

## 10 Referências Bibliográficas

- ACGIH. American Conference of Government Industrial Hygienists. **Threshold limiting values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices**. Cincinnati, Ohio, USA. Technical Affairs Office ACGIH 2000.
- ALLEN, M.D., BRIANT, J.K., MOSS, O.R. et al **Dissolution characteristics of LMFBR fuel-sodium aerosols**. Health Phys. 40: 183-193, 1981.
- ANJOS, R. M. **Radioecology teaching: evaluation of the background radiation levels from areas with high concentrations of radionuclides in soil**. European Journal of Physics, v.25, p.133 - 144. 2004a.
- ANKE, M., IHNAT, M. E STOEPLER, M. **Metal and their compounds in Elements and their compounds in the environment** . v.1. 2004.
- ANSOBORLO, E., CHALABREYSSE, J., ESCALLON, S. **Etude de Influence de différents paramètre sur la solubilité in vitro de composés industriels ou diuranates d' ammonium calcinés**. Radioprotection. 24: 3-12, 1989.
- ANSOBORLO, E., CHALABREYSSE, J., ESCALLON, S. et al. **In vitro solubility of uranium tetrafluoride with oxidising medium compared with in vivo solubility in rats**. Int. J. Radiat. Bio. 58:681-689, 1990.
- ANSOBORLO, E., CHALABREYSSE, J., HENGÉ-NAPOLI, M.H. **In vitro chemical and cellular tests applied to uranium trioxide with different hydration states**. Env. Health. Persp. 97: 139-143, 1992.
- ANSOBORLO, E, HODGSON, A., STRADLING, G.N., HODGSON, S., MÉTIVIER, H., HENGÉ-NAPOLI, M.H., JARVIS, N.S., BIIRCHAL, A. **Exposure implications for uranium aerosols formed at a new laser enrichment facility: application of the ICRP respiratory tract and systemic model**. Radiation Protection Dosimetry, 79 nos. 1-4, pp 23-27. 1998.
- ANSOBORLO, E., CHAZEL, V., HENGÉ-NAPOLI, M.H., PIHET, P., RANNOU, A., BAILEY, M.R., STRADLING, N. **Determination of the Physical and Chemical Properties, Biokinetics, and dose coefficients of Uranium compounds**

**handled during nuclear fuel fabrication in France.** *Health Phys*, 82 (3):279; 2002.

ARTAXO P., RABELLO M.L.C. MAENHAUT W. & VAN GRIENKEN R. **Trace Aerosols from Antarctic Peninsula.** *Tellus* 44B: 318-334, Element and Individual Analysis of Atmospheric, 1992.

AVADHANULA, M.R. **Dissolution studies of UO<sub>2</sub> in simulated lung fluid.** Ottawa, Canada: Atomic Energy Control Board: Report nº INFO-0147, 1984.

BAILEY, M.R., HODGSON, A., SMITH, H. **In vitro and in vivo dissolution characteristics of monodisperse labelled aluminosilicate glass particles.** In: *Aerosols in Science, Med. And Tech. Physical and Chemical Properties of Aerosols.* Proc. GaeF 8 conference, Eds. Stöber, W., and Hochrainer, D., 265-270, 1981.

BAILEY, M.R., GUIMETTE, R.A., JARVIS, N.S., ROY, M. **Practical applications of the new ICRP Human Respiratory Tract Model.** *Radiation Protection Dosimetry*. 79: 17-22. 1998.

BARNES, J. **Distribution of Inhaled Radionuclides in Respiratory Tract.** *Health Physics*, v21, p.227-232, 1971.

BARROS LEITE, C. V.; MONTENEGRO, E. C.; BAPTISTA, G. B. ; PASCHOA, A. S. **Uncertainties in elemental quantitative analysis by pixe.** *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, USA*, n. 159, p. 153, 1979.

BERTELLI, L. **Programa computacional a i d e activity and internal dose estimates.** Versão 2.0E. 2004.

BOHGARD, M. **Particule-Induced X-Ray Emission Analysis Complementary Techniques for Examination of Aerosol in the Environment of Industry Worker.** Tese de doutorado apresentada na Universidade de Lund, Suécia, 1983.

BURLINGAME, A.L.; BOYD, R.K.; GASKELL, S.J. **Mass spectrometry.** *Anal. Chem.* V. 68: 599R-651R, 1996.

CASTRO, M. X. **Interpretação de Resultados de Monitoração Individual Interna de Trabalhadores da Fábrica de Combustível Nuclear - FCN.** Dissertação de Mestrado, IRD/CNEN, Rio de Janeiro, Brasil. 2005.

CHAZEL, V. HOUPERT, P. ANSOBORLO, E., HENGE-NAPOLI, M.H., PAQUET, F. **Variation of solubility, biokinetics and dose coefficient of industrial uranium oxides according to specific surface area.** *Radiation Protection Dosimetry*. 88: 223-231. 2000.

CNEN NN – 3.01. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.** Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2005.

