção! Outro caso ocorreu em um de seus exames radiológicos de rotina: a lente da máquina de Raio-X estava caindo, então o técnico chamou um colega de trabalho para segurar a lente enquanto realizava o exame, pois fixar com esparadrapo já não resolvia mais. O associado perguntou ao rapaz que segurava a lente se ele segurava este objeto em todos os exames e o mesmo respondera que fazia pouco tempo, "há uns quinze dias só", o que espantou o associado. Tentou alertá-lo, na tentativa de sensibilizar o rapaz do risco que corria, porém o mesmo interrompeu-lhe a argumentando que não tinha perigo, que ele sabia o que estava fazendo.

Outras duas histórias muito interessantes nos foram contadas pelo entrevistado. Segundo ele, na época do acidente um proprietário de uma mercearia foi à falência devido ao fato de ter sido vítima do acidente e as pessoas não mais compravam em seu comércio com medo de serem contaminadas e/ou irradiadas. Outro senhor foi deixado por sua esposa porque ela acreditava que, se mantivesse relações sexuais com seu marido, seria contaminada.

Comentou a respeito dos trabalhos acadêmicos escritos sobre o acidente com o Césio-137. Ao que lhe consta, já foram desenvolvidos sessenta e seis ou sessenta e sete trabalhos – não se recorda exatamente –, entre monografias, dissertações e teses. Desse total, só teve acesso a seis. Os pesquisadores realizaram suas pesquisas e desapareceram, não retornando nem sequer para mostrar o trabalho final. Revelou estar indignado com isso.

A importância da presente pesquisa foi reconhecida pelo entrevistado, diante da perspectiva de poder esclarecer pontos falhos nas informações e para que a comunidade em geral possa conhecer ainda mais a respeito do acidente, além de servir como referência futura para outros pesquisadores, tanto no âmbito da Física como de outras áreas. Seu desejo é divulgar mais o acidente.

Ao término da conversa, o entrevistado nos emprestou sua caneta para anotações de e-mails e telefones. Enquanto anotávamos, esboçava um sorriso irônico. Quando perguntado sobre o motivo do riso ele questionou se o entrevistador não tinha medo de ser contaminado pela sua caneta, pois como a caneta fica sempre no bolso de sua camisa, também estaria contaminada! No entanto, não foi registrado oficialmente nenhum efeito tardio da radiação.

A SULEIDE, órgão que faz o acompanhamento das vítimas do acidente, tem suas origens na extinta Fundação Leide das Neves, criada pelo Governo do Estado de Goiás, através da Lei nº 10.339 de 09/12/1987, instituída pelo Decreto nº 2.897 de 11/02/1988 e extinta em 11/11/1999, pela Lei nº 13.550, tendo suas competências transferidas para a Secretaria Estadual da Saúde, através da criação da Superintendência Leide das Neves Ferreira.

O prédio da SULEIDE está situado à rua 16-A, nº 792, no Setor Aeroporto em Goiânia (Figura 3.1). Abriga consultórios médicos, biblioteca e salas de funcionários, além de um ambiente de recepção.

Figura 1: Superintendência Leide das Neves Ferreira

Em nossa visita, uma funcionária nos atendeu na biblioteca e nos mostrou alguns materiais de divulgação que a SULEIDE possui, como livros, vídeos e fotografias. Normalmente a entidade não recebe visitas, embora mantenha um grande acervo histórico aguardando uma catalogação para ser disponibilizada ao público. Sua atividade prioritária é dar atendimento médico às vítimas, apesar de serem estabelecidas em seu regimento as seguintes competências:

> I – prestar assistência médica e social às vítimas direta e indiretamente atingidas pelo acidente radioativo de Goiânia, durante o tempo que se fizer necessário;
>
> II – realizar estudos epidemiológicos sobre os efeitos do acidente;
>
> III – promover programas de vigilância ecológica (controle de radiação ambiental);
>
> IV – implantar programas de pesquisa em Física e Medicina Nucleares;
>
> V – capacitar a curto, médio e longo prazos, pessoal técnico;
>
> VI – adequar pessoal próprio para atuar como referência em outros centros urbanos;
>
> VII – coordenar programas de divulgação para reverter a imagem negativa que se abate sobre Goiânia e Goiás;
>
> VIII – articular e coordenar todo e qualquer tipo de intercâmbio científico e de trabalho com instituições de ensino e de pesquisa, nacionais e internacionais;
>
> IX – outras atribuições previstas em seu estatuto.

Ou seja, originalmente a entidade tinha como função “coordenar programas de divulgação”, porém, esses programas não foram mantidos ao longo dos anos.

O CRCN-CO foi criado no dia 1º de junho de 1989 e inaugurado no dia 5 de junho de 1997, em Abadia de Goiás, GO, sito à BR 060, km 174,5, graças a uma ação conjunta da CNEN com a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR) e o Governo do Estado de Goiás. A área de 1.600.000 m^2, destinada à construção do CRCN-CO, foi transformada em área de preservação ambiental, através do Parque Estadual Telma Ortegal e reflorestada pela atuação do Ministério do Meio Ambiente e da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Cabe agora à CNEN controlar a área durante cinquenta anos através do Laboratório de Radioecologia.

Para o caso de uma emergência radiológica na região Centro-Oeste, o CRCN-CO presta o serviço de atendimento, verificando qualquer tipo de denúncia envolvendo fontes de radiação. Este serviço atende 24 horas através do telefone (62) 9979-4444.

Enquanto unidade da CNEN, tem a função de controlar o depósito definitivo em Abadia de Goiás e “viabilizar soluções tecnológicas Nucleares para as demandas de desenvolvimento da Região Centro-Oeste” (CNEN, 2006). A previsão para 2010 é se tornar um centro de pesquisas e desenvolvimento em ciências nucleares “integrado aos valores e crenças do Centro-Oeste brasileiro e incondicionalmente presente para viabilizar soluções de desenvolvimento tecnológico em nível regional” (CNEN, 2006).

Atualmente, além de controlar e monitorar o solo, a água e o ar nos arredores do depósito dos rejeitos e desenvolver pesquisas na área de Meio Ambiente e Saúde, o CRCN-CO mantém um acervo histórico sobre o acidente, aberto à visitação pública, no Centro de Informações (Figura 3.2). Há duas maneiras de agendar uma visita a este Centro: pelo telefone (62) 3604-6038 ou através do sítio http://www.crcn-co.cnen.gov.br/servicos/palestra-agenda-f1.asp.

