



**Giuliano Marchi**

Engenheiro Agrônomo, com Mestrado e Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Lavras - UFLA. Realizou parte de seus estudos de Doutorado com mobilidade de elementos-traço em solos na *University of California at Riverside*. Sua Tese de Doutorado foi condecorada com Menção Honrosa concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, como uma das 3 melhores Teses defendidas na Área de Ciências Agrárias no Brasil, em 2005. Concluiu seu Pós-Doutorado na Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, também estudando elementos-traço, em 2007. Recentemente aprovado em concurso na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, aguarda sua convocação pela Embrapa Cerrados para trabalhar na área de Sistemas de Produção Sustentáveis.



**ANDA**  
**Associação Nacional para Difusão de Adubos**  
**Praça Dom José Gaspar, 30 • 9º andar**  
**São Paulo • SP • Brasil • 01047-901**  
**www.anda.org.br**  
**Tel.: 3218-2800**

**METAIS EM FERTILIZANTES INORGÂNICOS • AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE APÓS A APLICAÇÃO**

**Luiz Roberto Guimarães Guilherme & Giuliano Marchi**

# METAIS EM FERTILIZANTES INORGÂNICOS



## AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE APÓS A APLICAÇÃO



**Luiz Roberto Guimarães Guilherme**

Engenheiro Agrônomo, com Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas pela ESAL (Universidade Federal de Lavras – UFLA) e Ph.D. em Ciência do Solo pela *Michigan State University* (EUA) e em Toxicologia Ambiental pelo *Center for Integrative Toxicology at MSU* (EUA). Estuda o comportamento de elementos-traço (metais pesados) no ambiente há cerca de 15 anos, tendo orientado 10 acadêmicos de Mestrado e 8 de Doutorado e realizado Estágios Pós-Doutorais nesta área de estudo na *University of California at Riverside*, *UCR* (EUA) e no *Institute National de la Recherche Agronomique, INRA d'Orléans* (França). É Pesquisador Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq e Professor Associado do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras.



Tradução e adaptação do original preparado por:  
**The Fertilizer Institute (TFI)**

**Luiz Roberto Guimarães Guilherme & Giuliano Marchi**

# **METAIS EM FERTILIZANTES INORGÂNICOS**



**AVALIAÇÃO DE RISCO  
À SAÚDE APÓS A APLICAÇÃO**

**Tradução e adaptação do original preparado por:  
The Fertilizer Institute (TFI)**



Esta publicação representa um importante marco divisório para a história da indústria de fertilizantes, senão para todo o agronegócio brasileiro.

Abandonamos uma questionável postura reativa, onde respondíamos aos questionamentos – muitas vezes infundados e, ou, tecnicamente discutíveis – de uma sociedade ávida de informações, para assumirmos uma desejada posição pró-ativa.

Procuramos antecipar os anseios e demandas da coletividade. Investimos: tempo, recursos e sobretudo talento, na tecnificação de conhecimento científico sobre tudo aquilo que os fertilizantes devem ter e acima de tudo, sobre aquilo que não devem ter.

A tradução, adaptação e publicação do trabalho do TFI (The Fertilizer Institute, Washington, D.C. – Estados Unidos) intitulado “Metais em fertilizantes inorgânicos: avaliação de risco à saúde após a aplicação” é o exemplo material dessa nova postura pró-ativa do setor de fertilizantes.

Ao comemorarmos 40 anos de existência, a ANDA Associação Nacional para Difusão de Adubos se sente orgulhosa em poder presentear cientistas, agrônomos, técnicos e legisladores como um modelo de avaliação de risco que vai permitir seja abandonado o “achismo” e, ingressando assim, nos estudos científicos e acurados dos fertilizantes e de toda a cadeia do agronegócio responsável pela segurança alimentar.

Coincidindo com o início da aplicação da Instrução Normativa 27 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento que dispõe sobre os limites máximos de metais pesados que podem conter os fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, esse trabalho será ferramenta fundamental para o acompanhamento da evolução da qualidade dos produtos produzidos, importados ou comercializados no Brasil.

No mundo do agronegócio, que precisa ser internacionalmente competitivo, conceitos como rastreabilidade e avaliação de riscos, são pontos de partida fundamentais para quem quer se estabelecer e crescer.

A ANDA, que na sua história pioneira materializou os conceitos de Campos de Demonstração e seus conseqüentes Dias de Campo, ao iniciar os próximos 40 anos, vem com essa obra dar o primeiro passo na busca do equilíbrio entre os três vértices do futuro triângulo do agronegócio brasileiro, harmonizando: o economicamente viável, o ambientalmente sustentável e o socialmente responsável.

Mario A. Barbosa Neto  
Presidente da ANDA



### **METAIS EM FERTILIZANTES INORGÂNICOS: AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE APÓS A APLICAÇÃO**

**Luiz Roberto Guimarães Guilherme<sup>1</sup> & Giuliano Marchi<sup>2</sup>**

O presente trabalho constitui-se de uma tradução e adaptação do original intitulado Health Risk Evaluation of Select Metals in Inorganic Fertilizers Post Application preparado por The Weinberg Group Inc. para o The Fertilizer Institute (TFI), em janeiro de 2000, ao qual foi acrescentado um estudo de caso envolvendo dados do Brasil.<sup>3</sup>

A parte inicial deste trabalho trata basicamente da tradução do documento original do TFI e visa demonstrar como o desenvolvimento de uma ferramenta de referência flexível baseada em risco pode ser utilizado para se avaliar dados relativos à presença de elementos-traço (aqui denominados, para efeito de simplificação, metais pesados, ou, simplesmente, metais) em fertilizantes, no intuito de saber se a utilização destes produtos na agricultura representa ou não um risco à saúde humana. Ao invés de fazer um cálculo direto do risco proveniente da utilização de um determinado produto que contenha um metal específico, este trabalho busca, porém, estimar aquela concentração de um metal específico que poderia ser considerada segura em um fertilizante. Com isso, esta avaliação de risco calcula uma “concentração baseada em risco” (RBC) para cada metal, a qual tem validade em termos de gerência de riscos e estabelecimento de padrões de regulamentação considerados seguros e protetores da saúde.

Como esta parte inicial trata basicamente de um cenário adaptado à situação de uso de fertilizantes e padrões de exposição populacional dos Estados Unidos da América, procura-se, a seguir, elaborar uma avaliação de risco para alguns metais em fertilizantes dentro de um cenário considerado mais compatível com a realidade do Brasil. Neste contexto, levantaram-se junto aos órgãos oficiais ligados ao setor de fertilizantes brasileiros, bem como na literatura especializada, parâmetros utilizados no cálculo do risco que retratassem um cenário o mais próximo possível da realidade brasileira. O escopo do trabalho, porém, é o mesmo do documento original do TFI, o qual é respaldado por estudos semelhantes realizados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA).

No estudo de caso brasileiro, estimativas populacionais, incluindo aquelas pertinentes ao consumo de alimentos pela população brasileira, foram derivadas de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Outros padrões de exposição – considerados não específicos da população brasileira – foram derivados de trabalhos clássicos da USEPA sobre Avaliação de Risco à Saúde Humana. Padrões de consumo de fertilizantes foram derivados de estatísticas de consumo por região e por produtos disponíveis para o Brasil e, ou, foram extraídos da literatura especializada. Da mesma forma, parâmetros fundamentais para se avaliar a capacidade de acumulação de metais em solos brasileiros – o que afeta sobremaneira a avaliação de risco – foram buscados nos dados disponíveis da

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Ph.D., Professor Associado do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. guilherm@ufla.br.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, M.Sc., D.Sc. giuliano\_marchi@yahoo.com.

<sup>3</sup> Os autores agradecem sugestões e comentários recebidos de Alfredo Scheid Lopes, Mario Sérgio Martins de Sena e Milton de Sousa, os quais permitiram aprimorar o texto deste trabalho.

literatura especializada. Dados pertinentes à acumulação de metais em plantas em estudos realizados no Brasil foram também compilados, mas não se mostraram muito diferentes daqueles utilizados pelo TFI, o que possivelmente se deve ao fato da base de dados utilizada no documento original ter sido originada de uma exaustiva coleta de informações na literatura internacional e de ter coberto uma ampla gama de situações de uso e manejo de solo.

Vale ressaltar que os dados pertinentes à acumulação de metais em solos e em plantas são, juntamente com o a estimativa de consumo de fertilizantes, aqueles que mais afetam o cálculo da concentração baseada no risco. Daí a importância de se buscar esses dados dentro de bases de dados nacionais para se construir um cenário de exposição mais apropriado ao Brasil.

A seção final deste trabalho constitui-se em uma tentativa pioneira de estabelecimento de valores orientadores (concentrações baseadas em risco) para concentração de metais em fertilizantes inorgânicos no Brasil, visando sugerir limites (baseados em uma avaliação de risco à saúde) que possam ser utilizados como orientação inicial para fins reguladores, tendo como objetivo a proteção da saúde humana no cenário atual de uso de fertilizantes no Brasil.

Na seção final, os valores das concentrações baseadas em risco (RBCs) calculadas para alguns metais em fertilizantes brasileiros são comparados com os dados de concentração de metais em fertilizantes existentes na literatura especializada e, ou, provenientes de análises realizadas pelo setor de fertilizantes (indústria), bem como com os valores da recente Instrução Normativa que estabelece limites máximos permissíveis para alguns metais pesados em fertilizantes comercializados no Brasil.

Os resultados apresentados para o cenário brasileiro, levando-se em consideração os dados levantados e disponíveis até o momento para a avaliação de risco, indicam que os metais não causam danos à saúde humana após a aplicação de fertilizantes inorgânicos no Brasil. Sugerem ainda que os limites equivalentes às RBCs (nesta avaliação de risco) que são atualmente estabelecidos pela legislação brasileira podem ser considerados seguros do ponto de vista da avaliação de risco à saúde no cenário de pós-aplicação de fertilizantes inorgânicos.



<b>PREFÁCIO</b>	<b>3</b>
<b>APRESENTAÇÃO</b>	<b>5</b>
<b>SUMÁRIO EXECUTIVO</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>SEÇÃO 1.0 – DEFININDO O ESCOPO DESTA AVALIAÇÃO</b>	<b>19</b>
• Seleção de Fertilizantes Representativos	19
• Seleção de Metais Potencialmente Perigosos (MOPC)	21
• Seleção dos cenários de Exposição para Proteção da Saúde	23
• Sumário do Escopo	27
<b>SEÇÃO 2.0 – GERAÇÃO DE CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCS)</b>	<b>35</b>
• Equação de Concentração Baseada em Risco (RBC)	35
• Risco de Câncer Aceitável (TR) ou índice de Perigo Aceitável (THI)	37
• Parâmetros do Fator de Aporte Sumário (SIF)	37
• Taxa de Aplicação (AR) e Fração de Nutriente (FON)	42
• Fator de Acumulação no Solo (SACF)	42
• Fatores de Absorção pelas Plantas (PUFS)	46
• Avaliação de Toxicidade	48
<b>SEÇÃO 3.0 – APRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCS) PARA METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCS)</b>	<b>57</b>
<b>SEÇÃO 4.0 – AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE POR NÍVEIS ORIENTADORES: COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCS) COM AS CONCENTRAÇÕES DOS METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCS) EM PRODUTOS FERTILIZANTES</b>	<b>63</b>
• Resultados	64
<b>SEÇÃO 5.0 – GERAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO BASEADA EM RISCO (RBC) PARA O RADIONUCLÍDEO (RÁDIO 226) E AVALIAÇÃO DE NÍVEIS ORIENTADORES PARA A SAÚDE: COMPARAÇÃO DA RBC COM OS DADOS DOS PRODUTOS</b>	<b>77</b>
• Toxicidade Relativa	77
• Concentração Relativa em um Produto	77
• Avaliações Precedentes	77
• Geração da Concentração Baseada em Risco (RBC)	78
<b>SEÇÃO 6.0 – DISCUSSÃO DAS INCERTEZAS</b>	<b>81</b>
• Escopo da Avaliação	81
• Geração da Concentração Baseada em Risco (RBC)	82
• Análise Completa da Incerteza na RBC e Avaliação de Níveis Orientadores de Risco à Saúde	84
<b>SEÇÃO 7.0 – CONCLUSÕES DA AVALIAÇÃO</b>	<b>89</b>