- COOKE, N., HOLT, F.B. **The solubility of some uranium compounds in simulated lung fluid.** Health Phys. 27:69-77, 1974.
- COOPER J.R., G.N. STRADLING, H. SMITH, S.E. **The behavior of uranium 233 oxide and uranyl 233 nitrate in rats.** Int. J. Rad. Biol. 41: 421–433, 1982.
- CRC. **Handbook of chemistry and physics.** David R. Lide ed. CRC Press, Boca Raton, FL, 2005.
- CUBSTER, P.J., CARTER, P.J., WOODS, D.A. **In vitro dissolution of uranium.** Radiat. Prot. Dosim.55, 39-47, 1994.
- CROSS F.T., R.F. PALMER, R.H. BUSCH, R.E. FILIPY, B.O. STUART. **Development of lesions in Syrian golden hamsters following exposure to radon daughters and uranium dust.** Health Physics 41: 1135–1153, 1981.
- CRUZ, S. C. P. **A interação entre o Aulacógeno do Paramirim e o Orógeno Araçuai-Oeste Congo.** Contribuições às Ciências da Terra – Série D. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). 2004.
- DENNIS, N.A, BLAUER, H.M., KENT, J.E. **Dissolution fractions and half-times of single source yellowcake in simulated lung fluids.** Health Phys. 42: 469-477, 1982.
- DE PINHO A.G., MONTENEGRO E.C., BARROS LEITE C.V., BAPTISTA G.B., PASCHOA A.S. **Potencialidades e Possíveis Aplicações de um novo Método Analítico (PIXE).** An. Acad. Brasil. Cienc., 51(3), 1979.
- DIAS DA CUNHA, K. **Caracterização de partículas de tório e urânio existentes em poeira da monazita.** Tese de mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 1988.
- DIAS DA CUNHA, K., LIPSZTEIN J.L. & BARROS LEITE, C.V. **Utilização do método para análise de poeira de minério.** Anais do III encontro de aplicações nucleares. Águas de Lindóia, Brasil, 1995.
- DIAS DA CUNHA, K. **Contribuição ao Estudo da Exposição Ocupacional ao Tório.** Tese de Doutorado apresentada no Instituto de Biofísica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997.
- DIAS DA CUNHA, K., LIPSZTEIN J.L. FANG C.P. & BARROS LEITE, C.V. **A Cascade Impactor for Mineral Particles Analysis.** J. Aerosol Science and Technology 29(2), 126-132, 1998.
- DIAS DA CUNHA, K., PEREIRA J. A. M., BARROS LEITE C.V. **Pixe and PDMS Methods Applied to Aerosol Analysis.** J. Aerosol Science and Technology v. 32, p. 453-464, 2000.

- DUPORT, P. ROBERTSON, R., HHO, K. ET AL. **Flow-through dissolution of uranium – thorium ore dust, uranium concentrate, uranium dioxide and thorium alloy in simulated lung fluid.** Radia. Prot. Dosim. 38: 121-133, 1991.
- DU PREEZ J. G. H. **A Review of the Industrial Processes Involving Uranium - from Ore to the Reactor.** Radiat. Protect. Dosim. 26(1/4), 7-13. 1989.
- DYGERT H.P. **Pharmacology and Toxicology of Uranium Compounds.** McGraw Hill Books Inc. pages 647–652, 666–672, and 673–675. 1949.
- EIDSON, A.F., MEWHINNEY, J.A. **In vitro dissolution of respirable aerosols of industrial uranium and plutonium mixed-oxide nuclear fuels.** NUREG/CR-2171, LMF-79, 1981.
- EIDSON, A.F., DAMON, E.G., HAHN, F.F. ET AL. **The utility of in vitro solubility testing in assessment of uranium exposure.** Radiat. Prot. Dosim. 26, 69-74, 1989.
- EIDSON, A.F. **The effects of solubility of inhaled uranium compound clearance: A review.** Health Phys. 67, 1-14, 1994.
- ELETROBRÁS. **Reservas nacionais.** Comunicação pessoal. 2001.
- FLORES, J.; ADALPE, F.; DIAZ, R.V.; CRUMPTON, D. **Set – up and Improvements of PIXE Facility at ININ.** México. Nuclear Instruments and Methods, 75 B: 116-119, 1993.
- FISHER, D.R; BRIANT, J.K. **Assessment of accidental intakes of uranyl acetylacetonate (UAA).** Radiation Protection Dosimetry. 53: 263-267. 1994.
- GAMBLE, J.L. **Chemical anatomy, physiology and pathology of extracellular fluid.** 8<sup>th</sup> edition (Harvard University Press, Boston, M.A.), 4-11, 1967.
- GUILMETTE, R.A., HOOVER, M. D., NEWTON, G. J., HOWARD, R. J. ORTIZ, R. N. THOMAS, J. M., TROTTER, S. M. **The Effect of *In Vitro* Dissolution System Parameters for Measuring the Solubility of Uranium Aerosols.** Anals of congress. IRPA, 1999.
- HINDS, W. **Aerosol Technology: properties, behavior and measurement of airborne particles.** 2<sup>a</sup> edition. New York: Willey Interscience Publication, John Willey & Sons Inc., 1998.
- HODGSON, A. **Application of the ICRP HRTM to Uranium compounds produced during the manufacture of nuclear fuel.** National Radiological Protection Board (NRPB), Radiological Protection Bulletin no. 229, março 2001.
- HODGSON, A, SHUTT, A L, ETHERINGTON, G, HODGSON, S A, RANCE, E, STRADLING, G N, YOUNGMAN, M J AND KREYLING, W G. **Comparison of predicted with observed biokinetics of inhaled plutonium nitrate and**

**gadolinium oxide in man.** In: Internal Dosimetry of Radionuclides, Proceedings of Workshop, September 9-12 2002, Oxford, UK. Radiat. Prot. Dosim. 2002.

IAEA. Basic Safety **Standards. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources.** IAEA, Basic Safety Standard 115, STI/Pub/996, IAEA, Vienna. 1996.

ICRP. International Commission on Radiological Protection Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation, v.ICRP Publication 2, Oxford, Pergamon Press. 1959.

ICRP. International Commission on Radiological Protection. Limits for intakes of radionuclides by workers (Publication 30), Part 1, Annals of the ICRP 2 (3-4) Oxford: Pergamon Press, 1979.

ICRP. International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, *Annals of the ICRP* 21(1-3). 1990.