Figura 2: Centro de Informações do CRCN-CO

O CI-CRCN-CO, presta esclarecimentos à população sobre o acidente e sobre o uso benéfico das técnicas em física nuclear, são oferecidos às segundas, terças e quartas-feiras. Aqueles que desejam visitar o CI-CRCN-CO podem agendar visitas através da internet e por telefone. É possível assistir palestras sobre as características dos depósitos, história do acidente, radioatividade, técnicas de radiação, aplicação dessas técnicas, energia nuclear, monitoração dos depósitos e proteção radiológica.

Depois de algumas idas ao local e conversas com os responsáveis, obtivemos o consentimento para acompanhar a visita de uma instituição de ensino e conhecermos a rotina de recepção do CI-CRCN-CO. Quando os estudantes chegam ao CI-CRCN-CO, orientados por professores, coordenadores ou diretores das escolas, são encaminhados a um auditório. Lá eles assistem a uma palestra proferida por um dos físicos que lá trabalham, César Ney, José Salvador Coelho ou Rugles César Barbosa, ou ainda pelo historiador Marco Antônio Pereira. Os temas das palestras são variados. Para o público em geral e estudantes do Ensino Fundamental, a palestra é “Características dos depósitos de Rejeitos radioativos de Abadia de Goiás e A História do Acidente Radiológico com uma cápsula de Césio-137, em 1987, em Goiânia”.

Para estudantes do Ensino Médio e universitários em geral, a palestra proferida é “Fundamentos da Radioatividade e tecnologia das Radiações”. Estudantes de cursos técnicos e universitários das áreas de Engenharia assistem “A Energia Nuclear e as aplicações da tecnologia das Radiações”. Universitários da área das áreas Meio Ambiente e também estudantes de cursos técnicos assistem a palestra intitulada “Programa de Monitoração Ambiental dos depósitos de Rejeitos Radioativos de Abadia de Goiás”. Nota-se que há duas opções de palestras para estudantes de cursos técnicos. Por último, para os estudantes de cursos técnicos em radiologia, universitários da área médica e de saúde, militares do Corpo de Bombeiros e pessoal da Defesa Civil, a palestra marcada é “As aplicações da Tecnologia das Radiações e Proteção Radiológica”.

Além da oratória, outros recursos são utilizados nas palestras, como vídeos, cartazes, equipamentos de proteção individual (EPI), transparências, equipamentos de radioproteção, equipamentos de medidas de radioatividade, entre outros. São mostradas algumas fotos e vídeos da época do acidente, reportagens, etc. O palestrante procura dar esclarecimentos sobre o uso benéfico da energia nuclear e como o conhecimento universal acerca do assunto pode proporcionar avanços tecnológicos para a humanidade.

Ao término da palestra, o palestrante mostra o equipamento utilizado pelas pessoas que trabalharam na descontaminação dos locais afetados e então convida alguém da platéia para colocar a vestimenta que é composta por um macacão feito de um material totalmente impermeável, um macacão de lona por cima, luvas, botas e touca. Estes componentes protegem a pessoa da contaminação indireta, ou seja, por contato com a pele. Também é colocada uma máscara nesta pessoa e explicado que este equipamento protege da contaminação direta, por inalação. Dessa forma é possível a compreensão do conceito de “barreira de proteção radiológica”. Este é um momento de enorme participação dos visitantes. Eles brincam com estes equipamentos, interagindo um com outro de forma que acabam por conhecer um pouco do trabalho de desintoxicação das pessoas e descontaminação do ambiente. Estes recursos podem propiciar um elo entre o público e a ciência.

Os profissionais do CI-CRCN-CO demonstram-se entusiasmados a fazer este trabalho, incentivando o público e enriquecendo seu universo de informações, principalmente com o uso de tecnologias, como aparelhos que medem níveis de radioatividade. O palestrante faz uma demonstração da utilização de dois aparelhos: o Cintilômetro e o Contador Geiger-Müller. Ele utiliza algumas fontes artificiais de Cobalto radioativo (Co-60), Criptônio radioativo (Kr-85) e Césio radioativo (Cs-137) e uma fonte natural de Urânio radioativo (Ur-238), todos de baixa intensidade, não oferecendo riscos às pessoas que estão próximas. É explicado sobre a existência da radioatividade natural que existe no ambiente e que nós estamos sendo irradiados o tempo todo, mas que esta radiação é mínima e também não nos oferece riscos. Novamente há um convite para que alguém da platéia faça as medições e assim é possível entender o conceito de intensidade de radiação bem como entender que a distância até a fonte também é importante para se medir os níveis de radiação, pois é discutida a “lei do inverso do quadrado da distância”. Por fim, o palestrante divulga a existência de uma biblioteca no Centro de Informações, contendo um imenso acervo bibliográfico para eventuais consultas.

Neste acervo há inúmeros livros, revistas, jornais, fotos e vídeos da época do acidente, bem como artigos científicos especializados, monografias, dissertações de mestrado e teses de doutorado que tratam do acidente, na área da Física, da Saúde e das Ciências Sociais.

Conversando com alguns representantes do CI-CRCN-CO, percebemos que ainda existe o receio de parte da população em visitar o local, pois algumas pessoas demonstram medo de serem irradiadas pelos rejeitos do acidente, que estão acondicionados em recipientes de chumbo e enterrados em dois depósitos subterrâneos revestidos de paredes de chumbo e concreto, completamente monitorados pelo CRCN-CO. Outro aspecto bastante relevante levantado por um representante do CRCN-CO é que alguns professores deixam de fazer a visita com seus alunos pelo mesmo motivo.

A partir dessas visitas foi possível perceber que o CI-CRCN-CO é, dentre as três instituições, a que desenvolve uma atividade de educação não-

formal, complementando a educação formal realizada nas escolas, centros de educação técnica e instituições de ensino superior, caracterizando as atividades típicas de um centro de ciências e tecnologia.

Uma vez definida a instituição, novas visitas foram realizadas até a obtenção da lista de visitantes e o planejamento das entrevistas.