<b>SEÇÃO 8.0 – COMPARAÇÃO A OUTRAS AVALIAÇÕES</b>	<b>91</b>
• Proposta e Abordagem Geral	91
• Escopo	92
• Parâmetros Chave	92
• Conclusão a Respeito da Determinação de Risco	94
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>100</b>
<b>GLOSSÁRIO</b>	<b>103</b>
<b>SEÇÃO FINAL – AVALIAÇÃO DE RISCO DE METAIS EM FERTILIZANTES NO CENÁRIO BRASILEIRO</b>	<b>107</b>
• Parâmetros Utilizados na Geração de Concentrações Baseadas em Risco (RBCs) no Cenário Brasileiro	107
• Apresentação das Concentrações Baseadas em Risco (RBCs) no Cenário Brasileiro e Comparação com os Valores do TFI	112
• Comparação das Concentrações Baseadas em Risco com as Concentrações dos Metais Potencialmente Perigosos em Fertilizantes no Cenário Brasileiro	115
• Comparação das Concentrações Baseadas em Risco do Cenário Brasileiro com a Legislação Vigente (Instrução Normativa nº 27, de 05/06/2006)	126
• Considerações Finais	127
• Referências (literatura citada para o estudo do cenário brasileiro)	128
<b>LISTA DE APÊNDICES</b>	
<b>APÊNDICE A – DESENVOLVIMENTO DO FATOR RELATIVO DE ABSORÇÃO (RAF) E DO FATOR DE ABSORÇÃO DERMAL (ABS)</b>	<b>130</b>
<b>APÊNDICE B – BASE DE DADOS DA TAXA DE APLICAÇÃO COMPILADA DA USEPA (1999) E CÁLCULO DAS TAXAS DE APLICAÇÃO PARA FERTILIZANTES FOSFATADOS E ZINCO</b>	<b>134</b>
<b>APÊNDICE C – COLEÇÃO DE DADOS E SUMÁRIO DA ESTATÍSTICA PARA FATORES DE ABSORÇÃO PELA PLANTA (PUFS)</b>	<b>139</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	
<b>TABELA 1 – SELEÇÃO DE PRODUTOS FERTILIZANTES REPRESENTATIVOS: CONSIDERAÇÃO DE USO NOS EUA, TAXA DE APLICAÇÃO, PORCENTAGEM DE NUTRIENTE NO PRODUTO E CONCENTRAÇÃO RELATIVA DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCS)</b>	<b>28</b>
<b>TABELA 2 – SELEÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCS): CONSIDERAÇÃO DA TOXICIDADE RELATIVA, CONCENTRAÇÃO RELATIVA DO PRODUTO E PRECEDÊNCIA DE AVALIAÇÃO</b>	<b>30</b>
<b>TABELA 3 – SELEÇÃO DE CENÁRIOS REPRESENTATIVOS E PROTETORES DA SAÚDE</b>	<b>31</b>
<b>TABELA 4 – SELEÇÃO DE GRUPOS DE CULTURAS REPRESENTATIVAS E PROTETORAS DA SAÚDE</b>	<b>32</b>
<b>TABELA 5 – VALORES, DESCRIÇÕES E REFERÊNCIAS PARA PARÂMETROS DE EXPOSIÇÃO BIOLÓGICA (A)</b>	<b>51</b>
<b>TABELA 6 – TAXAS DE APLICAÇÃO (ARS) PARA FERTILIZANTES FOSFATADOS E FERTILIZANTES CONTENDO ZINCO COMO MICRONUTRIENTE</b>	<b>52</b>

<b>TABELA 7</b> – PARÂMETROS USADOS PARA CALCULAR OS FATORES DE ACUMULAÇÃO NO SOLO (SACFS) _____	<b>52</b>
<b>TABELA 8</b> – FATORES DE ACUMULAÇÃO NO SOLO (SACFS) _____	<b>53</b>
<b>TABELA 9</b> – FATORES DE ABSORÇÃO PELA PLANTA (PUFS) PARA CADA GRUPO DE CULTURAS _____	<b>54</b>
<b>TABELA 10</b> – VALORES DE TOXICIDADE ORAL E DÉRMICA _____	<b>55</b>
<b>TABELA 11</b> – SUMÁRIO DE TODOS OS PARÂMETROS E SUPOSIÇÕES USADAS PARA CALCULAR OS FATORES DE APORTE PRIMÁRIO (SIFS) (A) _____	<b>58</b>
<b>TABELA 12</b> – FATORES DE APORTE SUMÁRIO (SIFS) (A) _____	<b>59</b>
<b>TABELA 13</b> – PARÂMETROS (SACF, AR, PUF, FOL E VALORES DE TOXICIDADE) USADOS PARA CALCULAR AS CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCS) (A,B) _____	<b>60</b>
<b>TABELA 14</b> – CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO ( RBCS) UNITÁRIAS (A) PARA TODOS OS CENÁRIOS _____	<b>61</b>
<b>TABELA 15</b> – ESTIMATIVA DA FRAÇÃO DE NUTRIENTES (FON) PERCENTUAL PARA CATEGORIAS DE PRODUTOS FERTILIZANTES FOSFATADOS _____	<b>65</b>
<b>TABELA 16</b> – ESTIMATIVA DA FRAÇÃO DE NUTRIENTES (FON) PERCENTUAL PARA CATEGORIA DE PRODUTOS FERTILIZANTES MICRONUTRIENTES _____	<b>66</b>
<b>TABELA 17</b> – AVALIAÇÃO DE NÍVEIS ORIENTADORES: COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCS) EM FERTILIZANTES FOSFATADOS COM A CONCENTRAÇÃO BASEADA EM RISCO (RBC) AJUSTADA _____	<b>67</b>
<b>TABELA 18</b> – AVALIAÇÃO DE NÍVEIS ORIENTADORES: COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCS) EM FERTILIZANTES CONTENDO MICRONUTRIENTES COM A CONCENTRAÇÃO BASEADA EM RISCO (RBC) AJUSTADA _____	<b>74</b>
<b>TABELA 19</b> – PRINCIPAIS SUPOSIÇÕES E INCERTEZAS ASSOCIADAS COM AS CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCS) E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE POR NÍVEIS ORIENTADORES _____	<b>85</b>
<b>TABELA 20</b> – MAGNITUDE DO IMPACTO RELATIVO ASSOCIADO COM CADA PARÂMETRO NA EQUAÇÃO DE RISCO _____	<b>87</b>
<b>TABELA 21</b> – COMPARAÇÃO DA PROPOSTA, ABORDAGEM GERAL E ESCOPO DESTA AVALIAÇÃO COM A ANÁLISE DE RISCO DE FERTILIZANTES INORGÂNICOS DA USEPA (1999b) E COM O DESENVOLVIMENTO DE CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCS) DA CDFA (1998) PARA ARSÊNIO, CÁDMIO E CHUMBO _____	<b>95</b>
<b>TABELA 22</b> – COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS-CHAVE USADOS NESTA AVALIAÇÃO COM OS PARÂMETROS USADOS NA ANÁLISE DE RISCO DE FERTILIZANTES INORGÂNICOS DA USEPA (1999b) E NO CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCS) DA CDFA (1998) PARA ARSÊNIO, CÁDMIO E CHUMBO _____	<b>96</b>
<b>TABELA 23</b> – COMPARAÇÃO DOS FATORES DE ABSORÇÃO PELA PLANTA (PUFS) USADOS NESTA AVALIAÇÃO COM OS PUFs DESENVOLVIDOS NA ANÁLISE DE RISCO DE FERTILIZANTES INORGÂNICOS DA USEPA (1999b) E NO DESENVOLVIMENTO DE CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCS) DA CDFA (1998) PARA ARSÊNIO, CÁDMIO E CHUMBO _____	<b>97</b>
<b>TABELA 24</b> – COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCS) EM PRODUTOS FERTILIZANTES FOSFATADOS USADOS NESTA AVALIAÇÃO COM AS CONCENTRAÇÕES USADAS NA ANÁLISE DE RISCO EM FERTILIZANTES INORGÂNICOS DA USEPA (1999b) _____	<b>98</b>
<b>TABELA 25</b> – COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCS) EM PRODUTOS FERTILIZANTES CONTENDO MICRONUTRIENTES USADOS NESTA AVALIAÇÃO COM AS CONCENTRAÇÕES USADAS NA ANÁLISE DE RISCO DE FERTILIZANTES INORGÂNICOS DA USEPA (1999b) _____	<b>99</b>

<b>TABELA 26</b> – CONJUNTO DE DADOS COMPILADOS PARA TAXAS DE APLICAÇÃO (AR) DE FERTILIZANTES FOSFATADOS NO CENÁRIO BRASILEIRO: CULTURAS DE GRÃOS _____	<b>109</b>
<b>TABELA 27</b> – CONJUNTO DE DADOS COMPILADOS PARA TAXAS DE APLICAÇÃO (AR) DE FERTILIZANTES FOSFATADOS NO CENÁRIO BRASILEIRO: CULTURAS DE RAÍZES _____	<b>109</b>
<b>TABELA 28</b> – CONJUNTO DE DADOS COMPILADOS PARA TAXAS DE APLICAÇÃO (AR) DE FERTILIZANTES FOSFATADOS NO CENÁRIO BRASILEIRO: CULTURAS DE VEGETAIS _____	<b>110</b>
<b>TABELA 29</b> – SUMÁRIO ESTATÍSTICO PARA CONJUNTOS DE DADOS DE Kd (L kg-1) PARA CADA METAL POTENCIALMENTE PERIGOSO (MOPC) NO CENÁRIO BRASILEIRO _____	<b>111</b>
<b>TABELA 30</b> – SUMÁRIO ESTATÍSTICO PARA CONJUNTOS DE DADOS DE FATOR DE ABSORÇÃO PELA PLANTA (PUF) PARA CADA GRUPO DE CULTURAS E METAL POTENCIALMENTE PERIGOSO (MOPC) NO CENÁRIO BRASILEIRO _____	<b>113</b>
<b>TABELA 31</b> – CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCs) UNITÁRIAS (a) PARA O CENÁRIO BRASILEIRO _____	<b>114</b>
<b>TABELA 32</b> – COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM FERTILIZANTES FOSFATADOS COM A CONCENTRAÇÃO BASEADA EM RISCO (RBC) UNITÁRIA - CENÁRIO BRASILEIRO _____	<b>116</b>
<b>TABELA 33</b> – COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM FERTILIZANTES CONTENDO MICRONUTRIENTES COM A CONCENTRAÇÃO BASEADA EM RISCO (RBC) UNITÁRIA - CENÁRIO BRASILEIRO _____	<b>119</b>
<b>TABELA 34</b> – CONCENTRAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM FERTILIZANTES FOSFATADOS - CENÁRIO BRASILEIRO _____	<b>121</b>
<b>TABELA 35</b> – CONCENTRAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM FERTILIZANTES MICRONUTRIENTES PARA ZINCO - CENÁRIO BRASILEIRO _____	<b>125</b>

## LISTA DE FIGURAS

---

<b>FIGURA 1</b> – AVALIAÇÃO DE RISCO NO CICLO DE VIDA DOS FERTILIZANTES INORGÂNICOS _____	<b>17</b>
<b>FIGURA 2</b> – DELIMITANDO O ESCOPO DESTA AVALIAÇÃO DE NÍVEIS ORIENTADORES – ENFOCANDO OS PRODUTOS FERTILIZANTES, METAIS E CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO DE MAIOR PREOCUPAÇÃO _____	<b>33</b>
<b>FIGURA 3</b> – VIAS DE EXPOSIÇÃO POTENCIAIS DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM FERTILIZANTES INORGÂNICOS APÓS A APLICAÇÃO INCLUEM: VIAS DE TRANSPORTE, MEIO DE EXPOSIÇÃO POTENCIAL E ROTAS DE EXPOSIÇÃO ASSOCIADAS _____	<b>34</b>

## LISTA DE EQUAÇÕES

---

<b>EQUAÇÃO 1.0</b> – RBC PARA UMA PROPRIEDADE AGRÍCOLA COM UM GRUPO DE CULTURAS _____	<b>36</b>
<b>EQUAÇÃO 2.0</b> – A RBC PARA PROPRIEDADES AGRÍCOLAS COM VÁRIOS GRUPOS DE CULTURAS _____	<b>37</b>
<b>EQUAÇÃO 3.0</b> – CONCENTRAÇÃO NO SOLO ACUMULADA _____	<b>43</b>
<b>EQUAÇÃO 4.0</b> – FATOR DE ACUMULAÇÃO NO SOLO (SACF) _____	<b>44</b>
<b>EQUAÇÃO 5.0</b> – PERDA DE METAIS CAUSADA PELA LIXIVIAÇÃO NO SOLO _____	<b>45</b>



Uma avaliação dos riscos potenciais à saúde humana pela exposição a metais (principalmente dos elementos não nutrientes) encontrados em fertilizantes inorgânicos após a aplicação a solos agrícolas é apresentada neste relatório. Esta análise compreende um componente de um programa desenvolvido e financiado pelo The Fertilizer Institute (TFI) que tem a finalidade de responder à questão: os fertilizantes são seguros? O programa, em geral, foi examinado no contexto do ciclo de vida de um fertilizante inorgânico. Dois componentes adicionais do programa incluem: (1) uma verificação de riscos da exposição de aplicadores de fertilizantes a metais em produtos<sup>1</sup> e (2) uma avaliação completa da toxidez e exposição ocupacional. Há também dois outros relatórios recentes, um da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e outro do Departamento de Alimentos e Agricultura da Califórnia (CDFA), que fornecem informações para as mesmas questões sobre segurança após a aplicação de fertilizantes. Seus escopos, metodologias e conclusões também estão resumidos neste relatório.