ICRP. International Commission on Radiological Protection. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. Publication 66, ICRP. Pergamon Press, Oxford, 1994.

ICRP. International Commission on Radiological Protection. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, ICRP Publication 66. *Annals of the ICRP* 24 (1-3). 1994a.

ICRP. International Commission on Radiological Protection. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values (Publication 89) Oxford: Pergamon Press, 2003.

INB. **Indústrias Nucleares do Brasil** – Comunicação Pessoal. 2001

JOHANSSON, S.A .E., JOHANSSON T.B. **Analitycal Application of Particle Induced X Ray Emission.** Nucl. Inst. Meth. 137:473-516, 1976.

JOHANSSON, S. A. E.; CAMPBELL, J. L. **Particle Induced X Ray Emission Spectrometry.** Chichester: Wiley. 1995.

KALKWARF, D.R., **Dissolution Rates of Uranium Compounds in Simulates of Lung Fluid.** The Science of the Total Environment 28: 405-414, 1983.

KANAPILLY, G.M., RAABE, O.G., GOH, C.H.T, ET AL. **Measurement of in vitro dissolution of aerosol particles for comparison to in-vivo dissolution in the lower respiratory tract after inhalation.** Health Physics. 24, 497-507, 1973.

KANAPILLY, G.M., GOH, C.H.T. **Some Factors Affecting the *in vitro* rates of dissolution of respirable particles of relatively low solubility.** *Health Phys.* 25, 225-237, 1973.

KAPLAN, I. **Física Nuclear.** Tradução José Goldemberg e Clovis Goldemberg. 2 ed. Rio de Janeiro. Ed Guanabara Dois. 1986.

KISS, KOLTAY E., SZABÓ G.Y., MÈSZÀROS A ., LÀSZLÒ S. & GODÈNEY S. **Proton Induced X Ray Emission as Tool for Analys in Biological and Atmospherical Samples.** Anais do 10º Annual Meeting of European Society of Nuclear Methods in Agriculture, 1980.

LEGGETT R W. **The behaviour and chemical toxicity of U in the kidney: a reassessment.** *Health Phys* 57(3), 365–383. 1989.

LIPPMANN, M. **The effects of particles size on the regional deposition of inhaled aerosols in the human respiratory tract.** *American Industrial Hygiene Journal.* 30: 257, 1969.

LIPPMANN, M. **Deposition and Clearence of Inhaled Particules in the Human Nose.** *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 79:519-578, 1970.

Lima, C; COELHO, M.J.; PEREIRA, K.D.; BARROS LEITE, C.V; MEDEIROS, G.; DIAS DA CUNHA, K. **Tantalum dissolution rate in simulant lung fluid.** *Water soil and air pollut.* V186:365-371. 2007.

MANSUR, S.M. **Estudo do comportamento de dissolução do yellowcake em líquido pulmonar simulado.** Tese Universidade do Estado do rio de Janeiro. UERJ. 1988.

MATOS, E., RUBINI, L. **Reservas Brasileiras de Urânio e sua Capacidade de Atendimento à Demanda Interna.** In Anais do VII CGEN - Belo Horizonte - MG, Brasil, ABEN, 1999.

MATOS, E., RUBINI, L. **Província urinífera de Lagoa Real – Bahia: considerações gerais, situação atual e perspectivas.** [SL]: Indústrias Nucleares do Brasil. Relatório Técnico. 2000.

MATOS, E., SILVA, J. RUBINI, L. **Província urinífera de lagoa real - garantia de fornecimento de concentrado de urânio (dua) para as necessidades brasileiras.** *Revista de Geologia,* Vol. 16, nº 2, 111-120, 2003.

METZGER, R., COLE, L. **Solubility characterization of airborne uranium from a recycling plant.** *Health Physics.* 87: 89-91. 2004.

MIGLIO, J.J., MMUGGENBURG, B.A., BROOKS, A.L. **A rapid method for determining the relative insoluble of plutonium aerosols.** *Health Phys.* 33: 449-457, 1977.

- MORGAN, A., BLACK, A., MOORES, S.R., PRITCHARD, J. N., WALSH, M. & LAMBERT B.E. **Alveolar Deposition of Sized Particles of  $^{239}\text{PuO}_2$  in the nose.** Radiation Research 93: 85-92, 1983.
- MORROW, P.E., GIBB, F.R., BEITER, H.D. **Inhalation studies of uranium trioxide.** Health Phys. 23:273-280, 1972.
- MOSS, O. **Simulants of lung interstitial fluid.** Health Phys. 36: 447-448, 1979.
- MOSS, O., KANAPILLY, G.M. **Dissolution of inhaled aerosols. In: Generation of Aerosols and facilities for exposure experiments.** pp. 105-124. Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan, 1980.
- NELSON, J.W. & COURTNEY W.J. **Light Elements Analysis by Proton Scattering.** Nucl. Inst. Meth., 142:127-130, 1977.
- NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. **Pocket guide to chemical hazards.** US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centre for Disease Control and Prevention. 2000.
- OEDC/IAEA. **Energy Statistics of OECD Countries. 2007 Edition,** 392 pages. 2007.
- OJEC. **Official Journal of the European Communities LI59.** Office for Official Publications of the European Communities., v.39, 29 June 1996. 1996.
- PASCHOA, A.; MONTENEGRO, E.; MARGULIS, W.; *ET AL.* **PIXE elemental analysis of air particulates and a geochemical reference sample.** Proceedings of the Third International Conference on Nuclear Methods in Environmental and Energy Research. Washington: United States Energy Research and Development Administration (USERDA), p. 21-32, 1977.
- PATOCKA, J. KASSA, J. STETINA, R. SAFR, G. HAVEL, J. **Toxicological aspects of depleted uranium.** Journal of applied biomedicine. 2: 37-42. 2004.
- PRIEST, N.D. **Toxicity of depleted uranium.** Lancet 357: 244 – 246. 2001.
- PINHO, R. **Estudo da dessorção iônica induzida pelo impacto de íons rápidos sobre fenilalanina.** Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1993.
- REIF, R.H. **Evaluation of in vitro dissolution rates of thorium in uranium Mill tailings.** Health Physics. V. 67 (5). p 545-547. 1994.
- ROTH, P., HÖLLRIEGL, V., WERNER, E. E SCHRAMMEL, P. **Assessment of Exposed to Depleted Uranium.** Radiation Protection Dosimetry. 105(1-4), pp 157-161. 2003.
- SANTOS, M. **Estudo *in vitro* da taxa de dissolução de tório e urânio presentes em minérios.** Dissertação de mestrado. Instituto de biofísica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 1996.