3.2.2 Entrevistas com professores visitantes

As entrevistas foram realizadas com visitantes constantes na listagem concedida pelo CI-CRCN-CO referente ao mês do vigésimo aniversário do acidente com o Césio-137 em Goiânia, setembro de 2007. O fato de o acidente estar completando vinte anos fez com que o assunto voltasse a ser notícia, aumentando visivelmente a visitação. Durante aquele mês, dezenove visitas de instituições de ensino foram realizadas ao órgão.

Para agendar uma visita ao CI-CRCN-CO é preciso primeiramente telefonar para o local e marcar uma data e horário, informando o nome da escola, o nome do responsável (professor, coordenador, etc.), o número de alunos e o nível de Ensino (Fundamental, Médio, Técnico ou Superior). Ao término do mês, a secretaria do CI-CRCN-CO faz o balanço e constrói uma lista das visitas do mês. Ao analisarmos a lista do mês referente, no entanto, notamos que em apenas sete escolas constavam os nomes dos responsáveis, nas outras doze constavam apenas as quantidades de professores e alunos. Estabelecemos como critério entrevistar apenas os responsáveis que já tivéssemos o nome. A lista continha dezoito nomes nessas sete escolas. Através da internet, lista telefônica e do serviço 102 descobrimos o telefone de cinco professores. As entrevistas foram realizadas em abril de 2009.

Os cinco professores (P1, P2, P3, P4 e P5) são oriundos de três escolas diferentes (E1, E2 e E3). A origem de cada professor, bem como a quantidade de alunos e a data das respectivas visitas podem ser observadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Dados dos professores entrevistados

Escola	Professores	Quantidade de Alunos	Data da Visita
E1	P1 e P2	22	03/09/2007
E2	P3	20	04/09/2007
E3	P4 e P5	33	10/09/2007

O professor P1 é graduado em Pedagogia na Faculdade de Rio Verde (FESURV) em Rio Verde, GO, e possui especialização em Administração e Supervisão Escolar. Sua última formação foi em 1996. Atua como professor e diretor da escola E1.

O professor P2 é formado em Letras, também na FESURV e concluiu seu curso em 2000. Atualmente atua em todas as disciplinas com o quinto ano do Ensino Fundamental, mas na época da visita era coordenador da escola E1.

O professor P3 é licenciado em Administração Escolar e Supervisão Escolar, tendo concluído sua licenciatura em 1987 em Anicuns, GO, na Faculdade de Ciências e Tecnologia de Anicuns. Cursou a especialização em Psicopedagogia em Batatais, SP, finalizada em 2002, além de outras duas especializações fora do âmbito educacional. Ele não atua em sala de aula, é administrador da escola E2.

O professor P4 é estudante de Licenciatura em Física na Universidade Federal de Goiás (UFG) com previsão de conclusão em 2009. Na escola E2 atua como professor de Física em turmas do Ensino Médio.

O professor P5 terminou seu curso de Pedagogia no Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP) em 2000, é administrador e diretor da escola E3, não atuando em sala de aula como professor desde a época da visita.

O resumo da formação dos entrevistados pode ser consultado no quadro 5:

Quadro 5 - Formação e atuação dos entrevistados

	Graduação	**Especialização**	**Atuação**
P1	Pedagogia	Administração e Supervisão Escolar	Professor e Diretor
P2	Letras		Coordenador e Professor
P3	Administração Escolar e Supervisão Escolar	Psicopedagogia	Administrador Escolar
P4	Física (graduando)		Professor
P5	Pedagogia		Administrador Escolar e Diretor

Ao telefonarmos para cada um dos entrevistados apresentamo-nos, explicamos quais eram os objetivos do nosso estudo e assumimos um compromisso de respeitar a confidencialidade dos dados. Solicitamos permissão para gravar a entrevista e todos permitiram. Marcamos um horário para cada entrevista, em momentos em que os entrevistados tivessem tempo de folga para conversar conosco, sem atrapalhar as atividades dos mesmos. Em todos os casos, a colaboração foi bastante positiva e houve interesse por parte dos participantes.

Após a coleta de dados transcrevemos as entrevistas, o que foi um processo bastante moroso devido à má qualidade das gravações, realizadas através de um microfone de computador adaptado a um telefone móvel.

A partir das entrevistas com os responsáveis investigamos o trabalho de popularização da ciência realizado pelo CI-CRCN-CO, bem como sua possível contribuição para a educação formal, mais especificamente para a educação em ciências, enquanto agente de educação não-formal. A análise das respostas será desenvolvida no Capítulo 4.

Capítulo 4

Análise das Respostas às Entrevistas

Reservamos um capítulo especificamente para analisar as respostas às entrevistas por considerar que este conjunto de resultados constitui a parte mais importante do trabalho. Por isso elegemos um referencial de análise por meio do qual pretendemos organizar os dados da pesquisa e adotamos um critério de construção das categorias de análise que nos permitirá avaliar as ações do CI-CRCN-CO pelo olhar dos professores visitantes.

4.1 Referencial de análise

Utilizamos o método da análise de conteúdo para analisar nossos dados numa perspectiva de investigação qualitativa. Este método nasceu quando os primeiros homens realizaram as primeiras tentativas para interpretar os livros sagrados. Sua fundamentação teórica foi elaborada por Berelson e Lazarfeldt, em 1948, quando seus autores estabeleceram as regras e os princípios do método (TRIVIÑOS, 2008).

Análise de conteúdo é um conjunto de técnicas de análise das comunicações que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição

do conteúdo das mensagens, com a intenção de inferir (deduzir de maneira lógica) conhecimentos relativos às condições de produção. São instrumentos metodológicos que se aplicam a discursos extremamente diversificados, oscilando entre o rigor da objetividade e a fecundidade da subjetividade (BARDIN, 2008).

O primeiro passo da análise de conteúdos é a *descrição analítica*. Suas regras devem ser: *homogêneas*: “não se misturar alhos com bugalhos”; *exaustivas*: “esgotar a totalidade do texto”; *exclusivas*: “um mesmo elemento do conteúdo não pode ser classificado aleatoriamente em duas categorias”; *objetivas*: “codificadores diferentes, devem chegar a resultados iguais”; *adequadas ou pertinentes*: “isto é, adaptadas ao conteúdo e ao objetivo”.

