

# **Avaliação de riscos à saúde humana e ecológicos por rompimento da Barragem I da Vale em Brumadinho-MG.**

## **Human health and ecological risks assessment from VALE S.A dam failure in Brumadinho-MG.**

**Lillian Maria Borges Domingos**  
Bolsista PCI, Química Industrial MSc.

**Zuleica Carmem Castilhos**  
Supervisora, Bioquímica, D.Sc.

### **Resumo**

Dados primários e da literatura mostram que o rejeito disposto sobre o solo pelo rompimento da Barragem I, da VALE S.A, em Brumadinho contém teores de ferro, sílica, alumínio e manganês e partículas finas (de 10 a 100  $\mu\text{m}$ ), ultrafinas (de 10 a 1  $\mu\text{m}$ ) e coloidais (menor do que 1  $\mu\text{m}$ ). A inalação de partículas e sua consequente deposição nas vias respiratórias é um importante parâmetro de risco à saúde humana. Este trabalho apresenta o modelo conceitual de exposição ambiental humana a rejeitos de mineração de ferro pós-rompimento de barragem e os resultados preliminares de estimativa de deposição de partículas no pulmão por exposição inalatória utilizando MPPD Multiple-Path Particle Dosimetry Model. Após a seleção de valores para os parâmetros de entrada baseada em dados primários e de literatura, os resultados preliminares indicaram que a concentração, a densidade e o tamanho das partículas são fatores importantes para a deposição diferencial das partículas no sistema respiratório. Estas informações serão encaminhadas às instituições locais de Brumadinho como subsídio para discussões sobre os impactos ambientais do rompimento da Barragem 1, da VALE S.A.

**Palavras chave:** Palavras chave: Mineração de Ferro, Exposição Ambiental, Material Particulado, Inalação, MPPD.

### **Abstract**

Field work and literature data show that the tailings disposed on the soil by the failure of Dam I, by VALE SA, in Brumadinho, are rich on iron, silica, aluminum and manganese and fine particles (from 10 to 100  $\mu\text{m}$ ), ultrafine (from 10 at 1  $\mu\text{m}$ ) and colloidal (less than 1  $\mu\text{m}$ ). Particles inhalation and their consequent deposition in the airways is an important risk parameter for human health. This work presents the conceptual model of human environmental exposure to iron ore mining tailings after dam failure and the preliminary results of estimation of particle deposition in the lung by inhalation exposure using MPPD Multiple-Path Particle Dosimetry Model. After the selection of values for the input parameters based on primary data and literature, the preliminary results indicated that the concentration, the density and size of the particles are important factors for the differential deposition of the particles in the respiratory system. This information will be forwarded to local institutions in Brumadinho as a subsidy for discussions on the environmental impacts of the rupture of Dam I (VALE S.A).

**Key words:** 5 max Key words: Iron Mining, Environmental Exposure, Particulate matter, Inhalation, MPPD.

## 1. Introdução

A população da cidade de Brumadinho-MG vive atualmente uma incerteza relacionada aos possíveis impactos adversos à sua saúde devido à exposição ambiental crônica aos contaminantes oriundos do rompimento da barragem de rejeitos B1 da mina do Córrego do Feijão, da Vale S.A. Este desastre provocou ainda o rompimento de mais duas barragens, a B-IV e a B-IV-A, com a liberação para o meio ambiente de cerca de 12 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos. Estas três barragens eram classificadas como de risco baixo e com dano potencial alto. Esta tragédia ocorrida em 25 de Janeiro de 2019 causou a morte de 272 vidas humanas e 11 corpos ainda estão desaparecidos. Também causou a mortandade de fauna terrestre (silvestre e doméstica) e aquática e atingiu uma extensão de cerca de 250 ha. Efeitos ambientais e ecológicos crônicos estão ainda sendo avaliados (LOURENÇO e CASTILHOS, 2020; VERGÍLIO et al., 2020; FEAM, 2020).

A comunidade local precisa ter informações de fácil entendimento sobre os efeitos desta mudança no meio ambiente e de riscos associados à sua saúde. A Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH) e Avaliação de Riscos Ecológicos (ARE) são metodologias que estruturam estas questões (USEPA, 1989).