- SANTOS, M. **Estudo da Exposição Interna a Compostos de Urânio na Fabricação do Elemento Combustível Nuclear No Brasil**. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Biologia/UERJ, Rio de Janeiro, Brasil. 2006.
- SCAPOLANT, S., ANSOBORLO, E., MOULIN, C., E MADIC, C. **Uranium(VI) – Transferrin system studied by time – resolved laser – induced fluorescence**. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol 79, No. 1-4, pp. 505-508. 1998.
- SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T.A. **Principles of instrumental analysis**. 5 ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 349p.1998.
- SNIPES, M. B. **Biokinetics of inhaled radonuclides**. Internal Radiation Dosimetry. Editado por Raabe O. G., Medical Physics Publishing, 181-196, 1994.
- SPIEGEL C.J. **Pharmacology and Toxicology of Uranium Compounds**. McGraw Hill Books Co. Inc. 1949.
- STATER, J.W. **The development of protection standards for intakes of radionuclides (1955-2005)**. *Radiation Protection Dosimetry*, 109, no. 4, pp. 383 – 397. 2004.
- STOKINGER H.E., R.C.BAXTER, H.P DYGERT. **Toxicity Following Inhalation for 1 and 2 Years**. In Voegtlin C. and C. Hodge (eds): *Pharmacology and Toxicology of Uranium Compounds I–IV*, New York 1953.
- STOKINGER H.E. Uranium. In Clayton C.D. and F.E. Clayton (eds): **Industrial Hygiene and Toxicology**. Vol 2A, 3rd Edition. John Wiley and Sons, New York, pp. 1995-2013. 1981.
- STRADLING, G.N., STATHER, J.W., GRAY, S.A., COOKE, N. **The metabolism of ceramic uranium and non ceramic uranium dioxide after deposition in rat lung**. *Hum toxicol*. 7: 133-139, 1988.
- STRADLING, G.N., STATHER, J.W., GRAY, S.A. **Biokinetics of plutonium-239 and americium-241 in the rats after pulmonary deposition of contaminated dust from soil samples obtained from the former nuclear weapons test site at Mmaralinga: implications for human exposure**. NRPB-M197, National Radiological Protection Board, Chilton, UK, 1989b.
- STRADLING, G., MOODY, J.C. **Use of animal studies for assessing intakes of inhaled actinide-bearing dusts**. *J Radioanal Nucl Chem* 197(2):309-329. 1995.
- STRADLING, G.N., PELLOW, P.G., HODGSON, A. et al. **Dose coefficient and assessment of intake of radionuclides bearing dust formes at the Kozloduy Nuclear power plant**. NRPB-M679, National Radiological Protection Board, Chilton, UK, 1996.

STRADLING, G., HODGSON, A. et al. **Industrial uranium compounds: exposure limits, assessment of intake and toxicity after inhalation.** NRPB-W22 National Radiological Protection Board. Chilton. 2002.

TASK GROUP ON LUNG DYNAMICS. **Deposition and Retention Models for Inertial Dosimetry of Human Respiratory Tract.** Health Physics 12: 173-207, 1966.

THEIN, M. MAITZ, A., AUSTIN, A. RAO, G. GUR, D. **Dissolution rates of airborne uranium in simulated lung fluid.** Health Physics. 43: 587-590. 1982.

TWINING, J; MCGUNN, P. HART, K. **The solubility of thorium and uranium from respirable monazite bearing dust in simulated lung fluid and gut fluid.** Radiation Protection in Australia. 11: 149-156. 1993.

UNSCEAR. **The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation .** Unsear 2000 Report to the general Assembly Volume 1 – Sources and Effects of Ionizing Radiation. 2000.

WATSON, J. **Deposition and clearance of inhaled particles. International Radiation Dosimetry: Principles and practice.** Health Physics Society Summer School, UK, 1983.

WEDEEN R.P. **Renal diseases of occupational origin.** Occup. Med. 7: 449–463, 1992.

WIEN, K. **100 Years of ion beams: Willy Wien's Canal Rays.** Braz. J. of Phys. V. 29: 401-414, 1999.

WHO. 2001- **Depleted uranium : Sources, Exposure and Health Effects.** Department of Protection of the Human Environment. *World Health Organization*, Geneva, April 2001. World Health Organization 2001.

ZARKADAS CH, KARYDAS, AG., PARADELLIS, T. **Determination of uranium in human urine by total reflection X-ray fluorescence.** *Spectrochimica Acta Part B* 56 , 2505 – 2511. 2001.

## Apêndice A

### A1. Aerossóis

O termo aerossol surgiu em 1920, como um termo análogo a hidrossol, suspensão líquida estável de partículas sólidas. Desde então, aerossol é definido como um sistema bifásico, no qual as partículas sólidas e líquidas estão suspensas em um gás, que geralmente é o ar. O tamanho destas partículas pode variar de 0,001 a 100  $\mu\text{m}$  (Hinds, 1982).