O objetivo da análise de conteúdo não é apenas descrever as mensagens, mas sim no que a mensagem pode ensinar após ser *interpretada*. Feita a descrição analítica e a interpretação, é necessário fazer a inferência (sobre o emissor da mensagem ou sobre o seu meio, por exemplo). O último passo da análise de conteúdo é a *interpretação*, que é a significação concedida às características da mensagem. Fazer análise de conteúdo é como agir como um arqueólogo, que trabalha com vestígios.

Em nosso trabalho levamos em consideração os apontamentos de Triviños (2008) no que diz respeito à interpretação dos dados em uma pesquisa qualitativa. Fizemos poucas perguntas, realizamos em primeiro lugar, já em posse dos dados, uma leitura atenta, com “olhos abertos”, das respostas à pergunta número um, em seguida as respostas à pergunta número dois e assim por diante. Numa segunda leitura, sublinhamos as idéias que, de alguma maneira, se apresentaram ligadas a algum fundamento teórico. Terminado o processo de sublinhar idéias ligadas a teorias, fizemos uma listagem das respostas por pergunta. Com a listagem das respostas, realizamos um trabalho delicado: o da classificação das respostas, por pergunta.

4.2 Análise das entrevistas

Nossa entrevista (Quadro 6) está dividida em três blocos de perguntas. O primeiro bloco foi elaborado com o objetivo de traçarmos um breve perfil dos entrevistados, com as perguntas de 1 a 4. As respostas a essas perguntas foram analisadas no Capítulo 3 desta dissertação. Num segundo bloco, com as perguntas de 5 a 12, procuramos identificar as impressões, interesses e motivações dos professores, visando caracterizar o impacto da divulgação realizada pelo CI-CRCN-CO. O terceiro, perguntas de 12 a 16, tinha como objetivo avaliar quais foram os desdobramentos subseqüentes da visita no âmbito da escola. As perguntas 5 e 6 tinham como objetivos caracterizar o público-alvo mais atingido pelo CI-CRCN-CO e identificar quais os recursos de divulgação mais eficientes. Devido ao pequeno número de entrevistas, não podemos considerar esses resultados expressivos, mas ficou configurado que o público alvo é predominantemente composto de estudantes do ensino fundamental e que o principal veículo de divulgação do CI-CRCN-CO é o interpessoal, mesmo ressalvada a interferência da mídia no mês do vigésimo aniversário, que, apesar de divulgar o acidente, pouco divulgou o trabalho do Centro de Informações.

Ao realizarmos a descrição analítica das respostas, notamos que poderíamos adotar como referência para o estabelecimento de unidades de significado os objetivos da divulgação científica e dos museus ou centros de ciências, abordados no Capítulo 2 desta dissertação. Para melhor categorizar as respostas, agrupamos os objetivos em três grandes grupos: culturais, sócio-políticos e acadêmicos. Assim, as respostas às perguntas de 5 a 16 da entrevista foram interpretadas de acordo com essas categorias, independentemente dos objetivos estabelecidos previamente. Desenvolvemos algumas inferências iniciais, porém, as mais conclusivas serão expressas nas Considerações Finais deste trabalho.

Quadro 6 – Roteiro de entrevistas

1	Qual sua formação?
2	Em que ano você se formou?
3	Em qual instituição você se formou?
4	Em qual(is) disciplina(s) e série(s) você atua?
5	Qual(is) você levou ao CNEN (CRCN-CO)?
6	Como você descobriu que o CNEN (CRCN-CO) recebe visitações?
7	Por que você foi ao CNEN (CRCN-CO)?
8	Você foi antes sozinho?
9	Quantas vezes você já levou alunos ao CRCN-CO?
10	Você considera válida a visita e levaria outros alunos? Por que?
11	Encontrou resistência por parte dos pais dos alunos? Em caso positivo, quais as justificativas dessa resistência?
12	Qual parte da visita foi mais interessante?
13	Quais conceitos de Física Nuclear (radioatividade) você acredita que a visita ao CRCN-CO ajuda a esclarecer?
14	Foi realizada alguma verificação de aprendizagem após a visita? Em caso positivo, qual a sua avaliação sobre o desempenho dos alunos?
15	Houve alguma explicação sobre o acidente, ou sobre radioatividade, antes e/ou depois da visita?
16	Em caso positivo, qual material didático foi utilizado?

4.2.1 Objetivos Culturais

Consideramos como sendo objetivos culturais aqueles relacionados à tentativa de estabelecimento de uma comunicação entre os cientistas e o público leigo, oferecendo, de alguma forma, uma contribuição para a ampliação do conhecimento desse público sobre ciência.

Como é característica nos museus ou centros de ciência a presença de profissionais especializados, os visitantes depositam inteira confiança nas mensagens ali expressas. Quando perguntado sobre os motivos que o levaram a realizar a visita, por exemplo, o professor P1 respondeu:

P1 - *A mídia apresenta uma imagem, mas indo lá, é outra imagem, a verdade*.

Aquilo que é ‘dito’ pelo órgão é cientificamente aceitável. Os visitantes se sentem em contato direto com a ciência, que acreditam poder retratar a própria realidade:

P1 - [...] *pra conhecer de perto a realidade*.

P4 - [...] *ver o que realmente aconteceu* [...].

P5 - [...] *eles mostraram na época uma palestra muito interessante, mostrando o que..., o que realmente havia acontecido – né? – os procedimentos que foram adotados para eliminar os organismos, no caso o Césio é...cento e vinte e sete*.

Apesar da imprecisão nas informações memorizadas pelo professor P5, pois foram apenas coletados e armazenados em depósitos objetos e não eliminados organismos, contaminados pelo Césio-137, e não 127, fica evidente sua tentativa de apropriação do conhecimento científico baseado na confiança depositada nas informações disponíveis no CI-CRCN-CO.

O objetivo de desmistificar a ciência pode ser avaliado pelo depoimento do entrevistado P3, quando percebe uma aproximação entre teorias científicas e acontecimentos cotidianos:

P3 - *E o que o professor trabalhou com eles aqui na teoria, o que viu lá também foi teoria – né? –, mas só que fica ali como se fosse um acontecimento*.

Na fala de outros dois entrevistados, quando perguntados sobre qual a parte mais interessante da visita, há outros indícios de contribuição cultural, relacionados às informações históricas do acidente com o Césio-137 em Goiânia:

P2 - *O histórico sobre o acidente*.