Para a caracterização da fonte foram consultados estudos (GOMES, 2009; WOLFF, 2009) que caracterizam os rejeitos da Barragem I como predominantemente de partículas finas (de 10 a 100 µm), ultrafinas (de 10 a 1 µm) e coloidais (menor do que 1 µm). Esta característica de partículas muito pequenas dentro das barragens da Mina Córrego do Feijão é resultado do processo mineral onde o rejeito final, constituído predominantemente por partículas finas, era bombeado para a Barragem I (GOMES, 2009).

Este material sólido constituído de partículas finas, oriundo da Barragem I e também das outras duas barragens situadas à sua jusante, encontra-se agora disponível sobre o solo, soterrando o Ribeirão Ferro-Carvão até sua confluência com o rio Paraopeba. Nesta área encontram-se as comunidade tradicionais. A transferência deste material particulado fino para a atmosfera, por ação dos ventos, é um cenário realista e por isto, a via inalatória foi inserida no Modelo Conceitual de Exposição e deve integrar a ARSH.

A retenção de partículas inaladas no pulmão humano é um importante determinante de risco à saúde. Está associada ao aparecimento de problemas respiratórios. De particular preocupação são as partículas finas (<10µm), que são facilmente inaladas e atingem as mais profundas estruturas do sistema respiratório. Um determinante chave do risco para a saúde por exposição inalatória a partículas é a quantidade retida no pulmão após a inalação. Diversos aspectos físicos e fisiológicos influenciam o local onde as partículas de um determinado tamanho se depositam. Assim, o impacto do material particulado no sistema respiratório é feito pela análise de distribuição de partículas em estruturas pulmonares e da dose. O programa gratuito MPPD Multiple-Path Particle Dosimetry Model é uma ferramenta útil de última geração para estimar com precisão o local de deposição de partículas atmosféricas no sistema respiratório humano (MANOJKUMAR, 2019; FIGUEIRÊDO, 2018;).

## 2. Objetivos

O objetivo do trabalho é apresentar o modelo conceitual de exposição ambiental humana a rejeitos de mineração de ferro pós-rompimento de barragem e resultados preliminares de estimativa de deposição de partículas no pulmão por exposição inalatória utilizando o programa MPPD.

## 3. Material e Métodos

### 3.1 Modelo de Dosimetria de Partículas de Caminhos Múltiplos (MPPD) (Inputs)

O programa MPPD calcula a deposição e depuração de aerossóis monodispersos e polidispersos no trato respiratório de animais de laboratório e adultos e crianças (apenas deposição) para partículas que variam em tamanho de ultrafino (1 nm) a grosso (100 µm). Primeiramente foi realizado um estudo do programa para se conhecer todos os fatores de entrada (inputs) necessários e posteriormente, foram selecionados valores com base em dados primários e de literatura disponíveis.

### 3.2 Visita técnica à Estações de monitoramento de qualidade do ar em Brumadinho-MG

Em janeiro de 2020 foram visitadas três estações de monitoramento da qualidade do ar nas seguintes localidades: Córrego do Feijão, Parque Cachoeiras e no centro da cidade de Brumadinho. As estações monitoram partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (PM10), partículas respiráveis (PM2,5), Segundo a FEAM (2020), além do monitoramento quantitativo, nas estações convencionais também serão realizadas análises químicas e morfológicas das partículas. Porém estes dados não estão disponíveis no site.

## 4. Resultados e Discussão

O Modelo Conceitual de Exposição humana a rejeitos de barragem de ferro pós-rompimento de barragem (Figura 1) foi concebido após a revisão bibliográfica das características físico-químicas e mineralógicas do rejeito e presença de população, após a caracterização da fonte, etapa 1 da avaliação de riscos à SH.