O transporte de partículas exerce um papel importante em nosso ecossistema. A fertilização de diversas espécies de plantas ocorre através do transporte de pólen, porém os aerossóis também são responsáveis pelo transporte de vírus, bactérias e principalmente de partículas de poluentes. O homem pode incorporar estes poluentes através da inalação ou ingestão via cadeia alimentar. Como dito anteriormente, as principais fontes naturais geradoras de aerossóis são a ação do intemperismo sobre o solo e rochas, a evaporação de rios, lagos, oceanos, os processos de respiração das plantas e explosões de vulcânicas. Dentre as fontes antropogênicas destacam-se os processos industriais como a mineração, os processos de beneficiamento, a siderurgia, a liberação dos gases emitidos pela queima de combustível nos veículos automotores e as queimadas nas áreas rurais. Estas partículas de aerossóis podem ser transportadas a longas distâncias através das correntes atmosféricas, tendo influência na qualidade do ar e nas condições climáticas locais, regionais e/ou globais.

### A2 Tamanho das partículas

O tamanho da partícula é um dos parâmetros mais importantes no estudo do comportamento aerodinâmico. As partículas presentes nos aerossóis em sua maioria possuem formas bastante irregulares, no entanto nos modelos teóricos

que descrevem seu comportamento em um fluxo são representadas por esferas perfeitas e indeformáveis (Hinds, 1982).

Uma partícula real pode ser representada por diferentes esferas equivalentes dependendo da definição adotada para seu diâmetro.

### A3. Diâmetro Geométrico

Os diâmetros geométricos são definidos em função da forma geométrica da partícula com base na observação desta partícula através da microscopia ótica. Na figura 2.1 é apresentado o esquema das três definições mais usadas para determinação do diâmetro geométrico. O Diâmetro de Martin  $D_M$  é definido como o comprimento de uma corda paralela à linha de referência que divide o perfil da partícula em duas áreas iguais, o Diâmetro de Ferret é o comprimento da sombra da partícula projetada sobre uma linha de referência e o Diâmetro da área projetada é o diâmetro de um círculo que possui a mesma área que o perfil projetado da partícula. (Hinds, 1982).

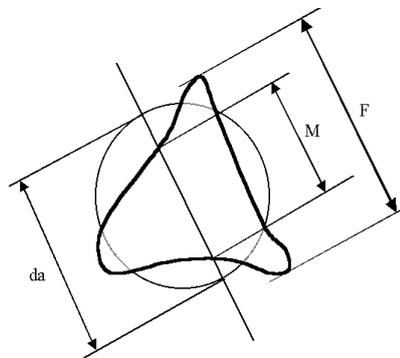


Figura 49 Esquema simplificado ilustrando as definições dos Diâmetros de Ferret, de Martin e da área projetada.

### A4. Comportamento aerodinâmico das partículas

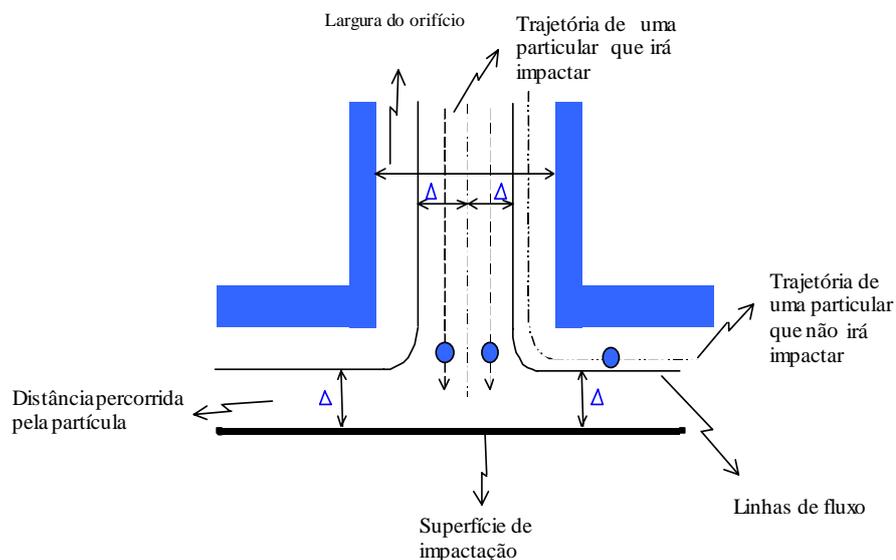
O movimento de uma partícula em um fluido é descrito pela equação de Navier –Stokes que considera (Hinds, 1982):

- Forças inerciais são desprezíveis quando comparada as forças viscosas, eliminando os termos de ordem mais alta nas equações de Navier-Stokes;

- Fluido incompressível;
- Não existem paredes ou outra partícula próxima à partícula estudada, sendo obtido um sistema de equações lineares que pode ser resolvido;
- A partícula é considerada uma esfera rígida e indeformável;
- A velocidade do fluido na superfície da partícula é zero

Quando as linhas de fluxo incidem perpendicularmente sobre uma superfície plano são desviadas de  $90^\circ$  em relação à trajetória inicial. Algumas partículas que não tem massa suficiente para abandonar as linhas de corrente do fluido são desviadas, enquanto que as partículas com massas maiores não conseguem acompanhar as linhas de corrente do fluido, indo impactar a superfície de impactação.

Quando estas linhas são desviadas de sua trajetória inicial por um anteparo as partículas seguem as linhas do fluido e descrevem um movimento curvilíneo. Na figura 2.3 é apresentado o esquema simplificado das linhas de corrente do fluido em um sistema onde as linhas de corrente do fluido apresentam um desvio de  $90^\circ$  (*Hinds, 1982*).