P4 - *Bom, quando eles mostraram ali a parte histórica, sabe?*

O professor P4 foi o único entrevistado com formação em Física. Na sua opinião a comunicação com o público pode ser melhorada:

P4 - *[...] mas eu achei que faltou mais..., é..., a teoria mais a nível dos alunos – sabe? –, uma linguagem mais próxima dos meninos [...]*

Mesmo assim, acredita que o CI-CRCN-CO possibilita que a população se aproprie do conhecimento científico:

P4 - *[...] apesar de ser tão...o local ter muita fonte de pesquisa pros alunos.*

O entrevistado P5 destaca que o CI-CRCN-CO desperta a curiosidade:

P5 - *[...] primeiro porque é um lugar, assim, que desperta certa curiosidade*.

É importante fazermos a ressalva de que as entrevistas foram realizadas quase dois anos após a visita, o que dificultou-nos a percepção de quais conteúdos científicos foram discutidos e/ou compreendidos pelos entrevistados. No entanto, podemos considerar cumprido o compromisso cultural do CI-CRCN-CO enquanto espaço de educação não-formal.

4.2.2 Objetivos Sócio-Políticos

Consideramos como objetivos sócio-políticos aqueles relacionados à preocupação com a formação do espírito crítico sobre a produção científica.

Ao justificar por que levaria outros alunos ao CI-CRCN-CO, o professor P3 expressou um temor presente na população leiga, de que o material removido da área do acidente ainda possa estar irradiando e contaminando o ambiente, bastante discutido e bem esclarecido pelos profissionais responsáveis pela recepção dos visitantes:

P3 - *[...] ficaram sabendo o que que é o Césio, o que que..., o que que está enterrado, qual que é a preocupação que hoje...inclusive alguns defendem que o CNEN é um local muito próximo da população!*

Em outra fala desse mesmo entrevistado, ao comentar sobre o que considerou mais interessante, aparece uma reflexão sobre o impacto social causado pelo acidente, conteúdo apresentado com o auxílio de um vídeo:

P3 - *[...] a explanação do professor com um vídeo que ele colocou pra nós, falando da situação do acidente – né? – o que causou é o mais importante*.

Com relação ao papel da tecnologia na sociedade, a opinião do professor P5 sobre o que considerou mais interessante na visita revela que ele percebeu a existência de um procedimento técnico específico:

P5 - *[...] ele demonstrou ali um aparelho que mede a radiação. E..., ele mostrou que..., não apenas, a radiação, ela está em vários lugares, entendeu? E..., daí ele fez algumas experiências lá e tal, mostrando a radiação de alguns objetos – né? – Eu achei bastante interessante isso aí, e também quando ele mostrou os procedimentos que foram feitos, é..., para..., para proteger o material radioativo.*

Embora não tenhamos indícios de que as informações adquiridas por esses professores tenham provocado alguma mudança de atitude em termos de tomada de decisões, notamos que a visita possibilitou, pelo menos, uma compreensão mais crítica do acidente.

4.2.3 Objetivos Acadêmicos

Denominamos objetivos acadêmicos aqueles relacionados com os interesses da academia (no nosso caso, de um centro de ciências), que abrangem desde a justificativa dos gastos públicos até o cooptação de novos talentos para a carreira científica. Neste item pretendemos avaliar principalmente as iniciativas implementadas nas escolas, desencadeadas pela visita ao CI-CRCN-CO, procurando caracterizar o potencial educativo desse órgão de divulgação.

Cabe ressalvar, de antemão, que nenhum dos entrevistados visitou previamente o local com o objetivo de planejar a visita, informação obtida em resposta à questão número 8 da entrevista (Anexo I). No entanto, todos os professores entrevistados descreveram algum tipo de atividade, anterior ou posterior, estimulada pela visita.

Na escola E1, por exemplo, onde atuam os professores P1 e P2, o acidente foi tema de uma feira de ciências. Esses professores comentaram

sobre o evento ao responder se consideravam válida a visita (pergunta 10 da entrevista), ou seja, antes mesmo de lhes terem sido colocadas as perguntas 13 a 16 (Anexo I), elaboradas para este fim:

P1 - *Tanto considero válido que realizamos em nossa escola uma feira de ciências que os alunos retrataram o acidente e a visita, a história do CNEN. Foi um sucesso! A feira de ciências foi sobre o que eles assimilaram.* [...] *Foi tão boa a feira de ciências, que houve uma visitação dos alunos de escola municipal e estadual aqui de perto. A feira foi uma coisa bem prática com a história da CNEN. Inclusive ajudou a professora de matemática a terminar a conclusão do curso dela*.

P2 – *Sim, foi muito importante! Os alunos ficaram bastante interessados e o trabalho que a gente desenvolveu depois da visita também foi muito bom.* [...] *nós fizemos uma feira de ciências sobre o conteúdo depois. Foi muito bom, por eles estarem interessados e após a visita fizeram uma pesquisa maior*".

O mesmo ocorreu com o professor P3:

P3 - *Eu levaria com certeza. Primeiro porque o conhecimento, a aula do professor de física que levou, inclusive os alunos apresentaram aqui na mostra científica que nós temos aqui na escola, é..., o retorno pra eles, em termo de conhecimento, foi bem assim, positiva, né?*

Ao responder sobre a avaliação da visita o professor P2 volta a destacar a realização da feira e o envolvimento dos alunos:

P2 - *Sim, nós fizemos uma feira de ciências sobre o conteúdo depois. Foi muito bom, por eles estarem interessados e após a visita fizeram uma pesquisa maior.*

É importante ressaltar aqui o saber dos professores ao desenvolverem projetos de integração entre o que ensinam e o que pode ser complementado nas visitas pelas características especiais que a educação não-formal possui.

Na opinião de alguns professores houve, inclusive, contribuições diretas para a aprendizagem de conceitos científicos:

P1 - *Pelo que os professores de física e química disseram, os alunos captaram com mais rapidez. Os professores de física e química fizeram um trabalho na sala e me disseram*.

P3 - *Inclusive os trabalhos que eles fizeram aqui, demonstração do que eles 'tavam' falando, então com certeza, eu posso dizer o seguinte, o aproveitamento deles, em termo de conhecimento, posso afirmar que é maior, talvez até por 'tá' mais próximo do dia-a-dia da matéria de física, né?, do conteúdo de física*.