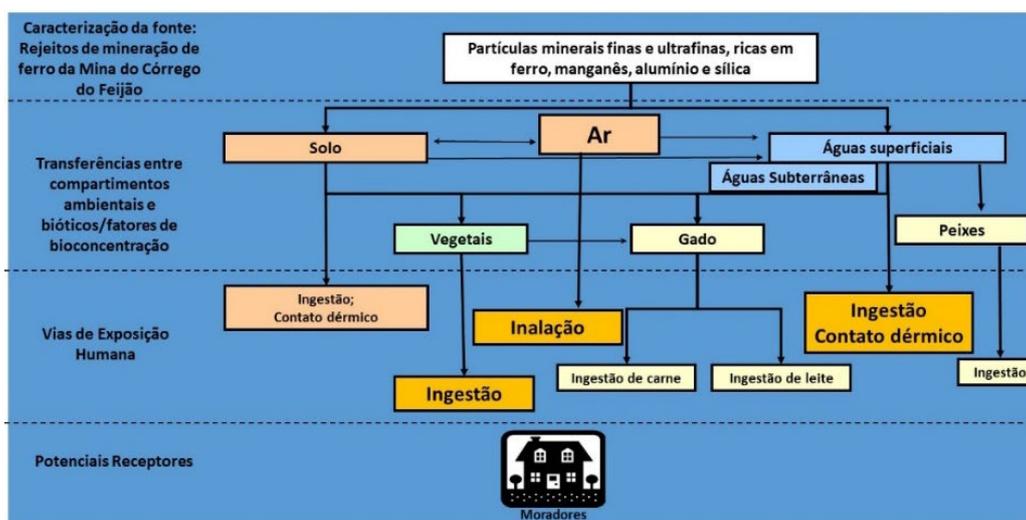


Figura 1. Modelo conceitual de Exposição Ambiental, em cenário pós-rompimento de barragem de ferro.

Os dados de entrada no MPPD são divididos em três etapas: morfologia das vias aéreas, propriedades das partículas e cenário da exposição. Para morfologia das vias aérea foi escolhida a da espécie humana e para a geometria do pulmão humano foi selecionada a de adulto jovem. Outros parâmetros são a capacidade residual funcional (FRC) que é definida como o volume do pulmão no final de uma expiração normal e o volume do trato respiratório superior (URT) que é o volume do trato respiratório da narina ou da boca até a faringe. A cavidade oral e as passagens nasais ocupam o mesmo volume. Como propriedades da partícula, a distribuição foi assumida como monodispersa (esféricas e com o mesmo diâmetro, podendo variar a densidade). Nos cenários foi escolhido o de exposição constante, onde a frequência respiratória e o volume corrente são fixados para determinada concentração de material particulado. Os valores de frequência respiratória, do volume do trato respiratório e do volume corrente seguem as recomendações do modelo. Finalmente, foi assumida somente exposição nasal.

A Tabela 1 apresenta os valores de entrada para o modelo MPPD.

Tabela 1. Valores de entrada para o modelo MPPD.

<b>Entrada</b>	<b>Valor</b>
Morfologia das vias aéreas	
Espécie/ Geometria	Humano, Age-specific Symmetric
FRC *	2792,57 ml
URT*	42,27 ml
Propriedades da partícula	
Densidade	1 g/cm <sup>3</sup> e 3,5 g/cm <sup>3</sup>
Diâmetro	2,5 µm e 10 µm
Forma	Esférica
Cenário de exposição	
Concentração	0,052 mg/m <sup>3</sup> (MP2,5) e 0,331 mg/m <sup>3</sup>
Frequência respiratória *	14/minute
Volume Tidal*	477,2
Fração respiratória*	0,5
Fração de pausa respiratória*	0
Tipo de respiração	Nasal

\*Valor sugerido do modelo; MP=Material Particulado

Para os valores de densidade da partícula foram considerados os determinados pelo método da EMBRAPA (TEIXEIRA et al.; 2017) na caracterização do material coletado na época do rompimento em três áreas afetadas (zona quente no Córrego do Feijão, Alberto Flores e Parque Cachoeiras) (LOURENÇO & CASTILHOS, 2019).

A média da densidade da partícula foi de 3,5 g/cm<sup>3</sup> (N= 15). Outra opção escolhida foi a sugerida no modelo, de 1g/cm<sup>3</sup>. Esta opção foi escolhida para avaliar a influência da densidade na deposição preferencial das partículas nos pulmões.