Metais são geralmente presentes em fertilizantes inorgânicos como produtos secundários indesejados ou como contaminantes. Entretanto, há alguns metais, por exemplo, zinco, ferro e cobre que são nutrientes de plantas e estão incluídos intencionalmente em formulações de fertilizantes. Sabe-se, a priori, que a exposição a metais (nutrientes ou não) em níveis suficientemente altos representa riscos à saúde. Esta análise estabelece limites seguros para metais, referidos como concentrações baseadas no risco (RBCs), em fertilizantes inorgânicos que são aplicáveis sob condições locais normais.

A metodologia usada para desenvolver a RBC é um cálculo inverso dos riscos à saúde que é o padrão para avaliações de níveis orientadores de risco. Esta abordagem fornece a base para examinar fertilizantes específicos, em grupos (e.g., DAP, misturas de fosfatos, ou micronutrientes contendo zinco) ou individualmente (e.g., uma mistura 10-30-5 ou um óxido de zinco, 50%). Há três passos básicos para a avaliação de níveis orientadores: (1) delimitar o escopo focalizando os maiores riscos possíveis; (2) deduzir os valores da RBC de proteção para cada metal de interesse; e (3) comparar o valor da RBC de cada metal à concentração medida daquele metal nos fertilizantes. Se as concentrações medidas são menores que os valores de RBC, então os riscos à saúde são negligíveis. Se as concentrações medidas excedem os valores de RBC, então pode haver ou não risco à saúde e, uma última avaliação, mais detalhada é, então, conduzida.

O primeiro passo da avaliação, delimitando o escopo, envolve a escolha daqueles fertilizantes, metais e cenários de exposição que estão associados aos riscos à saúde potencialmente mais elevados. Aqueles que não são avaliados diretamente são ainda representados porque seus riscos associados são menores que aqueles avaliados diretamente. Baseado nos dados disponíveis em análises dos relatórios existentes sobre riscos à saúde causados por fertilizantes e, de acordo com a metodologia de avaliação de riscos à saúde aceita, esta avaliação está focalizada em:

- fertilizantes fosfatados e micronutrientes;
- 12 metais (referidos como metais potencialmente perigosos [MOPC]) incluindo: arsênio, cádmio, cromo, cobalto, cobre, chumbo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio, vanádio, zinco e um radionuclídeo, o rádio 226;
- exposição da família rural (incluindo adultos e crianças);
- ingestão dos produtos agrícolas, ingestão involuntária de solo fertilizado e contato do solo fertilizado com a pele; e
- cenários agrícolas com uma única cultura e com vários grupos de culturas.

<sup>1</sup> Avaliação completa para metais e aplicadores: foi determinado que os riscos causados por metais a aplicadores de fertilizantes são negligíveis (THE WEINBERG GROUP INC. (TWG). 1999a, Health Risk Based Concentrations for Fertilizer Products and Fertilizer Applicators. e TWG 1999b, Fertilizer Applicator Health Risk Evaluation for Non-nutritive Elements in Inorganic Fertilizers).

O segundo passo da avaliação, deduzir as RBCs de proteção à saúde para cada metal, envolve estimar a exposição máxima razoável (RME) para os metais. Os metais são avaliados por danos que podem envolver carcinogenicidade ou não, conforme aplicável, e as RBCs são estabelecidas em níveis de risco aceitos (i.e.,  $1 \times 10^{-5}$  para risco de câncer, ou, um índice de dano ou perigo igual a 1,0 para não cancerígenos). Em geral, as abordagens padrão, as suposições e valores de exposição no limite superior padrão da USEPA são usados no desenvolvimento das RBCs. Acima de tudo, as RBCs para metais são desenvolvidas para proteger a saúde e garantir que os riscos à saúde não sejam subestimados. Há diferentes RBCs para fertilizantes fosfatados e para micronutrientes.

O terceiro e último passo da avaliação envolve a comparação da RBC para cada metal ao máximo nível medido daquele metal em fertilizantes. A concentração máxima de metais fornece a determinação do risco à saúde que mais protege a saúde. Os dados de concentração são obtidos da literatura, de pesquisas das indústrias de fertilizantes e de programas de monitoramento sendo conduzidos por vários estados. A base de dados foi compilada pelo THE WEINBERG GROUP e é atualizada logo que novos dados se tornam disponíveis. Até hoje, há aproximadamente 925 amostras individuais de fertilizantes fosfatados em 15 categorias <sup>2</sup> e aproximadamente 140 amostras individuais de micronutrientes em quatro categorias.<sup>3</sup>

A comparação de valores orientadores indica que não há excesso para qualquer das RBCs dos fertilizantes fosfatados e, portanto, não há risco à saúde após a aplicação pela exposição a metais em fertilizantes do tipo NPK. Esta mesma conclusão foi encontrada pela USEPA (1999b) em sua recente avaliação de riscos de fertilizantes.<sup>4</sup> A CDEA (1998) publicou seu próprio relatório de RBCs para arsênio, cádmio e chumbo em fertilizantes inorgânicos.<sup>5</sup> Enquanto o relatório não comparou RBCs aos níveis medidos em produtos, as RBCs são muito similares àquelas desta avaliação, e, portanto, poderiam confirmar a mesma conclusão de risco negligível para fertilizantes do tipo NPK se uma comparação com os valores de orientação fosse conduzida.

Com respeito a fertilizantes contendo micronutrientes, há excesso nas RBCs de arsênio e chumbo em vários produtos fertilizantes contendo micronutrientes. Esses produtos contêm relativamente altos níveis de arsênio e chumbo em algumas amostras. A USEPA (1999b) chegou a uma conclusão similar, indicando que poucos produtos fertilizantes contendo micronutrientes excedem o nível de risco aceitável para arsênio. Por causa da metodologia protetora da saúde empregada em avaliações para níveis orientadores e tendo em vista que excessos ocorrem somente nas concentrações máximas de arsênio e chumbo, uma conclusão contundente relacionada aos riscos à saúde proporcionada pelos produtos micronutrientes em questão requer uma avaliação mais detalhada. Esta avaliação refinada poderia levar em conta informações específicas do produto como culturas nas quais é usado, taxa de aplicação, fração de nutrientes no produto e concentração de metais em múltiplas amostras do mesmo produto. Esta informação específica a certos produtos poderia substituir os valores-padrão de exposição (limite superior) usados na equação de avaliação de risco mediante valores orientadores.

Como em toda avaliação de risco há algum nível de incerteza associado à avaliação. As principais incertezas foram identificadas e descritas neste relatório. A incerteza é, de certo modo, mais ligada a erros de forma a superestimar o potencial de risco que a subestimá-lo para os produtos fertilizantes NPK e micronutrientes.

---

<sup>2</sup> As categorias de fertilizantes fosfatados incluem: misturas NPK, fosfato sulfato de amônio, polifosfato de amônio, fosfato diamônio (DAP), fosfato monoamônio (MAP), nitrofosfato, ortofosfato, fosfato, ácido fosfórico, superfosfato, ácido superfosfórico, superfosfato triplo, fosfato de uréia-amônio, polifosfato de uréia-amônio e fosfato de uréia-diamônio

<sup>3</sup> As categorias de fertilizantes com micronutrientes incluem: boro, ferro, manganês e zinco em fertilizantes contendo micronutrientes (excluindo misturas).

<sup>4</sup> Em adição à avaliação de riscos à saúde, a USEPA conduziu uma avaliação de risco ecológico baseado em níveis orientadores de metais em fertilizantes que escorrem superficialmente para água corrente e concluíram que não há projeções de excesso que afetem os critérios de qualidade da água. USEPA, (1999b) - Estimating Risks from Contaminants Contained in Agricultural Fertilizers.

<sup>5</sup> CDEA (1998), Development of Risk Based Concentrations for Arsenic, Cadmium, and Lead in Inorganic Commercial Fertilizer.

Em conclusão, este relatório, junto às recentes avaliações da USEPA (1999b) e CDFA (1998), fornece informações consideráveis e definitivas para responder a questão: os metais em fertilizantes representam risco à saúde após sua aplicação? A resposta é: essas avaliações indicam que metais em fertilizantes inorgânicos não causam danos à saúde humana após a aplicação. É claro que os riscos são negligíveis para metais em fertilizantes do tipo NPK. Para a maioria dos produtos fertilizantes contendo micronutrientes dos quais há dados, os riscos são também claramente negligíveis. Um poucas amostras para poucos produtos micronutrientes têm concentrações de arsênio ou chumbo que excederam as RBCs correspondentes. Entretanto, nenhuma conclusão definitiva a respeito dos riscos à saúde pode ser feita até esses materiais serem avaliados mais profundamente de forma específica, caso a caso. As avaliações de níveis orientadores de risco são designadas a identificar se, e onde, atenção adicional pode ser necessária. Os riscos reais podem ser superestimados, mas eles não são subestimados pelos valores da RBC.

Então, onde fazer verificações depende da avaliação do ciclo de vida: são os fertilizantes inorgânicos seguros? Este relatório e o da CDFA (1998) tratam de riscos à saúde após a aplicação; o relatório recente da USEPA (1999b) trata de riscos à saúde após a aplicação e de riscos ambientais; e o relatório da TWG (1999a,b) trata de riscos dos metais em fertilizantes para os aplicadores. No total, estas avaliações apóiam a conclusão que estes fertilizantes são seguros. O aspecto remanescente da avaliação do ciclo de vida é uma avaliação total da toxicidade do produto e dos riscos ocupacionais. Esta avaliação está em progresso no TFI. É prudente e responsável conduzir tal avaliação. Entretanto, o fato de que há padrões da indústria e do governo dispostos a proteger os trabalhadores e o ambiente e, dado à longa história da indústria de fertilizantes, a resposta parece óbvia. A informação que está sendo gerada é a prova.



**E**ste documento apresenta uma avaliação dos riscos potenciais à saúde humana pela exposição a metais (elementos não nutrientes, principalmente) encontrados em solos agrícolas após a aplicação de fertilizantes inorgânicos. Esta avaliação compreende um componente de um programa desenvolvido e financiado pelo The Fertilizer Institute (TFI) que tem a intenção de responder à questão: os fertilizantes são seguros? O programa geral é visto no contexto do ciclo de vida inteiro de um fertilizante inorgânico, como ilustrado na Figura 1. Como visto na Figura 1, esta avaliação de risco à saúde humana está focalizada na última parte do ciclo de vida, que é após a aplicação.<sup>6</sup>

Os metais estão geralmente presentes em fertilizantes inorgânicos como produtos secundários de sua produção ou como contaminantes. Estes elementos não nutrientes não estão presentes propositalmente nos fertilizantes e não são necessários ao crescimento de plantas. Alguns metais como, por exemplo, zinco, ferro e cobre, são nutrientes de plantas e sua presença em fertilizantes é essencial para seu crescimento. Esta avaliação de risco à saúde humana inclui doze metais, tanto não nutrientes como nutrientes, bem como elementos radioativos.<sup>7</sup> Neste relatório, todos os metais sob avaliação são referidos como ‘metais potencialmente perigosos’ ou MOPC.