P5 - *[...] dentro do próprio conteúdo, certamente foi utilizado alguma coisa da..., da...alguns conceitos que foram aprendidos lá.*

P3 acrescenta, numa outra resposta:

P3 - *A apresentação dos alunos, eles demonstraram o conhecimento que tiveram lá*.

Em alguns casos a visita foi organizada justamente para complementar as atividades de sala de aula:

P2 - *Uma das professoras de ciências trabalhava o conteúdo e nós resolvemos levar os alunos*.

P5 – *Então, nós temos o professor de física, preparou, e também o professor de química, uma aula com diversos assuntos, inclusive radiação, né? E foi daí que tivemos a idéia de levar os alunos pra lá.*

No caso da escola E2, onde P3 atua, além do assunto já estar incorporado ao programa da escola, houve uma preparação anterior específica para a visita:

P3 - *Os professores prepararam exatamente pra não chegar lá sem o conhecimento de nada, e era o conteúdo deles aqui.*

O professor P2 comenta que a visita possibilitou uma extrapolação do uso do livro didático, com a confecção de materiais para a feira de ciências:

P2 - *Ah, o próprio livro dos alunos de uma das turmas trazia o conteúdo e depois eles fizeram um material, como montagem de moléculas, células..., foi interessante*.

O professor P4 explicita que na escola E3, depois da visita, houve o envolvimento de outros professores:

P4 - *Inclusive teve uma interação com outros professores falando sobre o assunto. [...] a gente fez uma aula especial contextualizando Chernobyl e Goiânia*.

Outro elemento interessante que surgiu nas entrevistas foi a contribuição da visita ao CI-CRCN-CO para a finalização de um trabalho de monografia de uma das professoras da escola E1, que explorou o tema do acidente com o Césio-137.

Considerações Finais

Dentre as três instituições que mantém compromisso com o acidente com o Césio-137 em Goiânia (AVCésio, SULEIDE e CRCN-CO), nossa pesquisa revelou que o Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste (CRCN-CO) é o que melhor executa atividades de educação não-formal, pois tem uma estrutura extremamente organizada de recepção dos visitantes e objetivos bem definidos: desmistificar o acidente revelando suas circunstâncias e conseqüências; mostrar a importância da utilização da energia nuclear; divulgar pesquisas sobre o uso benéfico da radiação através de irradiação de alimentos, diagnóstico e cura de doenças, por exemplo; ou seja, evidenciar os aspectos positivos da utilização da Física Nuclear, demonstrando que este conhecimento proporcionou melhorias na vida da população, apesar dos riscos envolvidos na manipulação de materiais radioativos.

Conseguimos identificar que o CRCN-CO não é voltado a um público específico, pois recebe quase que diariamente pessoas de todas as idades e níveis de escolaridade, de diversas instituições, regiões do estado, do Brasil e do mundo, que até lá se dirigem com o objetivo de conhecer ou compreender melhor os aspectos que envolvem o acidente com o Césio-137 em Goiânia. Essa unidade da CNEN pode, então, ser caracterizada como um centro de ciências e tecnologia, pois, além de desenvolver pesquisas na área de Física Nuclear, divulga informações sobre suas próprias pesquisas e sobre o acontecimento de setembro de 1987, realizando um trabalho sistematizado de recepção e atendimento ao público.

O objetivo principal da nossa pesquisa foi analisar as impressões de professores que visitaram o Centro de Informações do Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste (CI-CRCN-CO) e avaliar os desdobramentos das visitas no âmbito escolar. Escolhemos entrevistar os responsáveis pelo acompanhamento de alunos que visitaram o CI-CRCN-CO durante o mês de aniversário de vinte anos do acidente, por notar uma freqüência de visitas sensivelmente maior neste período. Ao entrevistá-los, quase dois anos após a visita, esperávamos coletar as informações que resistiram na memória dos visitantes, porém, percebemos que muitos detalhes foram perdidos a partir dessa escolha.

Entre os cinco professores entrevistados predominaram profissionais com formação em Pedagogia. Devido a esse perfil, alguns aspectos das impressões recolhidas não puderam ser analisados, como, por exemplo, os conceitos científicos compreendidos durante a visita.

Para analisar o conteúdo das respostas às entrevistas tomamos como referência categorias estruturadas a partir dos objetivos da popularização da ciência nos museus e centros de ciências e tecnologia, apoiados na literatura sobre o tema.

Vários entrevistados consideraram que as informações disponíveis no CI-CRCN-CO retratam a realidade do acidente, ou seja, ignoram que se trata de um órgão que tem a sua própria interpretação do acontecimento, que não é consensual. A visita ao CI-CRCN-CO não contribui para modificar essa visão, porém, a sensação de acesso direto à realidade se dá devido ao compromisso do centro para com o esclarecimento do acidente e reflete uma proximidade entre público e cientistas, ou seja, o processo de comunicação se estabelece e modifica os envolvidos. O entrevistado que cursa graduação em Física considerou a linguagem utilizada no CI-CRCN-CO ainda muito científica, ou seja, que a comunicação com o público pode ser melhorada.

As informações mais significativas para os entrevistados foram as relacionadas à história do acidente, especialmente por possibilitarem o manuseio de instrumentos científicos e o contato com imagens da época

gravadas em vídeo. Essas informações promoveram uma interpretação mais crítica do acidente, pois retrataram os impactos sociais e ambientais.

Os entrevistados revelaram que houve atividades complementares à visita nas escolas, avaliadas principalmente a partir da realização de feiras de ciências após a visita. Não conseguimos investigar, no entanto, se essa é uma prática recorrente entre os visitantes em outros períodos de visitação ou se estas iniciativas foram motivadas pelo advento do vigésimo aniversário do acidente.

Alguns entrevistados acreditam haver contribuições diretas da visita ao CI-CRCN-CO para a aprendizagem de conceitos científicos, mesmo sem terem planejado uma estratégia didática de exploração da atividade.

Na única escola onde houve uma preparação anterior, segundo o entrevistado, existiu a preocupação de que o professor acompanhante da turma na visita não deixasse o trabalho apenas por conta dos funcionários do CI-CRCN-CO, ou seja, existiu uma idéia antecipada de o professor também participar.