**Figura 50** Esquema simplificado das linhas de corrente do fluido em um sistema onde as linhas apresentam um desvio de  $90^\circ$ .

As curvas de eficiência teórica dos impactadores apresentam a forma de uma função degrau, na qual todas as partículas maiores que o diâmetro de corte

são impactadas. No entanto, a curva real de calibração de um impactador apresenta partículas acima e abaixo do diâmetro de corte de cada estágio. Como o número de partículas acima e abaixo do diâmetro de corte é igual podemos definir-lo como o diâmetro que corresponde a 50% da distribuição da frequência acumulada (*Hinds*, 1982).

#### A4. Diâmetros aerodinâmicos

As partículas do aerossol podem ser representadas por esferas perfeitas que possuem a mesma velocidade terminal das partículas reais. Assim, partículas com forma e densidade diferentes podem ser representadas pela mesma esfera equivalente (*Raabe*, 1994). O tamanho de uma partícula é definido como o seu diâmetro aerodinâmico equivalente.

O diâmetro de Stokes e o diâmetro aerodinâmico são diâmetros aerodinâmicos equivalentes definidos como(*Hinds*, 1982):

- Diâmetro de Stokes  $d_s$ : é o diâmetro de uma esfera que tem a mesma densidade e velocidade terminal que a partícula real no fluido;
- Diâmetro aerodinâmico  $d_a$ : é o diâmetro da esfera de densidade unitária ( $\rho_p=1\text{g/cm}^3$ ) e tem a mesma velocidade terminal da partícula real no fluido.

No caso de partículas não esféricas o diâmetro aerodinâmico equivalente pode ser corrigido por um fator chamado de fator de correção de forma, representado pela letra  $\chi$ .

Na figura 52 é apresentado um esquema representativo do diâmetro de Stokes, do diâmetro aerodinâmico e do diâmetro aerodinâmico com fator de forma para uma mesma partícula irregular com densidade igual a  $4\text{g/cm}^3$ .

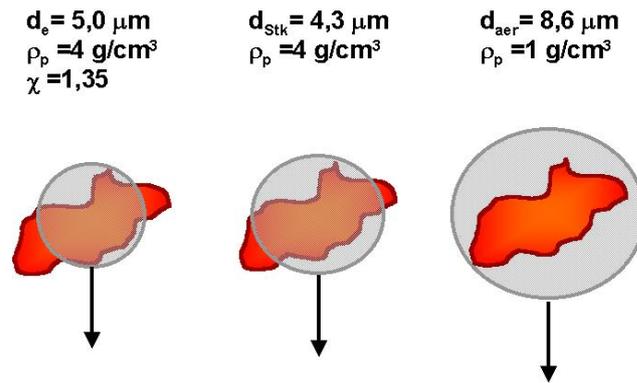


Figura 51 **Uma partícula irregular e suas esferas equivalentes. Diâmetro equivalente ( $d_e$ ), diâmetro de Stokes ( $d_s$ ) e diâmetro aerodinâmico ( $d_a$ )**

O tamanho das partículas de um aerossol mono-disperso é completamente definido por um único parâmetro o tamanho da partícula. Contudo a maioria dos aerossóis reais são polidispersos e possuem partículas em duas ou mais faixas de tamanho. Por esta variação é que as propriedades físicas do aerossol são fortemente dependentes do tamanho das partículas e para uma caracterização precisa destas distribuições de tamanho é necessário fazer um tratamento estatístico desta distribuição. As distribuições de partículas são representadas por distribuições log-normais. Considera-se que a distribuição dos diâmetros aerodinâmicos em função de uma propriedade das partículas (massa, atividade, contagem etc). Deste modo as partículas são representadas pelo MAD (Median Aerodynamic Diameter) e pelo desvio padrão geométrico associado ( $\sigma_g$ ). O MAD é o valor do diâmetro que divide a curva de distribuição em duas áreas iguais.

O AMAD (Diâmetro Aerodinâmico Mediano de Atividade) é definido como o diâmetro de uma esfera de massa específica unitária e mesma velocidade terminal da partícula real (ICRP, 1979) quando a propriedade da partícula medida é a sua atividade.

MMAD (Diâmetro Aerodinâmico Mediano de Massa) é definido como o diâmetro da esfera que corresponde a 50% da distribuição de massa em relação ao diâmetro aerodinâmico da partícula equivalente, ou seja, este valor de diâmetro divide a curva de distribuição de massa em duas áreas iguais, quando a propriedade medida é a massa das partículas.

## A5. Técnicas de Amostragem

Os princípios de funcionamento dos amostradores de aerossóis baseiam-se em diferentes propriedades dos aerossóis e a escolha do amostrador dependerá do tipo de estudo e do aerossol a ser coletado. (Hinds, 1982; Lippmann, 1989).

Diversas técnicas de coleta de amostras de análise de aerossóis são aplicadas ao estudo das propriedades das partículas transportadas pelo ar visando, principalmente, avaliar a poluição atmosférica e seus efeitos sobre o clima global, os riscos à saúde dos seres vivos e os danos ao meio ambiente e patrimônios históricos da humanidade. (Shusterman, 2000; Dias da Cunha et al., 2001; 2002).

Os amostradores de partículas transportadas pelo ar, disponíveis comercialmente, podem ser agrupados em duas categorias gerais:

### i) **amostradores sem discriminação de tamanho de poeira total**

Os amostradores sem diferenciação do tamanho das partículas são comumente chamados de amostradores de poeira total. Eles possuem um único estágio, sendo usado na maioria das coletas para determinação da concentração de partículas totais (Lippmann, 1989).