As informações apresentadas neste documento estão dispostas com o intuito de facilitar a sua utilização por produtores de fertilizantes, por órgãos reguladores e pelo público. Há muitos produtos fertilizantes, muitos usos (dependendo das condições locais), muitos metais (em várias concentrações) e vários cenários possíveis onde uma pessoa possa ser exposta a MOPCs após a aplicação de fertilizantes a solos agrícolas. A intenção deste documento é, preferivelmente, calcular níveis seguros de exposição para estes metais que possam ser aplicáveis a diversas condições, e não de determinar se um dado produto e condição local representam um risco inaceitável à saúde. Na linguagem da ‘avaliação de risco’, a primeira é chamada de risco calculado inverso (back calculation) enquanto a última é chamada de risco calculado no sentido direto (forward calculation). Ambas as abordagens usam a mesma ciência fundamental de avaliação de risco. O cálculo direto permite determinar se o ‘produto fertilizante A’ usado sob as ‘condições B’ apresenta riscos à saúde. O cálculo inverso permite uma extrapolação muito mais ampla de combinações de produtos e condições locais no presente ou no futuro. No cálculo inverso, os resultados são apresentados como concentrações de metais que são considerados “seguros” sob condições consideradas mais adversas. Estas concentrações são chamadas ‘concentrações baseadas no risco’ ou RBCs. Pela natureza de sua geração, as RBCs são também tipicamente chamadas ‘valores orientadores’ e são usadas para avaliações orientadoras (aqui denominadas ‘por níveis orientadores’). Neste tipo de avaliação, as RBCs são usadas para determinar se um dado produto fertilizante é seguro pela comparação da RBC com a concentração do metal no produto.

---

<sup>6</sup> The Weinberg Group Inc. (TWG) preparou dois relatórios anteriores para o TFI que avaliavam os riscos à saúde dos aplicadores de fertilizantes. Eles são: Health Risk Based Concentrations for Fertilizer Products and Fertilizer Applicators (TWG, 1999a) e Fertilizer Applicator Health Risk Evaluation for Non-nutritive Elements in Inorganic Fertilizers: Risk Based Concentrations (RBCs) Compared to Measured Levels of Non-nutritive Elements in Products (TWG, 1999b). Estes relatórios concluíram que não há risco à saúde significativo a aplicadores de fertilizantes.

<sup>7</sup> Dado a principal diferença relacionada à natureza tóxica dos radionuclídeos comparados a metais e dado a principal diferença na avaliação de risco da exposição, os radionuclídeos são avaliados separadamente. Esta avaliação de radionuclídeos pode ser encontrada na Seção 5.0.

Como as RBCs são usadas principalmente para avaliações por níveis orientadores, elas são baseadas no cenário de exposição que reflete a máxima exposição razoável (RME) e tem a intenção de ser protetoras da saúde de todos os outros cenários. Desta forma, as RBCs são geradas para garantir que os riscos à saúde não sejam subestimados. Em geral, a abordagem e os padrões da USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) são usados no desenvolvimento das RBCs desta avaliação de metais em fertilizantes.

Em adição ao desenvolvimento e apresentação das RBCs, este relatório também apresenta uma avaliação de risco à saúde por meio de níveis orientadores onde a RBC para cada metal é comparada aos níveis medidos de metais nos produtos fertilizantes disponíveis na base de dados. As medidas de concentração de metais em produtos fertilizantes conduzidas no futuro podem também ser comparadas às RBCs de forma a mostrar os potenciais riscos à saúde humana.

Finalmente, esta avaliação se faz sobre relatórios existentes e informações de riscos potenciais à saúde pela exposição a metais em fertilizantes para responder a questão: os fertilizantes são seguros? Dados e análises consideráveis têm sido relatados pela USEPA e pelo Departamento de Alimentos e Agricultura da Califórnia.<sup>8</sup>

**Este relatório está organizado como segue:**

SEÇÃO 1.0 – DEFININDO O ESCOPO DESTA AVALIAÇÃO. A lógica e os princípios que foram usados para definir o escopo desta avaliação é apresentada. Especificamente, esta seção identifica as categorias de produtos fertilizantes que são avaliadas, os metais para os quais as RBCs foram desenvolvidas, os cenários de exposição humana e os grupos de culturas em que as RBCs foram baseadas.

SEÇÃO 2.0 – GERAÇÃO DE CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCs). Nesta seção, a equação da RBC e os seus parâmetros e fatores são descritos.

SEÇÃO 3.0 – APRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCs) PARA METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs). Nesta seção, os níveis orientadores, RBCs, são selecionados e descritos para cada MOPC.

SEÇÃO 4.0 – AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE POR NÍVEIS ORIENTADORES: COMPARAÇÃO DAS RBCs COM AS CONCENTRAÇÕES DE MOPC EM PRODUTOS FERTILIZANTES. Nesta seção, as RBCs para cada MOPC são comparadas aos dados de concentração de metais para cada uma das categorias de produtos.

SEÇÃO 5.0 – GERAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO PARA UM RADIONUCLÍDEO (RÁDIO 226) E AVALIAÇÃO DE NÍVEIS ORIENTADORES PARA A SAÚDE: COMPARAÇÃO DA RBC DO RÁDIO 226 COM OS DADOS DOS PRODUTOS. Nesta seção, a RBC para o rádio 226 é gerada e a RBC é comparada com os dados de rádio 226 dos produtos.

---

<sup>8</sup> As seguintes fontes forneceram as informações críticas essenciais que centraram o escopo desta avaliação:

- California Department of Food and Agriculture (CDFA) and the Heavy Metal Task Force, 1998. Development of Risk-Based Concentrations for Arsenic, Cadmium, and Lead in Inorganic Commercial Fertilizer. Foster Wheeler Environmental Corporation, Sacramento, CA.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1999a. Background Report on Fertilizer Use, Contaminants and Regulations. Columbus, OH: Battelle Memorial Institute.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1999b. Estimating Risk from Contaminants Contained in Agricultural Fertilizers. Washington, D.C.: Office of Solid Waste and Center for Environmental Analysis.

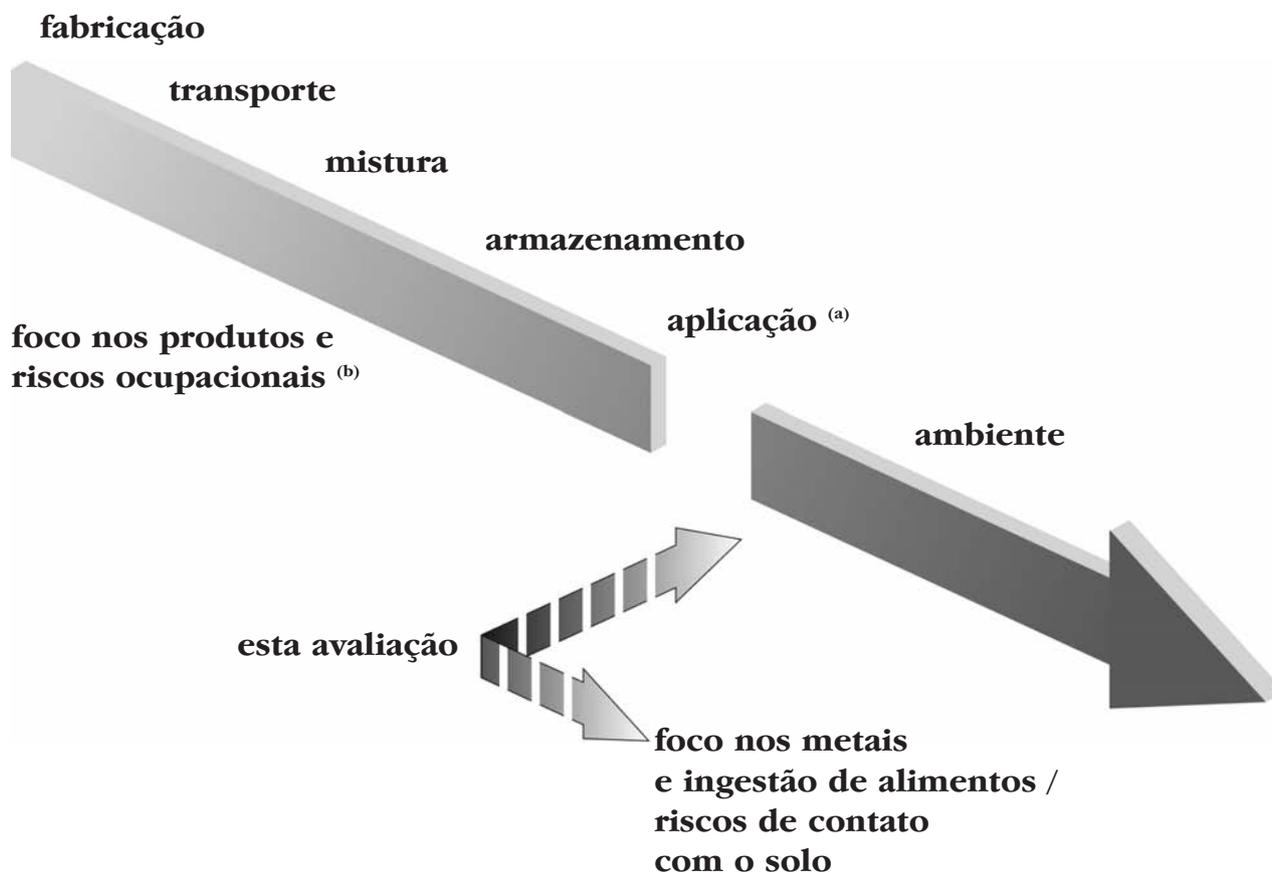
SEÇÃO 6.0 – DISCUSSÃO DAS INCERTEZAS. Nesta seção, as incertezas relacionadas ao escopo desta avaliação de risco à saúde e a geração de RBCs são apresentadas.

SEÇÃO 7.0 – CONCLUSÕES DA AVALIAÇÃO. Nesta seção, as conclusões são descritas a partir da avaliação do risco à saúde por meio dos níveis orientadores para os fertilizantes NPK e micronutrientes.

SEÇÃO 8.0 – COMPARAÇÃO A OUTRAS AVALIAÇÕES. Nesta seção, o resultado desta avaliação é comparado ao de outras avaliações de risco à saúde por fertilizantes, incluindo USEPA (1999b) e CDEA (1998).



**FIGURA 1. AVALIAÇÃO DE RISCO NO CICLO DE VIDA DOS FERTILIZANTES INORGÂNICOS**



(a) A exposição ocupacional a metais durante a aplicação é segura segundo uma avaliação anterior (TWG, 1999a,b).

(b) Toxidez total do produto e exposição ocupacional estão sendo analisadas em outro programa.





De acordo com o previsto em uma avaliação de risco por níveis orientadores<sup>9</sup>, o escopo desta avaliação está limitado a focar nas categorias de produtos fertilizantes, metais e cenários de exposição que ofereçam o mais elevado risco potencial à saúde.<sup>10</sup> Desenvolver-se-ão RBCs baseadas em resultados de exposição (no seu limite superior) que sejam protetoras de outros cenários de menor risco e resultados de risco à saúde que não sejam subestimados. A Figura 2, intitulada ‘Delimitando o escopo da avaliação – Foco nos produtos fertilizantes, elementos e cenários de exposição de maior preocupação’, apresenta um sumário de como cada um destes componentes chave foi delimitado. Adicionalmente, a delimitação de cada um desses componentes é discutida nas seções seguintes.

### Seleção de Fertilizantes Representativos

Como declarado anteriormente, a proposta desta análise é avaliar os potenciais riscos à saúde por metais em fertilizantes inorgânicos após sua aplicação em solos agrícolas. Os produtos fertilizantes que resultam na maior adição de metais ao solo são os produtos de maior preocupação. A magnitude da adição de MOPCs aos solos é dependente de vários fatores incluindo (1) a composição do fertilizante, (2) a concentração de metais no fertilizante e (3) a quantidade de fertilizante aplicada. Pela avaliação dos riscos à saúde daqueles produtos os quais o uso resulta na maior adição de metais ao solo, é analisado um amplo espectro de fertilizantes inorgânicos. Isso significa que ‘todos’ os fertilizantes podem ser avaliados para verificar se há riscos à saúde baseados naqueles produtos que representam o potencial de risco mais elevado. Portanto, um componente crítico desta avaliação é a caracterização dos produtos fertilizantes inorgânicos e a seleção daqueles produtos que serão os representantes de todos os outros produtos fertilizantes inorgânicos.

A Tabela 1 apresenta um sumário de cada um dos fatores determinantes da magnitude da adição de metais ao solo e identifica os produtos representativos que foram selecionados para a avaliação de risco à saúde.<sup>11</sup>

Cada um dos fatores é também discutido a seguir.

### Tipos de Fertilizantes Inorgânicos e seu Uso

Há três categorias gerais de fertilizantes inorgânicos: fertilizantes com macronutrientes (ou primários), fertilizantes secundários e fertilizantes contendo micronutrientes. Cada categoria geral de fertilizantes inorgânicos supre as plantas com diferentes nutrientes. Os fertilizantes com macronutrientes suprem nutrientes primários, os quais incluem nitrogênio (N), fósforo disponível (P) e potássio (K). Há produtos que suprem cada um dos nutrientes separadamente, bem como misturas; por exemplo NPK. Há também vários fertilizantes fosfatados, tais como fosfato diamônio (DAP), superfosfato triplo (TSP) e fosfato monoamônio (MAP). Há também muitos tipos diferentes de produtos fertilizantes

<sup>9</sup> Delimitar o escopo de uma avaliação por níveis de orientação para focar em um cenário que é protetor da saúde e representativo de todos os outros cenários é uma prática padrão da USEPA [como indicado no guia USEPA (1995), e usado para se analisar riscos à saúde e ambientais por fertilizantes em USEPA (1999b) e CDFA (1998)].