Essas considerações nos levam a refletir sobre a preparação dos professores visitantes e dos responsáveis pela recepção nos centros de ciências. Ambos precisam estar preparados para explorar os recursos característicos das atividades de educação não-formal para que a escola possa integrar essas atividades aos seus projetos pedagógicos, ampliando suas possibilidades de organização curricular.

Por parte do CI-CRCN-CO, que divulga conhecimentos tão necessários aos moradores de Goiânia, principalmente, ainda falta uma ação mais efetiva de popularização a ser implementada pela CNEN em cooperação com as secretarias de educação. Por outro lado, compete aos professores desta cidade se comprometerem com uma visitação regular, planejada e orientada para o esclarecimento público dos efeitos benéficos e os riscos inerentes à manipulação da radioatividade.

Referências Bibliográficas

ALBAGLI, S.. Divulgação científica: informação científica para a cidadania?. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 396-404, 1996.

ALMEIDA, A. M.. Desafios da relação Museu-Escola. **Comunicação & Educação**, São Paulo, n. 10, p. 50-56, 1997.

ALMEIDA, Elisabeth Santos de. A, B, C e X das Radiações. **Revista de Ensino de Física**, São Paulo, v. 12, p. 12-25, Dez. 1990.

ANJOS, R. M.; FACURE, A.; LIMA, E. L. N.; GOMES, P. R. S.; SANTOS, M. S.; BRAJE, J. A. P.; OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M.; UMISEDO, N. K. Radioactivity teaching: Environmental consequences of the radiological accident in Goiânia (Brazil). **American Journal of Physics**, v. 69, p. 377-381, Mar. 2001.

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo.** Portugal: Edições 70, 5 ed, 2008.

BAUER, Henry H. **Scientific Literacy and the Myth of the Scientific Method**. Chicago: University of Illinois Press, 1994.

BENAKOUCHE, Tâmara. Tecnologia é sociedade: contra a noção de impacto tecnológico. Florianópolis: PPGSP/UFSC, **Cadernos de Pesquisa**, n.17, set. 1999.

CABRAL, Gabriela. Acidente de Chernobyl. **Brasil Escola**, 2002. Disponível em <www.brasilescola.com/historia/chernobyl-acidente-nuclear.htm> Acesso em: 05 de out. 2008.

CANDOTTI, Ennio. Ciência na Educação Popular. In: MASSARANI Luisa; MOREIRA Ildeu de Castro; BRITO Fátima. **Ciência e Público: caminhos da divulgação científica no Brasil**. Rio de Janeiro: Casa da Ciência – Centro Cultural de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Fórum de Ciência e Cultura, 2002.

_____. Divulgação e Democratização da Ciência. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria: UFSM, Jul./Dez. 2001.

CAZELLI, Sibele. Alfabetismo Científico: novos desafios no contexto da globalização. **Revista Ensaio, Pesquisa em Educação em Ciências**, v.3, n.1, Jun. 2001.

CHAGAS, I.. Aprendizagem não formal/formal das ciências: Relações entre museus de ciência e escolas. **Revista de Educação**, Lisboa, v. 3, n. 1, p. 1-17. 1993.

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Apostila Educativa:** Aplicações da Energia Nuclear. Rio de Janeiro: [20--?]. Disponível em <www.cnen.gov.br> Acesso em: 05 nov. 2007.

_____. **Missão**. Rio de Janeiro: 2006. Disponível em <www.cnen.gov.br> Acesso em: 05 nov. 2007.

_____. **Apostila Educativa:** Radioatividade. Rio de Janeiro: [20--?]. Disponível em <www.cnen.gov.br> Acesso em: 05 nov. 2007.

COLINVAUX, D.. Museus de ciências e psicologia: interatividade, experimentação e Contexto. **História, Ciências, Saúde**, Manguinhos, v. 12 (suplemento), p. 79-91, 2005.

CRUZ, F. F. de Sousa. Radioatividade e o acidente de Goiânia. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 4, n. 3, p. 164-169, 1987.

CURY. M. X.. Estudo sobre Centros e Museus de Ciências, subsídios para uma política de apoio. **Caderno do Museu da Vida**. Rio de Janeiro: 2002.

DAMASIO, Felipe; CALLONI, Gilberto. **Perdendo o medo da Radioatividade:** pelo menos o medo de entendê-la. Porto Alegre: [20--?]. Disponível em <ararangua.cefetsc.edu.br/ciencias/radioatividade.pdf> Acesso em: 08 mar. 2010.

DELICADO, Ana. Para que servem os museus científicos? Funções e finalidades dos espaços de musealização da ciência. **Anais do VIII Congresso Luso-Afro-Brasileiro de Ciências Sociais**. Coimbra: Universidade de Coimbra, Colégio de S. Jerônimo, 2004. Disponível em: <http://www.ces.fe.uc.pt/lab2004/pdfs/AnaDelicado.pdf>, acesso em nov. de 2006.

DUKAS, H.; HOFFMAN, B. **Einstein: o lado humano**. Brasília: Editora da UnB, 1979.

DURANT, John. **What is Scientific Literacy**. London: Science Museum, Science and Culture in Europe, 1993.

Equipe da Casa da Cultura/UFRJ. Ciência e cultura emboladas? In: MASSARANI Luisa; MOREIRA Ildeu de Castro; BRITO Fátima. **Ciência e Público: caminhos da divulgação científica no Brasil**. Rio de Janeiro: Casa da Ciência – Centro Cultural de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Fórum de Ciência e Cultura, 2002.

GERMANO, Marcelo Gomes; KULESZA, Wojciech Andrzej. Popularização da Ciência: uma revisão conceitual. **Caderno Brasileiro do Ensino de Física**, Santa Catarina, v. 24, n. 1, p. 7-25, 2007.

GOUVÊA, G.; LEAL, M. C. Uma visão comparada do ensino em Ciência, Tecnologia e Sociedade na escola e em um Museu de Ciência. **Ciência & Educação**, Bauru, v.7, n.1, p. 67-84, 2001.

GRUZMAN, C.; SIQUEIRA, V. H. F. O papel educacional do Museu de Ciências: desafios e transformações conceituais. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciências**, Barcelona, v. 6, n. 2, p 402-423, 2007. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 02 dez. 2009.