Devido a indisponibilidade de dados sobre a qualidade do ar na cidade de Brumadinho, até o momento desta publicação, a entrada de valores sobre concentração de material particulado (PM 2,5 e PM 10) foi realizada com os dados disponíveis de Barra Longa - MG no ano de 2016, sob o impacto do rompimento da Barragem de Fundão, de minério de ferro da Samarco/Vale S.A/HP Billiton. Foram utilizados dados do Relatório da campanha de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia no mês de outubro/2016 em Barra Longa-MG (FUNDAÇÃO RENOVA, 2016).

Os resultados de deposição de partículas de diferentes diâmetros (2,5 µg e de 10 µg), de diferentes densidades (1,0 g/cm<sup>3</sup> e 3,5 g/cm<sup>3</sup>) e em distintas estruturas do sistema respiratório humano gerados pelo programa MPPD são apresentados na Tabela 2.

Os resultados gerados pelo programa MPPD mostram que para partículas de 2,5 µm com uma concentração de 0,052 mg/m<sup>3</sup> e densidade 1,0 g/cm<sup>3</sup> é verificado que a fração de deposição na região da cabeça do pulmão (0,4094) é similar à deposição no pulmão (0,3120), sendo a região a região traqueo-bronquial com o menor nível de deposição (0,0500).

Tabela 2. Resultados de fração depositada de partículas.

Parâmetros	Total	Fração depositada		
		Cabeça do Pulmão	Região traqueo-bronquial	Pulmão
Deposição de partículas de 2,5 µm com uma concentração de 0,052 mg/m <sup>3</sup> e densidade 1,0 g/cm <sup>3</sup> para a região pulmonar.	0,7714	0,4094	0,0500	0,3120
Deposição de partículas de 2,5 µm com uma concentração de 0,052 mg/m <sup>3</sup> e densidade 3,5 g/cm <sup>3</sup> para a região pulmonar.	0,9580	0,7025	0,0631	0,19230
Deposição de partículas de 10 µm com uma concentração de 0,331 mg/m <sup>3</sup> e densidade 3,5 g/cm <sup>3</sup> .	0,7684	0,7647	3,7x 10 <sup>3</sup>	3,2 x10 <sup>-6</sup>

Para partículas de 2,5 µm com uma concentração de 0,052 mg/m<sup>3</sup> e densidade 3,5 g/cm<sup>3</sup> observa-se maior fração de deposição na região da cabeça do pulmão (0,7025), seguida pela região do pulmão (0,19230) e a região traqueo-bronquial com menor nível de deposição (0,0631).

O incremento de densidade em MP 2,5 causa maior deposição (0,7714 e em 0,9580 para as densidades de 1,0 g/cm<sup>3</sup> e 3,5 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente) e maior fração na cabeça do pulmão, mas mantem frações similares às observadas para a menor densidade, nas regiões do pulmão e traqueo-bronquial.

Para as partículas de 10 µm com uma concentração de 0,331 mg/m<sup>3</sup> e densidade 3,5 g/cm<sup>3</sup>, verifica-se nos resultados de fração de deposição, a tendência de deposição quase exclusivamente na região da cabeça do pulmão (0,7647), seguida por frações quase insignificantes na região traqueo-bronquial ( $3,7 \times 10^3$ ) e pulmão ( $3,2 \times 10^{-6}$ ).

Os resultados gerados pelo programa MPPD mostram que tamanho e densidade das partículas influenciam na fração depositada no sistema respiratório, sendo que as menores partículas são preferencialmente depositadas nas estruturas mais internas do sistema pulmonar. Partículas com maior densidade incrementam a deposição, com maior fração na cabeça do pulmão, mas mantem frações similares às observadas para a menor densidade nas regiões do pulmão e traqueo-bronquial.

Considerando o material disposto sobre os solos a partir do rompimento de barragem de mineração de ferro como fonte de partículas finas com alta densidade, o cenário de exposição ambiental crônica por inalação apresenta-se como importante de ser avaliado. Esta modelagem permite ainda, posterior dosimetria que, associada à informação sobre a solubilidade e teores de metais como ferro, alumínio e manganês na partícula e também de teor de sílica, auxiliarão na estimativa de efeitos tóxicos consequentes à inalação e deposição pulmonar.