<sup>10</sup> Baseado em uma avaliação de risco ecológico de níveis orientadores de metais em escoamentos superficiais de fertilizantes para cursos d’água, a USEPA (1999b) concluiu que não há projeção de que os padrões de qualidade da água sejam excedidos.

<sup>11</sup> As informações usadas nesta seção foram obtidas principalmente de USEPA (1999a) e TWG (1999b).

macronutrientes nitrogenados (e.g., nitrato de amônio, polissulfeto de amônio, nitrato de sódio e uréia). Fertilizantes com macronutrientes são os mais usados nos EUA, representando 91% dos fertilizantes inorgânicos totais; especificamente, 38%, 12%, 10% e 31% de N, P, K e NPK usados, respectivamente (USEPA, 1999a).

Os fertilizantes secundários suprem nutrientes secundários às plantas incluindo cálcio, magnésio e enxofre. Exemplos de produtos fertilizantes secundários incluem cloreto de cálcio, quelatos de cálcio e de magnésio. Os fertilizantes secundários e com micronutrientes representam somente 4,5% do uso total de fertilizantes inorgânicos na agricultura dos EUA (USEPA, 1999a).

Os fertilizantes com micronutrientes suprem as plantas com boro, cloro, cobalto, ferro, manganês, molibdênio, sódio e, ou, zinco. Por exemplo, fertilizantes com micronutrientes contendo zinco suprem zinco, contendo ferro suprem ferro e misturas suprem um ou mais micronutrientes. Exemplos de produtos micronutrientes incluem óxido de manganês, sulfato de cobalto e sulfato de zinco. Entre os vários fertilizantes com micronutrientes (e.g., boro, ferro, manganês e zinco), aqueles com zinco são os usados de forma mais abrangente nas áreas agrícolas dos EUA (Hignett e McClellan, 1985).

### **Composição dos Produtos / Percentagem de Nutrientes**

Em adição à composição de nutrientes (i.e., N, P, K, secundários e micronutrientes descritos anteriormente), a percentagem de cada nutriente (e.g., P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ou zinco) em um produto varia. Por exemplo, como pode ser visto na Tabela 1, o percentual de nutriente de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> varia de 2-70% (USEPA, 1999a).

### **Taxa de aplicação**

A taxa de aplicação (AR) de qualquer fertilizante pode variar dependendo da necessidade do nutriente pela planta e das condições locais do solo. A AR é também influenciada pela composição do produto e o conteúdo percentual de nutriente. Quanto menor a percentagem de nutrientes em um produto, maior a AR requerida para encontrar as necessidades de nutrientes da planta. As ARs apresentadas na Tabela 1 são estimativas limite (maiores que o 95º percentil) e são baseadas nas necessidades de nutrientes da maioria das culturas dos EUA (USEPA, 1999a). Como pode ser visto na Tabela 1, o nitrogênio (N) tem a mais alta AR de todos os nutrientes primários enquanto que o fosfato (P) tem a segunda AR mais alta. As ARs para nutrientes secundários e micronutrientes são geralmente muito menores que as ARs para os nutrientes primários.

### **Concentração de Metais em Produtos**

Os metais ocorrem nos fertilizantes por causa das fontes dos nutrientes. Como uma categoria, fertilizantes fosfatados têm os mais altos níveis de metais entre os nutrientes primários e secundários, e desta forma, têm a mais alta classificação de concentração relativa. Fertilizantes nitrogenados (e NPK aplicados para suprir N) têm baixas concentrações de MOPC comparadas às dos fertilizantes fosfatados (e NPK aplicados para suprir P) e fertilizantes potássicos geralmente tem concentrações de MOPC muito menores que às dos fertilizantes nitrogenados (USEPA, 1999a,b). O fósforo é obtido a partir de rocha fosfatada e os minérios fosfáticos contêm metais naturalmente.<sup>12</sup> Dependendo da fonte de nutrientes, os fertilizantes contendo micronutrientes podem ter relativamente altos níveis de metais. Como apresentado na Tabela 1, os micronutrientes ferro e zinco têm as concentrações relativas mais elevadas de MOPC (especialmente quando se considera arsênio em micronutrientes contendo ferro) (USEPA, 1999a,b). Misturas de micronutrientes podem também ter altas concentrações de MOPC. Como os

---

<sup>12</sup> Como relatado em Raven e Loeppert (1997), Potash & Phosphate Institute (PPI) (1998), CDEA (1998), TWG (1999c) e USEPA (1999a).

metais coexistem com os nutrientes nos fertilizantes, o percentual de nutriente dos produtos tem um efeito direto na concentração de metais no produto final. A Tabela 1 lista as 'taxas relativas de concentração' para os metais avaliados nesta análise. A medida real de concentração de metais em vários produtos tem sido compilada em uma base de dados da indústria, do estado e da literatura (TWG, 1999c).

### **Produtos Fertilizantes Representativos**

Considerando todos os fatores discutidos anteriormente e as informações apresentadas na Tabela 1, os fertilizantes fosfatados foram selecionados para representar os fertilizantes contendo macronutrientes (primários e secundários) no desenvolvimento de RBCs protetoras da saúde e em sua comparação aos níveis medidos nos produtos. Espera-se que a aplicação de fertilizantes fosfatados resulte na maior adição de metais ao solo e, portanto, o maior potencial de exposição entre os fertilizantes com macronutrientes.<sup>13</sup> As RBCs são desenvolvidas para um fertilizante fosfatado genérico mas são, então, modificadas para contabilizar diferentes percentagens do conteúdo de nutrientes em fertilizantes fosfatados específicos (e.g., DAP, TSP) ou misturas fosfatadas (e.g., NPK em várias combinações de percentagem de nutrientes).<sup>14</sup>

Os fertilizantes com os micronutrientes zinco, manganês, ferro e boro foram selecionados para representar os fertilizantes micronutrientes. Misturas de micronutrientes não foram avaliadas especificamente, entretanto, a avaliação dos outros micronutrientes será protetora da saúde para potenciais riscos decorrentes da aplicação de misturas de micronutrientes, pois as concentrações de MOPC em misturas de micronutrientes são representadas por outros fertilizantes contendo micronutrientes. Enquanto as ARs podem variar entre produtos contendo micronutrientes, as RBCs iniciais orientadoras são baseadas na AR para produtos contendo zinco. As ARs para diferentes fertilizantes contendo micronutrientes são similares. Na avaliação de risco à saúde, as RBCs são modificadas para contabilizar os diferentes percentuais de conteúdo de nutrientes em fertilizantes contendo micronutrientes específicos.

Outros produtos fertilizantes comerciais, contendo, por exemplo, somente nitrogênio, somente potássio, ou fertilizantes contendo nutrientes secundários e micronutrientes remanescentes não foram avaliados especificamente porque a avaliação de fertilizantes fosfatados e micronutrientes selecionados (como discutido anteriormente) é considerada protetora da saúde.

### **Seleção de Metais Potencialmente Perigosos (MOPC)**

Como pode ser visto na Tabela 2, esta avaliação de risco começa com uma lista de 23 metais que podem, potencialmente, ser encontrados em fertilizantes inorgânicos.<sup>15</sup> Por razões similares, como os produtos de maior potencial de perigo foram selecionados para uma avaliação de risco por valores de orientação, os metais selecionados para essa análise são também delimitados. Esses metais são chamados MOPCs. Os MOPCs foram selecionados para avaliação com a intenção de serem representativos e protetores da saúde em todos os outros casos de metais em produtos fertilizantes inorgânicos. Os fatores que são considerados na seleção de MOPCs incluem: (1) sua toxidez relativa, (2) sua concentração relativa em produtos e (3) se há uma avaliação precedente (e.g., um regulamento) de perigos à saúde humana. Tanto a toxidez quanto a concentração em produtos são considerados porque elas são fatores que se relacionam diretamente ao risco. Todos os três fatores estão detalhados na Tabela 2, junto com a lista de MOPCs que foram selecionados.

---

<sup>13</sup> A seleção de fertilizantes fosfatados para esta avaliação é apoiada por estimativas de contaminação por MOPC da aplicação de fertilizantes com macronutrientes em solos tanto nas avaliações de risco da USEPA (1999a) quanto da CDFA (1998).

<sup>14</sup> Esta avaliação está focalizada em fertilizantes granulares. Fertilizantes líquidos não são considerados separadamente nesta avaliação porque esses fertilizantes são geralmente aplicados a uma taxa muito menor que os granulares. Portanto, a avaliação de fertilizantes granulares será protetora da saúde mesmo quando forem usados fertilizantes líquidos (USEPA, 1999a).

<sup>15</sup> Enquanto não completamente executada, esta lista é considerada abrangente. Ela foi desenvolvida de uma pesquisa nos arquivos da indústria e na literatura publicada (TWG, 1999c). Três radionuclídeos (rádio, tório e urânio) foram também considerados na lista inicial.

## Toxicidade Relativa

A toxicidade relativa é determinada pela comparação da dose de referência (RfD) oral para cada metal como estabelecido pela USEPA e apresentada no Sistema de Informação Integrado de Risco (IRIS)<sup>16</sup> da USEPA. A RfD oral é particularmente relevante nesta avaliação porque se espera que a exposição oral contribua com o maior potencial de risco à saúde pelos metais em solos agrícolas.

## Concentração Relativa dos Produtos

Os dados que descrevem a concentração de metais em produtos provêm de uma pesquisa na indústria e na literatura conduzida para o TFI (TWG, 1999c) e de uma publicação da USEPA sobre fertilizantes (USEPA, 1999a). A concentração de MOPCs em produtos fertilizantes é classificada por uma avaliação qualitativa comparativa das concentrações de MOPCs em cada uma das categorias de fertilizantes fosfatados e dos fertilizantes contendo micronutrientes. Produtos com concentrações de MOPCs obviamente altas são classificados como alto; categorias de produtos com concentrações geralmente baixas de MOPC são classificados com baixas. As concentrações relativas são então classificadas como baixas (fertilizantes fosfatados < 10 ppm, fertilizantes contendo micronutrientes < 50 ppm), médias (fertilizantes fosfatados 10 – 100 ppm, fertilizantes contendo micronutrientes 50 – 1000 ppm) e altas (fertilizante fosfatados > 100 ppm, fertilizantes contendo micronutrientes > 1000 ppm). Novamente, essas classificações qualitativas são baseadas em revisões de bases de dados da concentração dos produtos (TWG, 1999c.).

## Precedência da Avaliação

Como visto na Tabela 2, a maioria dos 23 metais na lista inicial e todos os MOPCs selecionados para esta avaliação de risco têm sido identificados e, ou, avaliados em relatórios relevantes anteriores.<sup>17</sup> A precedência da avaliação é considerada um importante aspecto na seleção final de MOPCs, mesmo quando o metal não é altamente tóxico ou não foi encontrado em concentrações particularmente altas em produtos fertilizantes.

## Metais Potencialmente Perigosos (MOPCs) Selecionados para Avaliação

Os 12 metais seguintes foram selecionados como MOPCs. Note que o símbolo elementar para cada metal é apresentado em parênteses próximo a cada MOPC, entretanto, para facilitar a leitura deste documento, o nome completo é usado no corpo deste documento. Em adição, um radionuclídeo (discutido na Seção 5.0) foi selecionado para a avaliação.

Arsênio (As)	Cobre (Cu)	Níquel (Ni)	Rádio 226 (Ra)
Cádmio (Cd)	Chumbo (Pb)	Selênio (Se)	
Cromo (Cr)	Mercúrio (Hg)	Vanádio (V)	
Cobalto (Co)	Molibdênio (Mo)	Zinco (Zn)	

---

<sup>16</sup> Há uma discussão detalhada destes valores na seção deste relatório intitulada 'Avaliação de toxicidade'.