### ii) **amostradores com diferenciação de tamanho**

Os amostradores com diferenciação do tamanho das partículas são comumente chamados de amostradores seletivos. Eles selecionam as partículas do aerossol segundo uma de suas propriedades, os principais amostradores baseiam-se nas propriedades inerciais das partículas, nas forças eletrostáticas e nas propriedades ópticas das partículas.

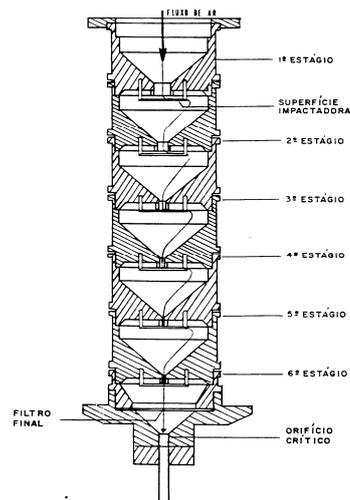
## A5.1 Amostradores Inerciais

Os amostradores inerciais baseiam-se na conservação da quantidade de movimento das partículas. No presente estudo utilizamos dois tipos de amostradores inerciais, o impactador em cascata e o amostrador individual com ciclone.

## A5.2 Impactador em cascata

Neste tipo de amostrador o fluxo de ar ao penetrar incide sobre uma superfície plana, perpendicular ao fluxo, provocando desvio das linhas de corrente do mesmo. As partículas com inércia suficiente para vencer a força exercida pelo fluido, abandonam as linhas de corrente do fluxo, impactando na superfície, enquanto que as outras seguem as linhas de corrente indo impactar nos estágios seguintes. Deste modo é possível a separação das partículas de diferentes tamanhos, pois cada estágio tem um diâmetro de corte diferente do outro.

Quando várias superfícies impactadoras são colocadas em série, o impactador recebe o nome de Impactador em Cascata (*Hinds, 1982*).



**Figura 52** Esquema de um impactador em cascata e os diâmetros de corte correspondentes a cada estágio

## Apêndice B

### Caracterização das amostras de aerossóis coletadas na fábrica de combustível nuclear

#### B1. Impactador em Cascata (IC)

**Tabela 12 Condições de coleta de amostras com IC na FCN – Unidade de Reconversão (Precipitação do TCAU e Filtro Rotativo).**

Data	Hora		Tempo (min)	Volume (m <sup>3</sup> )
	Inicial	Final		
30/03/2007	11:20	16:36	316	4,71
02/04/2007	8:28	16:40	492	7,08
03/04/2007	8:15	16:44	509	6,17
04/04/2007	8:30	16:45	495	6,66
05/04/2007	8:28	16:07	459	6,11
18/04/2007	10:30	19:30	536	7,13
19/04/2007	07:02	16:32	536	7,13
20/04/2007	09:03	16:43	460	5,84
23/04/2007	08:31	16:40	489	6,07
24/04/2007	08:50	16:45	475	5,85
25/04/2007	09:30	23:00	810	9,92
26/04/2007	08:25	23:07	882	10,4
27/04/2007	09:00	23:04	844	9,77
28/04/2007	09:30	23:34	844	9,84
29/04/2007	09:20	23:22	842	9,44
30/04/2007	09:05	23:00	835	9,00
01/05/2007	09:00	23:00	840	9,35
02/05/2007	09:20	23:00	820	9,03
03/05/2007	08:40	23:00	860	8,95
04/05/2007	09:00	10:30	90	0,76

**Tabela 13 Condições de coleta de amostras com IC na FCN – Unidade de Reconversão (Precipitação do TCAU e Filtro Rotativo + Forno de Leito Fluidizado).**

Data	Hora		Tempo (min)	Volume (m <sup>3</sup> )
	Inicial	Final		
25/04/2007	09:30	23:00	810	11,96
26/04/2007	08:25	23:06	881	13,28
27/04/2007	09:00	23:06	846	12,75
28/04/2007	09:30	23:32	842	12,61
29/04/2007	09:20	23:18	838	12,58
30/04/2007	09:05	23:00	835	12,66
01/05/2007	09:00	23:00	840	13,05
02/02/2007	09:20	23:00	820	12,96
03/05/2007	08:40	23:00	860	13,47
04/05/2007	09:00	23:00	840	12,96
07/05/2007	09:00	23:03	843	13,04
08/05/2007	09:00	23:10	850	13,37
09/05/2007	09:00	23:07	847	12,95
10/05/2007	09:00	23:00	840	12,50
11/05/2007	08:40	23:00	860	12,92
12/05/2007	09:00	23:00	840	12,82
14/05/2007	08:30	23:00	870	13,06
15/05/2007	08:30	23:00	870	13,43
16/05/2007	09:35	23:00	805	12,07
17/05/2007	09:00	23:00	840	12,21
18/05/2007	08:30	16:00	450	6,26
19/05/2007	09:30	17:00	450	7,08

**Tabela 14 Condições de coleta de amostras com IC na FCN – Unidade de Fabricação de Pastilhas (Retífica).**

Data	Hora		Tempo (min)	Volume (m <sup>3</sup> )
	Inicial	Final		
04/05/2007	14:00	23:00	540	6,32
07/05/2007	09:00	23:08	848	8,18
08/05/2007	09:00	23:07	847	8,67
09/05/2007	09:00	23:02	842	12,49
10/05/2007	09:00	23:00	840	12,78
11/05/2007	08:40	23:00	860	12,63
12/05/2007	09:00	23:00	840	12,28
14/05/2007	08:30	23:00	870	12,17
15/05/2007	08:30	23:00	870	11,96
16/05/2007	09:30	23:00	810	10,44
17/05/2007	09:30	23:00	810	10,02
18/05/2007	08:30	16:00	19	5,16
19/05/2007	09:15	17:05	20	5,58

## Apêndice C

Nas tabelas abaixo os reagentes utilizados para a preparação do LPS e as especificações de acordo com os fabricantes.