HAZEN, Robert; TREFIL, James. **Saber Ciência**. São Paulo: Cultura Editores Associados, 1999.

KAPLAN, Irving. **Física Nuclear**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S. A., 1978.

KUTENBACH, Eleanora; MASUDA, Masako; PERSECHINI, Pedro M.; SILVA, Robson Coutinho. Interação Museu de Ciências – Universidade: contribuições

para o ensino não-formal de ciências. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.57, n.4, Out./Dez. 2005.

LIBÂNEO, José Carlos. Os Significados da Educação, Modalidades de Prática Educativa e a Organização do Sistema Educacional. **Inter-Ação**, Faculdade de Educação, Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia, 16(1-2): 67-90, Jan./Dez. 1992.

_____. O Ato Pedagógico em Questão: o que é preciso saber. **Inter-Ação**; Faculdade de Educação, Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, 17(1-2): 111-125, Jan./Dez. 1993.

MARANDINO, Marta. Transposição ou recontextualização? Sobre a produção de saberes na educação em Museus de Ciências. **Revista Brasileira de Educação**, São Paulo, n. 26, 2004.

_____. A pesquisa educacional e a produção de saberes nos Museus de Ciência. **História, Ciências, Saúde**, Manguinhos, v. 12 (suplemento), p. 161-81, 2005.

MARTINS, Cláudio Souza. **O Planetário:** Espaço Educativo Não Formal Qualificando Professores da Segunda Fase do Ensino Fundamental para o Ensino Formal. Dissertação (Mestrado) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação – Programa de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática, Goiânia, 2009.

MARTINS, Isabel P. Literacia científica: dos mitos as proposta. **VII Encontro Nacional de Educação em Ciências,** Portugal: Universidade de Aveiro, 2002.

MASSARANI, Luisa. **Admirável mundo novo: a ciência, os cientistas e a dupla hélice sob o olhar de estudantes**. Tese (Doutorado) – Departamento de Bioquímica Médica, Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MOREIRA, I. C. A inclusão social e a popularização da ciência e tecnologia no Brasil. **Inclusão Social**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 11-16, 2006.

MOREIRA, Ildeu de Castro; MASSARANI, Luisa. Aspectos Históricos da Divulgação Científica no Brasil. In: MASSARANI Luisa; MOREIRA Ildeu de Castro; BRITO Fátima. **Ciência e Público: caminhos da divulgação científica no Brasil**. Rio de Janeiro: Casa da Ciência – Centro Cultural de

Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Fórum de Ciência e Cultura, 2002.

MOTA, Ronaldo. Acerca do Método e do Conhecimento Científico. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria: UFSM, Jul./Dez. 2001.

NUCTEC - Nuclear Tecnologia e Consultoria. **Os Acidentes**. Itajubá: Área Educacional, 2000.

OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra, 1986.

QUEIROZ, G., KRAPAS, S.; VALENTE, M. E.; DAVID, E.; DAMAS, E.; FREIRE, F. Construindo saberes da mediação na educação em Museus de Ciências: o caso dos mediadores do Museu de Astronomia e Ciências Afins. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 2, nº 2, p. 77-88, 2002.

QUEIROZ, Glória Pessôa. Parcerias na formação de professores de ciências na educação formal e não-formal. **Caderno do Museu da Vida**, Rio de Janeiro, p. 80-86, 2001-2.

RÊGO, Florbela Martins. **As Radiações no Ensino**. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2004. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências, Departamento de Física, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2004.

RIBEIRO, R.A. & KAWAMURA, M. R. D. Divulgação Científica e Ensino de Física: Intenções, Funções e Vertentes. Trabalho apresentado no **X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física - EPEF**. Londrina, PR, 2006.

RODRIGUES, Jadir G. Césio-137: metáfora de um acidente. **Revista da FECHA/FEA**, Anicuns, Guanicuns, v.1, p.95-106, nov. 2004.

SALÉM, S. & KAWAMURA, M. R. D. O texto de divulgação e o texto didático: conhecimentos diferentes? A**tas do V Encontro de Pesquisadores em ensino de Física – EPEF**, Águas de Lindóia, 1996.

SHAMOS, Morris. **The Myth of Scientific Literacy**. New Jersey: Rutgers University Press, 1995.

SILVA, Gilson Antunes; AROUCA, Mauricio Cardoso & GUIMARÃES, Vanessa Fernandes. As Exposições de Divulgação Científica. In: MASSARANI Luisa; MOREIRA Ildeu de Castro; BRITO Fátima. **Ciência e Público: caminhos da divulgação científica no Brasil**. Rio de Janeiro: Casa da Ciência – Centro Cultural de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Fórum de Ciência e Cultura, 2002.

SULEIDE. **História do Acidente Radioativo de Goiânia**. Goiânia: Governo do Estado de Goiás, Secretaria da Saúde do Estado de Goiás, Sistema Único de Saúde. Disponível em: <www.saude.go.gov.br> Acesso em: 05 nov. 2007.

_____. **Histórico do Acidente Radioativo com o Césio – 137: relatos**. Goiânia: Governo do Estado de Goiás, Secretaria da Saúde do Estado de Goiás, Sistema Único de Saúde. Disponível em: <www.saude.go.gov.br> Acesso em: 05 nov. 2007.

TRIVIÑOS, Augusto Nibaldo Silva. **Introdução à pesquisa em ciências sociais:** a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 2008.

VIEIRA, V.; BIANCONI, M. L.; DIAS, M. Espaços não-formais de ensino e o currículo de ciências. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 57, n. 4, 2005. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252005000400014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 02 dez. 2009.

WIDERHECKER, Clyce Louise; CHAVES, Elza Guedes. Associação das Vítimas do Césio-137: identidade e diversidade de um movimento social. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, Volume 9/10, nº 1/2, p. 1-20, jan./dez. 1989/1990.

ZEM-MASCARENHAS, Sílvia Helena; CASSIANI, Silvia Helena De Bortoli. Desenvolvimento e avaliação de um software educacional para o ensino de enfermagem pediátrica. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, Ribeirão Preto, v. 9, n. 6, 2001 . Disponível em: <http://www.revistasusp.sibi.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-11692001000600003&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 07 Jul 2009.