<sup>17</sup> Os relatórios (ou padrões) a seguir têm estabelecido precedência nas avaliações para os MOPCs:

- RBCs para a Califórnia considerando-se arsênio, cádmio e chumbo foram desenvolvidos em CDEA (1998).
- Riscos causados por arsênio, cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, níquel, vanádio e zinco em fertilizantes agrícolas foram estimados em USEPA (1999b).
- O Canadá estabeleceu limites em fertilizantes para arsênio, cádmio, cobalto, mercúrio, molibdênio, níquel, chumbo, selênio e zinco como relatado em Canadian Fertilizers Act R.S., c. F-9s.l. (1003).
- Limites para arsênio, cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, molibdênio, níquel e zinco em biossólidos aplicados a solos agrícolas foram desenvolvidos pela USEPA (1995).

## Seleção dos Cenários de Exposição para Proteção da Saúde

De forma similar àquela usada para enfocar quais produtos fertilizantes e MOPCs seriam incluídos na avaliação de risco por meio de valores de orientação, o cenário de exposição que poderia ser representativo e protetor da saúde entre todos os outros cenários de exposição potencial é identificado. Todas as vias de exposição possíveis, bem como as rotas de exposição para populações potencialmente expostas, que ocorrem após a aplicação, foram consideradas. O cenário de exposição com a maior exposição e potencial de risco é, então, identificado.

### Vias Potenciais de Exposição

O primeiro passo na seleção de cenários de exposição com o mais alto risco é a determinação de todas as possíveis vias de exposição para o MOPC em fertilizante, seguindo a aplicação. Uma completa via de exposição apresenta uma via de transporte, um potencial de exposição médio e uma via de exposição provável (modo de contato com o receptor). Todas as potenciais vias de exposição estão apresentadas na Figura 3. Cada uma destas vias de exposição e rotas associadas são discutidas a seguir.

1. A primeira via é o escoamento dos metais para as águas superficiais, seguido pela ingestão involuntária e pelo contato dermal, bem como pela absorção por peixes seguida pela ingestão de peixes por humanos. Estas vias de exposição e rotas são eliminadas como uma via de exposição expressiva porque: (a) não são esperadas contribuir significativamente para o risco, baseado em análises anteriores realizadas para fertilizantes (USEPA, 1999b) e bio-sólidos (USEPA, 1995); e, (b) o único MOPC que se espera acumular em peixes é uma forma de mercúrio, o metil-mercúrio.<sup>18</sup> Não se espera que os outros MOPCs sejam bioacumulados.
2. A lixiviação para águas subterrâneas seguida pela ingestão dessa água é desconsiderada, em conformidade com USEPA (1999b, 1995) e CDFA (1998). A exposição pela água corrente é muito menor que pelo consumo de produtos agrícolas.
3. Baseado em USEPA (1999b) e CDFA (1998), bem como na análise de risco ao aplicador feita por TWG (1999a,b), a volatilização de metais para o ar seguida de inalação e a dispersão de partículas contendo metais pelo vento seguida de inalação são eliminadas como vias de exposição significativas. Especificamente, essa via de exposição é eliminada porque não se espera que os MOPCs se volatilizem e porque a inalação de partículas contribuiu minimamente para o risco naquelas avaliações anteriores. Outras rotas de exposição que foram selecionadas para inclusão na equação da RBC (e.g., ingestão involuntária de solo fertilizado ou ingestão de produtos agrícolas) são os principais agentes que contribuem para o risco.
4. A ingestão de solo fertilizado e culturas forrageiras contendo MOPCs por gado, seguido de uma subsequente ingestão de produtos animais (carne e leite) por humanos é desconsiderada como via de exposição significativa.<sup>19</sup> Em vez disso, as vias de exposição direta (i.e., ingestão não intencional de solo, contato da pele com solo e ingestão de produtos agrícolas) são consideradas por prover muito maior nível de exposição, especialmente porque os MOPCs não se bioacumulam na cadeia alimentar terrestre (i.e., gado).

---

<sup>19</sup> Estas rotas de exposição foram eliminadas em CDFA (1998) na fase de determinação dos valores de orientação da análise porque elas contribuem muito menos para o risco que a ingestão de produtos agrícolas.

<sup>18</sup> No solo, o mercúrio é reativo e pode formar vários complexos diferentes. Embora durante o transporte de mercúrio para um corpo d'água próximo possa haver formação de metil-mercúrio e a absorção por peixes possa ocorrer, é esperado que esta via ocorra menos frequentemente e resulte em menor exposição que a complexação de mercúrio com cloreto em solo (especialmente porque íons cloreto podem atuar como os agentes mais persistentes e disponíveis para complexar o mercúrio no solo) (McLaughlin et al., 1996).

5. O contato direto com o solo (i.e., ingestão de solo fertilizado e contato do fertilizantes no solo com a pele) e a absorção de metais do solo pelas plantas (culturas) seguido de ingestão, são consideradas as vias de exposição mais prováveis e mais substanciais e, portanto, são a base das RBCs. A seleção destas vias de exposição foi baseada nas informações apresentadas em USEPA (1999b e 1995), CDEA (1998) e TWG (1999a,b).

### **Populações e Rotas de Exposição**

O próximo passo na definição do cenário de exposição é a identificação de todas as populações potencialmente expostas e suas rotas de exposição associadas. Este passo é apresentado na Tabela 3. Note que as vias de exposição e rotas eliminadas nos passos anteriores não estão incluídas na tabela. Há quatro populações potenciais consideradas para avaliação incluindo um jardineiro, o público geral, um trabalhador rural e um residente rural.

### **Cenário de Exposição Representativo e Protetor da Saúde**

Comparados a outras populações, os residentes rurais têm muito mais rotas de exposição potenciais e maior potencial para exposição. O jardineiro não foi selecionado por causa do menor potencial de exposição e baixo uso de fertilizantes quando comparado ao residente rural. O público geral não foi selecionado por causa do baixo potencial de exposição relativa pela ingestão de solo quando comparado ao residente rural. O trabalhador rural foi avaliado em relatórios anteriores (TWG, 1999a,b) e não foi encontrado risco causado pelos metais como resultado da aplicação de fertilizantes. Claramente, o residente rural (e sua família, incluindo crianças) é a população com o mais alto potencial de exposição e foi selecionado como a população em que as RBCs serão baseadas.<sup>20</sup>

Na maioria das avaliações de risco há populações que podem ser consideradas populações “sensíveis ou no limite superior”. Estas populações têm um risco potencial mais alto quando comparadas a outras populações porque a população é particularmente sensível ao efeito tóxico do MOPC (e.g., crianças são sensíveis especialmente à exposição a chumbo) ou porque a população é considerada sensível (e.g., mãe em lactação e idosos). Nesta avaliação, crianças foram avaliadas. Os idosos não foram especificamente avaliados porque o cenário dos residentes rurais adultos é considerado protetor da saúde de um idoso. As rotas de exposição e parâmetros de exposição associada usados para avaliar os residentes rurais adultos representam mais exposição que um idoso poderia encontrar. A mãe em lactação não foi avaliada porque metais não são tipicamente solúveis em gordura, e, portanto, não se espera que sejam encontradas elevadas concentrações no leite materno. Em adição, como discutido na análise de toxicidade, os valores de toxicidade têm fatores de incertezas inerentes a eles por diferentes razões, uma das quais é a proteção de subpopulações sensíveis.

### **Seleção de Grupos de Culturas Representativos**

Como indicado anteriormente, a ingestão de produtos agrícolas é uma via de exposição significativa. A magnitude da exposição por esta rota varia dependendo do tipo de cultura(s) avaliada(s). As culturas variam na forma de crescimento (e.g., sob ou sobre o solo, profundidade do sistema radicular), na quantidade de nutriente que precisam para crescer (e.g., requerimento de fosfato alto ou baixo), e na sua habilidade

---

<sup>20</sup> A seleção do residente rural como representante e como população protetora da saúde é apoiado pelo seu uso no desenvolvimento de RBCs em CDEA (1998) e pelo uso dessa população para a estimativa de risco por exposição a fertilizantes agrícolas em USEPA (1999b).

para absorver metais e transportá-los para as partes comestíveis da planta. Para essa análise, as culturas são agrupadas por tipo e esses grupos de culturas são tratados separadamente na equação usada para gerar os valores da RBC para cada MOPC.

Nesta avaliação, as culturas estão agrupadas considerando a fisiologia básica (culturas “similares” estão agrupadas juntas) bem como grupos de culturas e avaliações em outros relatórios relevantes.<sup>21</sup> Os grupos de culturas considerados incluem: vegetais não expostos (raízes), vegetais expostos, grãos, frutas, forrageiras e grandes culturas. Cada um desses grupos é explicado e classificado a seguir:

- As culturas vegetais são também chamados de culturas expostas ou não protegidas. A categoria de culturas vegetais é ampla com muitos tipos diferentes de culturas. Exemplos desses diferentes tipos de vegetais são os folhosos (e.g., endívia, couve, alface, espinafre, acelga e agrião), os que formam cabeça e talos (e.g., alcachofra, aspargos, brócolis, couve-de-bruxelas, repolho, couve-flor, aipo e pimentas) e os legumes (e.g., feijões e ervilhas). Vários grupos de culturas incluídas nesses grupos são tecnicamente frutas, mas são cultivadas como vegetais (i.e., pepino, berinjela e tomate). Todos os vegetais acima citados estão considerados no grupo das culturas vegetais.

- Vegetais não expostos são também chamados de vegetais protegidos, culturas de raízes, ervas, tubérculos ou bulbos. Este relatório se referirá a este grupo como cultura de raízes. As culturas de raízes têm características únicas e fisiologia “semelhante”; desta forma, as culturas serão avaliadas juntas. As culturas nesta categoria incluem beterraba, cenoura, funcho, mangel (espécie de beterraba usada na alimentação do gado, em alguns países), cebola, pastinaca, batatas, rabanete, couve-nabo-da-suécia e nabo.

- Os grãos são também um grupo amplo. Os grãos podem ser designados como grãos de campo, grãos de silo, grãos de forrageiras ou grãos pequenos e grandes. Os grãos incluídos neste grupo são todos os grãos consumidos por humanos. Os grãos consumidos por gado (grãos de forrageiras ou silo) não estão incluídos nesta avaliação porque, como discutido, a ingestão de produtos animais não foi avaliada. Os grãos neste grupo incluem milho, cevada, milheto, aveia, arroz, centeio e trigo.

- As culturas de frutas seriam os frutos originados de árvores (i.e., frutas arbóreas, tais como, limão-taiti, limões e laranjas) ou como frutas doces. Alguns exemplos de frutas doces incluem melão rosado, maçã, ruibarbo, morango, figo, uva, kiwi e pêra. As culturas trepadeiras (tais como uva) também são frutas. A ingestão de frutas não está incluída nesta avaliação porque não se espera que elas contribuam significativamente para exposição.<sup>22</sup> Os frutos secos indeiscentes também são cultivados em árvores, mas não são considerados nesta avaliação pelo seu baixo potencial de exposição. <sup>22</sup>

- “Grandes culturas” é um termo geral para culturas que crescem nos campos agrícolas. Exemplos de grandes culturas incluem milho, algodão, batata, soja, tabaco ou trigo (USEPA, 1999a). Grandes culturas que são ingeridas por humanos foram avaliadas nos grupos de culturas apropriado (grãos, raízes ou vegetais)

---

<sup>21</sup> A CDFA (1998) avaliou seis grupos de culturas: vegetais, raízes, grãos, árvores, trepadeiras e forrageiras. Os grãos e forragem foram avaliados através de sua ingestão por gado e a subsequente ingestão de produtos animais por humanos.

• As forrageiras são culturas que crescem apenas com a finalidade de alimentar o gado. Novamente, a ingestão de produtos animais por humanos foi eliminada desta avaliação. Portanto, as forrageiras não foram consideradas.<sup>22</sup>

Para fins de consistência, estes grupos de culturas serão mantidos por todos os diferentes componentes desta avaliação (e.g., desenvolvimento de fatores de absorção pelas plantas, taxas de aplicação e taxas de ingestão) a partir dos dados disponíveis. Os grupos de culturas mais propícios a contribuir significativamente para exposição humana foram selecionados para participar da avaliação.<sup>22</sup> Estes são vegetais, raízes e grãos e as razões para a inclusão estão apresentadas na Tabela 4.

As propriedades agrícolas e seu uso de fertilizantes variam pelo tamanho, geografia (incluindo condições de solo e clima), tipos preferidos de culturas, etc. Um relatório recente da USEPA (1999a) sobre o uso de fertilizantes inclui uma visão geral do consumo de fertilizantes e da quantidade de cultivos produzidos em diferentes regiões do país. Por exemplo, a tabela seguinte indica onde o uso dos diferentes tipos de fertilizante é mais intensivo e aqueles estados com a maior área plantada (por cultura).