- Cloreto de Sódio (NaCl)

Fabricante: MERK

Teor de NaCl min 99,5%

pH da solução a 5% (20° C) 5 – 8

**Tabela 15 valores máximos dos contaminantes no NaCl de acordo com o fabricante.**

Composto / Metais	Valor máximo (%)
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	0,01
Fosfato (PO <sub>4</sub> )	0,005
Brometo (Br)	0,005
Iodeto (I)	0,001
Hexacianoferrato (Fe(CN) <sub>6</sub> )	0,0001
Nitrogênio total	0,001
Pb	0,0005
Fe	0,0001
Ba	0,001
Ca	0,002
Mg	0,001
K	0,01

- Cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>)

Fabricante: MERK

CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O m = 147,02g/mol

Teor de CaCl<sub>2</sub> na solução 99,0 – 102,0 %

pH da solução a 5% (20° C) 4,5 – 8,5

**Tabela 16 valores máximos dos contaminantes no  $\text{CaCl}_2$  de acordo com o fabricante.**

Composto / Metais	Valor máximo (%)
Material insolúvel	0,01
Sulfato ( $\text{SO}_4$ )	0,005
Pb	0,0005
Ba	0,003
Cu	0,0005
Fe	0,0003
K	0,01
Mg	0,005
Na	0,01
$\text{NH}_4$	0,005
Sr	0,05
Substâncias oxidantes como $\text{NO}_3$	0,003

- Citrato de sódio ( $\text{NA}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

Fabricante: NEON

( $\text{NA}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )  $m = 249,11 \text{ g/mol}$

Teor de ( $\text{NA}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) mínimo 99,0 %

**Tabela 17 valores máximos dos contaminantes no  $\text{NA}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  de acordo com o fabricante.**

Composto / Metais	Valor máximo (%)
Material insolúvel	0,05
Cloretos	0,01
Pb	0,001
Fe	0,001
Sulfato ( $\text{SO}_4$ )	0,01

- Cloreto de cálcio (KCl)

Fabricante: MERK

KCl  $m = 74,55 \text{ g/mol}$

Teor de mínimo KCl 99,5 %

pH da solução a 5% (20° C) 5,5 – 8,0

**Tabela 18 valores máximos dos contaminantes no KCl de acordo com o fabricante.**

Composto / Metais	Valor máximo (%)
Brometo (Br)	0,05
Iodeto (I)	0,002
Fosfato (PO <sub>4</sub> )	0,0005
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	0,005
Hexacianoferrato (Fe(CN) <sub>6</sub> )	0,0001
Nitrogênio total	0,001
Pb	0,0005
Fe	0,0003
Ba	0,001
Ca	0,001
Mg	0,002
Na	0,02

- Acetato de sódio (CH<sub>3</sub>COONa)

Fabricante: MERK

CH<sub>3</sub>COONa m = 82,03 g/mol

Teor de mínimo CH<sub>3</sub>COONa 99,0 %

pH da solução a 5% (20° C) 7,5 – 9,2

**Tabela 19 valores máximos dos contaminantes no CH<sub>3</sub>COONa de acordo com o fabricante.**

Composto / Metais	Valor máximo (%)
Cl	0,001
Fosfato (PO <sub>4</sub> )	0,0005
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	0,003
Pb	0,001
Al	0,001
Ca	0,001
Cu	0,0003
Fe	0,0005
K	0,02
Mg	0,0005

- Bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ )

Fabricante: NEON

Teor mínimo de  $\text{NaHCO}_3$  - 99,0%

**Tabela 20 valores máximos dos contaminantes no  $\text{NaHCO}_3$  de acordo com o fabricante.**

Composto / Metais	Valor máximo (%)
Insolúveis	Passa teste
Cl	0,05
$\text{NH}_4$	Passa teste
Sulfato ( $\text{SO}_4$ )	0,05
Pb	0,0001
Fe	0,01

- Sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )

Fabricante: VETEC

Teor de mínimo  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  99,0 %

pH da solução a 5% (20° C) - 5,2 – 9,2

**Tabela 21 valores máximos dos contaminantes no  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  de acordo com o fabricante.**

Composto / Metais	Valor máximo (%)
Insolúveis	0,01
Cl	0,001
Compostos nitrogenados	0,0005
As	0,0001
Pb	0,001
Al	0,001
Ca	0,0002
Mg	0,0002
Pb	0,0005
Fe	0,001

- Cloreto de magnésio ( $\text{MgCl}_2$ )

Fabricante: MERK

$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  m = 203,30g/mol

Teor de mínimo  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  99,0 % - 102,0%

pH da solução a 5% (20° C) - 5,0 – 6,5

**Tabela 22 valores máximos dos contaminantes no  $\text{MgCl}_2$  de acordo com o fabricante.**

Composto / Metais	Valor máximo (%)
$\text{NO}_3$	0,001
Fosfato ( $\text{PO}_4$ )	0,0005
Sulfato ( $\text{SO}_4$ )	0,002
N	0,0002
Pb	0,0005
Ba	0,002
Sr	0,002
Ca	0,03
Cu	0,0005
Fe	0,0005
K	0,001
Mn	0,0005
Na	0,001

- Fosfato de sódio ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ )

Fabricante: BELGA

Teor de mínimo  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  - 99,8 %

**Tabela 23 valores máximos dos contaminantes no  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  de acordo com o fabricante.**

Composto / Metais	Valor máximo (%)
As	0,00001
Fe	0,0002
K	0,0003
Pb	0,0003
Cl	0,005
$\text{SO}_4$	0,001