## 5. Conclusão

A aplicação do modelo foi possível pela definição dos parâmetros de entrada e seleção preliminar de valores específicos do cenário de exposição crônica a rejeitos de mineração de ferro pós-rompimento de barragem.

O MPPD demonstrou que concentração, densidade e tamanho de partícula influenciam a deposição diferencial no sistema respiratório, sendo que a densidade incrementa a deposição de partículas finas, sendo uma variável especialmente importante no cenário de exposição ambiental crônica a particulado fino de rejeitos de minério de ferro pós-rompimento de barragem.

Importante ressaltar que o decréscimo nas incertezas nos resultados obtidos neste trabalho, de abordagem preliminar, será possível a partir da disponibilização de dados de qualidade do ar nas áreas monitoradas em Brumadinho.

A avaliação de riscos à saúde humana requer que os dados sejam difundidos para conhecimento ("right-to-know") das comunidades potencialmente afetadas (Waker et al., 2020). Assim, em conformidade com os objetivos desta pesquisa, os resultados são encaminhados também às instituições locais de Brumadinho como subsídio para discussões sobre os impactos ambientais pelo rompimento da Barragem I, da VALE S.A.

## 6. Agradecimentos

A autora agradece ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) pela infraestrutura, ao Programa Institucional de Bolsa de Capacitação Institucional – PCI/CNPq pela concessão da bolsa, à supervisora Dra. Zuleica Carmem Castilhos e a todas e todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

## 7. Referências Bibliográficas

EDWARDS, S. J.; WALKER, T.R.; An overview of Canada's National Pollutant Release Inventory program as a pollution control policy tool, **Journal of Environmental Planning and Management**, 63:6, 1097-1113, 2020 DOI: 10.1080/09640568.2019.1634525.

FEAM. Caderno 1 ano - **Rompimento das Barragens da VALE em Brumadinho**. Disponível em: <[http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2020/ACOES\\_RECUPERACAO\\_PARAOPEBA/Caderno\\_1\\_ano\\_-\\_Rompimento\\_das\\_barragens\\_de\\_Brumadinho.pdf](http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2020/ACOES_RECUPERACAO_PARAOPEBA/Caderno_1_ano_-_Rompimento_das_barragens_de_Brumadinho.pdf)> Acesso em: outubro 2020.

FUNDAÇÃO RENOVA, **Relatório da campanha de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia no mês de outubro/2016 e análise química das partículas totais em suspensão em Barra Longa-MG - RTC160238 Barra Longa – MG Novembro de 2016** Disponível em: <<https://www.fundacaorenova.org/noticia/barra-longa-conta-com-monitoramento-automatico-da-qualidade-do-ar/>> Acesso em: outubro de 2020.

GAONA, F.J.M.; **Efeitos das condições ambientais nas doenças respiratórias em crianças menores de 2 anos na grande São Paulo durante o período 2003-2006**. 2017. 143 f. Tese (Doutor em Ciências) Universidade de São Paulo.

GOMES, M. A.; **Caracterização tecnológica no aproveitamento do rejeito de minério de ferro**. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

LOURENÇO, R.; CASTILHOS, Z.; CESAR, R. Avaliação ecotoxicológica de material sólido disposto sobre os solos e sistemas hídricos após rompimento da barragem I, da vale S.A., em Brumadinho (MG) XXVIII **Jornada de Iniciação Científica e IV Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação CETEM RJ 2020**.

MANOJKUMAR N, SRIMURUGANANDAM B, SHIVA NAGENDRA SM. Application of multiple-path particle dosimetry model for quantifying age specified deposition of particulate matter in human airway. **Ecotoxicol Environ Saf**. 2019 Jan 30; 168:241-248. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.10.091. Epub 2018 Oct 30. PMID: 30388542.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176634/1/Densidade-particulas.pdf>> EMBRAPA. Brasília. 2017. Acessado em: out 2019.

VERGILIO, C.D.S., LACERDA, D., OLIVEIRA, B.C.V.D. et al. Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). **Sci Rep** 10, 5936 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62700-w>

WOLFF, A. P.; **Caracterização de rejeitos de minério de ferro de minas da Vale**. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.