<b>FERTILIZANTE</b>	<b>REGIÃO</b>	<b>ESTADOS</b>
<b>Fosfato</b>	<b>Central - Oeste e Norte</b> <b>Central - Leste e Norte</b>	<b>Illinóis</b> <b>Indiana</b>
<b>Múltiplos nutrientes</b>	<b>Atlântico Sul</b> <b>Atlântico Oeste e Norte</b>	<b>Flórida</b> <b>Texas</b>
<b>Nutrientes secundários</b>	<b>Pacífico</b> <b>Atlântico Sul</b>	<b>Califórnia</b> <b>Carolina do Norte</b>
<b>CULTURAS</b>	<b>ESTADOS</b>	<b>CULTURAS ESPECÍFICAS</b>
<b>Vegetais</b>	<b>Califórnia</b>	<b>Aspargos, pimentão amarelo e vermelho, brócolis, repolho, couve-flor, aipo, alface, tomates</b>
	<b>Flórida</b>	<b>Pimentão, legumes, ervilhas, milho doce (fresco)</b>
	<b>Geórgia</b>	<b>Ervilhas</b>
	<b>Michigan</b>	<b>Pepinos (frescos)</b>
<b>Raízes</b>	<b>Califórnia</b>	<b>Cenouras, cebolas</b>
	<b>Idaho</b>	<b>Batata</b>
	<b>Maine</b>	<b>Batata</b>
	<b>Nova Iorque</b>	<b>Cebola</b>
	<b>Óregon</b>	<b>Cebola</b>
	<b>Texas</b>	<b>Batata, cebola</b>
<b>Grãos</b>	<b>Illinóis</b>	<b>Milho (para grãos), trigo</b>
	<b>Indiana</b>	<b>Milho</b>
	<b>Montana</b>	<b>Milho</b>
	<b>Nebraska</b>	<b>Milho</b>
<b>Frutas</b>	<b>Califórnia</b>	<b>Maçãs, frutas cítricas</b>
	<b>Flórida</b>	<b>Frutas cítricas</b>

<sup>22</sup> A CDFA (1998) eliminou as culturas de árvores (frutas e frutos secos indeiscentes) culturas trepadeiras (uvas) e culturas forrageiras do desenvolvimento das RBCs na fase preliminar de sua análise porque suas exposições a arsênio, cádmio e chumbo, e os riscos subsequentes, foram determinados como sendo consideravelmente menores que o dos outros grupos de culturas.

Também se reconhece que uma propriedade agrícola pode cultivar diferentes tipos de culturas (i.e., propriedades agrícolas com vários grupos de culturas). O cenário de exposição para uma propriedade agrícola com um grupo de culturas poderia ser completamente diferente do cenário de exposição de uma propriedade agrícola com vários grupos de culturas. Por exemplo, em uma propriedade agrícola com um grupo de culturas a taxa de aplicação poderia ser a mesma para cada parcela da propriedade agrícola, porque apenas uma cultura é plantada e a taxa de aplicação é dependente do tipo de cultura. De outra forma, em uma propriedade agrícola com vários grupos de culturas a taxa de aplicação e a área plantada dependem dos diferentes tipos de culturas (i.e., grãos, 50%, vegetais, 40% e raízes, 10%). Outro parâmetro que é usado para se quantificar a exposição, o qual é específico da cultura implantada, é o fator de absorção pela cultura. Portanto, as RBCs para ambos os tipos de propriedade agrícola, contendo um grupo de culturas (uma para cada grupo de culturas) e a com vários grupos de culturas (que combina todos os 3 grupos de culturas) são desenvolvidas. A menor destas quatro RBCs é usada para a avaliação de risco a saúde por níveis orientadores.

### **Sumário do escopo**

O escopo desta avaliação está focado de forma a prover uma avaliação orientadora protetora da saúde de riscos associados à exposição a metais em fertilizantes inorgânicos após a aplicação. Os tipos de fertilizantes, os metais, os receptores e as rotas de exposição que estão associados com o maior potencial de risco são identificados para avaliação direta. Aquelas que não são diretamente avaliadas são representadas, pois seus riscos associados são ainda menores que aqueles que são avaliados diretamente. Baseado nos dados disponíveis e nas análises dos relatórios existentes e em consonância com a metodologia de análise de risco à saúde, esta avaliação tem foco em:

- fertilizantes fosfatados e fertilizantes micronutrientes;
- 12 metais, incluindo: arsênio, cádmio, cromo, cobalto, cobre, chumbo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio, vanádio, zinco e um radionuclídeo, o rádio 226;
- exposição à família rural (incluindo crianças);
- ingestão dos produtos agrícolas, ingestão involuntária de solo fertilizado e contato do solo fertilizado com a pele; e
- cenários de propriedades agrícolas com um grupo de culturas ou vários grupos de culturas



**TABELA 1 - SELEÇÃO DE PRODUTOS FERTILIZANTES REPRESENTATIVOS: CONSIDERAÇÃO DE USO NOS EUA, TAXA DE APLICAÇÃO, PORCENTAGEM DE NUTRIENTE NO PRODUTO E CONCENTRAÇÃO RELATIVA DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs)**

Categoria Geral de Fertilizantes Inorgânicos (objetivo)	Nutrientes	Uso nos EUA em 1996 arredondado para o mais próximo milhão de ton (porcentagem do total) (a)	Taxa de aplicação limite (maior que 95%) (lb/acre-ano) (a)	Faixa Percentual de Nutrientes em Produtos (a)	Classificação Relativa da Concentração de MOPC (c)	Selecionado para avaliação?	
						Sim (S) ou Não (N)	Princípio
Macronutrientes (suprir nutrientes primários)	N	23 (38)	206 (d)	6,3 - 82	Médio	N	A avaliação do NPK-P será protetora da saúde também nos casos de NPK-N e N por causa da baixa concentração relativa de MOPCs.
	P	7 (12)	173 (e)	2,0 - 70,1	Alto	S	Principalmente por causa da alta concentração relativa de MOPCs. Também pela taxa de aplicação e quantidade usada nos EUA
	K	6 (10)	177 (f)	9,8 - 62,1	Baixo	N	Baixa concentração relativa de MOPCs
	NPK para N	19 (31)	206	3 - 46	Médio	N	A avaliação do NPK-P será protetora da saúde da de NPK-N e N por causa da baixa concentração relativa de MOPCs
	NPK para P		173	11,5 - 27,4	Alto	S	Principalmente por causa da alta concentração relativa de MOPCs. Também pela taxa de aplicação e quantidade usada nos EUA
Secundários (g) (suprir nutrientes secundários)	Enxofre	3 (4,5)	40	14 - 100	Baixo (i)	N	Baixo uso e baixa concentração relativa de MOPCs
	Cálcio		4.000	NA		N	Baixo uso e baixa concentração relativa de MOPCs
	Magnésio		100	NA		N	Baixo uso e baixa concentração relativa de MOPCs
Micronutrientes (h) (suprir micronutrientes)	Boro		3	10 - 21	Médio/Baixo (i)	S	Alta concentração relativa de arsênio
	Ferro		20	12 - 15	Alto (i)	S	Alta concentração relativa de arsênio e cádmio
	Mangânes		10	24,7 - 29,5	Médio/Baixo (i)	S	Alta concentração relativa de arsênio
	Zinco		10	7 - 58	Alto (i)	S	Alta concentração relativa de MOPCs
	Misturas		30	NA	Alto/Baixo (i)	N	Informações apropriadas não estão disponíveis

Notas:

Negrito = Selecionados como os produtos representativos e protetores da saúde, portanto, avaliados nesta análise.

MOPCs = Metais potencialmente perigosos.

N = Nitrogênio. Exemplos de fertilizantes nitrogenados incluem: nitrato de amônio, sulfato de amônio, sulfato-nitrato de amônio-uréia, cálcio nitrato de amônio, cálcio cianamida, nitrato de cálcio, cálcio nitrato-uréia, sulfato ferroso amoniacal, nitrato de magnésio, ácido nítrico, nitrato de sódio, uréia, uréia formaldeído, sulfato de zinco manganês amônio.

P = Fosfato disponível ou óxido de fósforo (ou P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). O P não é um fertilizante, mas sim um componente de outros fertilizantes (muitos dos quais são NPKs). Exemplos de fertilizantes “fosfatados” incluem: metafosfato de amônio, fosfato de amônio, fosfato nitrato de amônio, fosfato sulfato de amônio, polifosfato de amônio, superfosfato calcário, escória básica, metafosfato de cálcio, fosfato diamônio (DAP), fosfato de magnésio, fosfato monoamônio (MAP), fosfato nítrico, fosfato de rocha, ácido fosfórico, superfosfato simples (SP) e triplo (TSP).

K = Potássio ou potássio solúvel (ou K<sub>2</sub>O). Exemplos de fertilizantes potássicos incluem: misturas de potássio e cálcio, sais derivados de esterco, cloreto de potássio, carbonato de potássio, nitrato de potássio, sulfato de potássio, potássio-magnésio sulfato, metafosfato de potássio e nitrato potássio sódico.

NPK = Mistura de Nitrogênio, Fosfato e Potássio. Geralmente chamados de mistura agrícola de macronutrientes. Alguns fertilizantes fosfatados são também NPs (e.g., DAP, MAP) ou NPKs.

NA = Não Aplicável.

TWG = The Weinberg Group Inc.

(a) Baseado em informações baseadas em USEPA (1999a). Nota, a percentagem total não vai até 100% porque os agentes corretivos (3,6%) não estão incluídos. Para converter lb/acre em kg/ha, multiplicar por 1,12.

(b) Baseado em aplicações às culturas agrícolas no campo que são as mais plantadas (maior área plantada) nos EUA (USEPA, 1999a).

(c) Classificação qualitativa das concentrações relativas de MOPCs entre os produtos considerados incluindo arsênio, cádmio, cromo, cobalto, cobre, chumbo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio, vanádio e zinco.

Baseado na base de dados de fertilizantes da TWG [(TWG, 1999c), compilação de dados de pesquisas, da literatura, da indústria e do estado], e informações apresentadas em USEPA (1999a), CDEA (1998) e USEPA (1999b).

(d) Baseado na aplicação para brócolis (USEPA, 1999a).

(e) Baseado na aplicação para batata (USEPA, 1999a).

(f) Baseado na aplicação para laranjeiras (USEPA, 1999a).

(g) Exemplos de produtos nutrientes secundários incluem: sulfato de alumínio, quelato de cálcio, cloreto de cálcio, sal de Epsom (sulfato de magnésio) e gesso.

(h) Exemplos de produtos micronutrientes incluem: bórax, quelato de cobre, óxido de manganês, óxido férrico, não quelatos, óxido de zinco e sulfato de zinco.

(i) A concentração de MOPC nos produtos varia por MOPC; estas taxas são baseadas nas tendências gerais observadas. Considerando todos os MOPCs, micronutrientes com zinco contêm as maiores concentrações relativas de MOPCs. Em adição, fertilizantes micronutrientes contendo zinco têm a maioria dos dados disponíveis.

Entretanto, alguns MOPCs estão em concentrações mais elevadas (arsênio e cádmio) em fertilizantes micronutrientes que não contêm zinco (e.g., ferro). (j) Misturas não estão incluídas na avaliação por níveis orientadores, porque a informação necessária (percentagem de micronutrientes) não está disponível.

**TABELA 2 - SELEÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs): CONSIDERAÇÃO DA TOXICIDADE RELATIVA, CONCENTRAÇÃO RELATIVA DO PRODUTO E PRECEDÊNCIA DE AVALIAÇÃO**

Metais Potencialmente Perigosos (MOPCs)	Classificação Relativa para Fontes de Risco Potencial à Saúde		Precedência de Avaliação (e)	Selecionado para Avaliação?	
	Toxicidade (a)	Concentração de MOPC (c) Fertilizante Fosfatado (c) Fertilizante Micronutriente (d)		Sim (S) ou Não (N)	Razão Primária
Alumínio				N	Não se espera representar risco à saúde
Antimônio				N	Não se espera representar risco à saúde
<b>Arsênio</b>			CAL, C, E, S	S	<b>Toxicidade Relativa</b>
Bário				N	Não se espera representar risco à saúde
Berílio				N	Não se espera representar risco à saúde
Bismuto	NA			N	Não se espera representar risco à saúde
<i>Boro</i>				N	Não se espera representar risco à saúde
<b>Cádmio</b>			CAL, C, E, S	S	<b>Potencial para exposição</b>
<b>Cromo III (f)</b>			E, S	S	<b>Avaliação prioritária</b>
<b>Cobalto</b>			C, S	S	<b>Avaliação prioritária</b>
<b>Cobre</b>			E, S	S	<b>Avaliação prioritária</b>
<i>Ferro</i>				N	Não se espera representar risco à saúde
<b>Chumbo</b>			CAL, C, E, S	S	<b>Toxicidade Relativa</b>
<i>Manganês</i>				N	Não se espera representar risco à saúde
<b>Mercurio</b>			CAL, C, E, S	S	<b>Toxicidade Relativa</b>
<b>Molibdênio</b>			C, S	S	<b>Avaliação prioritária</b>
<b>Níquel</b>			C, E, S	S	<b>Avaliação prioritária</b>
<b>Selênio</b>			C, S	S	<b>Avaliação prioritária</b>
Prata				N	Não se espera representar risco à saúde
Estrôncio				N	Não se espera representar risco à saúde
Titânio				N	Não se espera representar risco à saúde
<b>Vanádio</b>			E	S	<b>Avaliação prioritária</b>
<b>Zinco</b>			C, E, S	S	<b>Avaliação prioritária</b>

Notas:

**Negrito** = Seleccionados para avaliação.

*Ítálico* = Micronutrientes (i.e., essencial ao crescimento de plantas)

- Toxicidade Relativa Alta
- Toxicidade Relativa Média
- Toxicidade Relativa Baixa

- Concentração Relativa Alta
- Concentração Relativa Média
- Concentração Relativa Baixa

NA = Não Disponível  
 C = Padrões Canadenses. Canadian Fertilizers Act R.S., c. F-9s.1. (1003).  
 CAL = Departamento de Alimentos e Agricultura da Califórnia (CDEA) e Força Tarefa sobre Metais Pesados, 1998. Development of Risk Based Concentrations for Arsenic, Cadmium, and Lead in Inorganic Commercial Fertilizers. Foster Wheeler Environmental Corporation, Sacramento, CA.  
 E = Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), 1999b. Estimating Risks from Contaminants Contained in Agricultural Fertilizers. Draft. Washington, D.C.: Escritório de Dejetos Sólidos e Centro de Análises Ambientais.  
 S = Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), 1995. A Guide to the Biosolids Risk Assessments for the EPA Part 503 Rule. Washington, D.C.: Office of Wastewater Management. EPA 832-B-93-005.

- (a) A classificação da toxicidade é baseada na dose de referência (RfD) oral, porque, é esperado que a rota de exposição oral seja a rota de exposição mais preocupante. (i.e., ingestão involuntária de solo e ingestão dos produtos agrícolas) e porque todo MOPC tem um RfD oral.
- (b) A classificação relativa da concentração de MOPCs é baseada em uma avaliação qualitativa comparativa das concentrações de MOPCs em diferentes fertilizantes.
- (c) Os fertilizantes fosfatados incluem (mas não são limitados a) misturas N-P-K, DAP, MAP, TSP e SP.
- (d) Os fertilizantes com micronutrientes incluem aqueles contendo boro, ferro, manganês e zinco.
- (e) A avaliações precedentes identificam a existência de estudos relevantes que avaliaram o MOPC.
- (f) Baseado na suposição que cromo III (não cromo VI) é a espécie que está disponível.
- (g) O cádmio é selecionado para avaliação porque é facilmente absorvido pelas plantas e, portanto, tem um alto potencial de exposição. A toxicidade relativa e a concentração também contribuem para essa seleção.

**TABELA 3 - SELEÇÃO DE CENÁRIOS REPRESENTATIVOS E PROTETORES DA SAÚDE**

Populações Potenciais	Rotas de Exposições Potenciais			Selecionados para Avaliação?	
	Solo		Ingestão de produtos agrícolas	Sim (S) ou Não (N)	Razões Fundamentais
	Ingestão Involuntária	Contato Dérmico			
Jardineiro	S	S	S	N	Menor potencial de exposição que o residente rural. (a)
Público Consumidor	N	N	S	N	Menor potencial de exposição que os outros cenários. (a)
Trabalhador Rural (b)	S	S	N	N	Menor potencial de exposição que o residente rural e os avaliados em avaliações anteriores. (c)
Residente Rural (d) (e)	S	S	S	S	<b>O mais elevado potencial de exposição; cenário representativo e protetor da saúde dos outros cenários.</b>

Notas:

Negrito =

RBC =

S =

N =

Selecionado como o cenário de exposição representativo e protetor da saúde.

Concentração Baseada em Risco

Sim, uma rota de exposição plausível e que se espera contribuir significativamente para a exposição.

Não, não é uma rota de exposição plausível.

(a) Cada uma dessas populações tem um potencial de exposição menor quando comparado ao residente rural porque a exposição ao solo fertilizado tanto (1) não ocorre ou (2) ocorre menos frequentemente.

(b) A exposição para um aplicador, incluindo um trabalhador rural foi avaliada em TWG (1999a, b). Não houve risco significativo à saúde nesse cenário de exposição.

(c) Um trabalhador rural tem muito menor potencial de exposição que o residente rural porque a ingestão de produtos agrícolas não é aplicável (ou considerada) nesta população.

(d) Considera-se residente rural, adultos e crianças que vivem em uma propriedade agrícola.

(e) A CDEFA (1998) enfocou o desenvolvimento de RBCs para arsênio, cádmio e chumbo para esta população;

A USEPA (1999b) também enfocou a avaliação de riscos de contaminantes contidos em fertilizantes agrícolas para esta população.

**TABELA 4 - SELEÇÃO DE GRUPOS DE CULTURAS REPRESENTATIVAS E PROTETORAS DA SAÚDE**

Grupos de Culturas Potenciais	Selecionadas para Avaliação?	
	Sim (S) ou Não (N)	Razões Fundamentais
Raízes (a)	S	<b>Espera-se que contribua significativamente para a exposição.</b>
Vegetais (b)	S	<b>Espera-se que contribua significativamente para a exposição.</b>
Grãos (c)	S	<b>Espera-se que contribua significativamente para a exposição.</b>
Frutas (d)	N	Potencial de exposição muito menor quando comparado aos grupos de culturas selecionados para esta avaliação.
Forragem (e)	N	Ingestão de produtos animais eliminada das avaliações posteriores no estágio de definição do escopo.
Grandes Culturas (f)	N	Grandes culturas que são ingeridas por humanos são consideradas em seus grupos de culturas apropriados.

Notas:

Negrito = Selecionados como grupos de culturas representativos e protetores da saúde na equação da RBC. RBC = Concentração Baseada em Risco.

S = Sim, agrupamento de culturas em que se espera significativa contribuição à exposição e está incluída na equação da RBC.

N = Não, agrupamento de culturas em que não se espera significativa contribuição à exposição e não está incluída na equação da RBC.

(a) Culturas de raízes são também chamadas vegetais não expostos ou protegidos. Culturas de raízes incluem: beterrabas, cenouras, funcho, cebolas, pastinaca, batatas, rabanete, couve-nabo-da-suécia, nabo e mangel.

(b) Culturas de vegetais são também chamadas de vegetais expostos ou não protegidos. Estes vegetais se agrupam em uma ampla categoria de culturas.

Exemplos de diferentes tipos de vegetais são folhosos (e.g., endívia, couve, alface, acelga, espinafre e agrião), cabeça e talos (e.g., alcachofra, aspargos, brócolis, couve-de-bruxelas, repolho, couve-flor, aipo e pimentas). Várias frutas também estão incluídas na categoria dos vegetais, porque elas são cultivadas como vegetais (i.e., pepino, berinjela e tomate).

(c) Grãos são uma ampla categoria de culturas. Os grãos podem ser chamados de grãos de campo, grãos de silagem, grãos de forragem ou grãos pequenos e grandes. Somente grãos consumidos por humanos estão incluídos neste grupo. Estes grãos incluem cevada, milho, milheto, aveia, arroz, centeio e trigo.

(d) Culturas de frutas podem ser designadas como trepadeiras (uva), arbóreas (nozes ou limão, limão-taiti e laranja) ou frutas doces (e.g., maçã, melão rosado, figo, uva, kiwi, ruibarbo e morango).

(e) Culturas forrageiras são culturas que são cultivadas com o propósito de alimentar o gado.

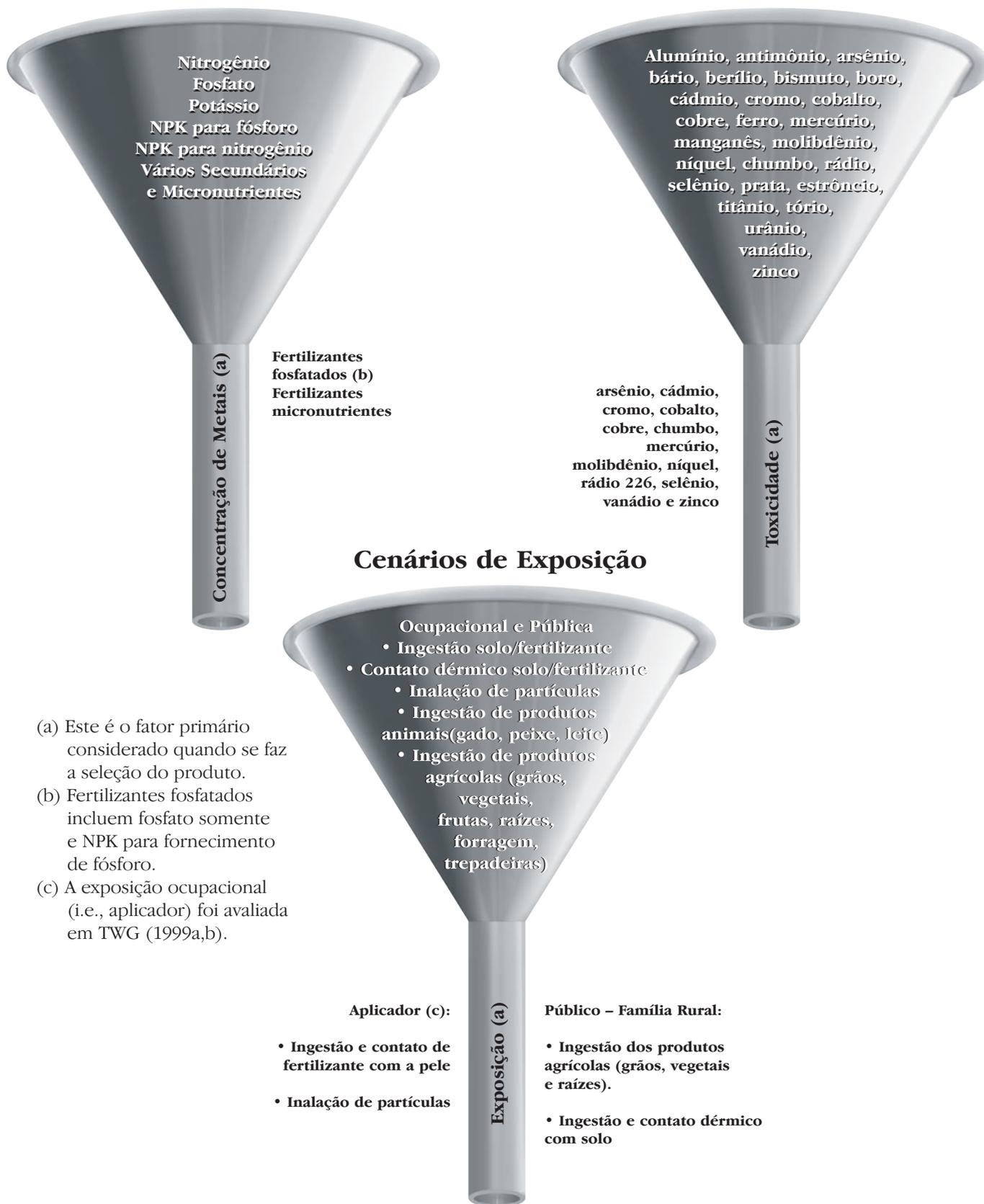
(f) "Grandes culturas" é um termo geral para culturas que crescem em campos. Exemplos de grandes culturas incluem milho, algodão, batata, soja, tabaco ou trigo. As grandes culturas que são ingeridas por humanos serão avaliadas dentro de seu grupo de culturas apropriado (e.g., batatas como culturas de raízes, trigo como grãos).

(g) A CDEA (1998) eliminou frutas e forrageiras do desenvolvimento das RBCs por demonstrar que o risco de exposição a arsênio, cádmio e chumbo foi consideravelmente menor para esse grupo de culturas.

**FIGURA 2. DELIMITANDO O ESCOPO DESTA AVALIAÇÃO DE NÍVEIS ORIENTADORES – ENFOCANDO OS PRODUTOS FERTILIZANTES, METAIS E CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO DE MAIOR PREOCUPAÇÃO**

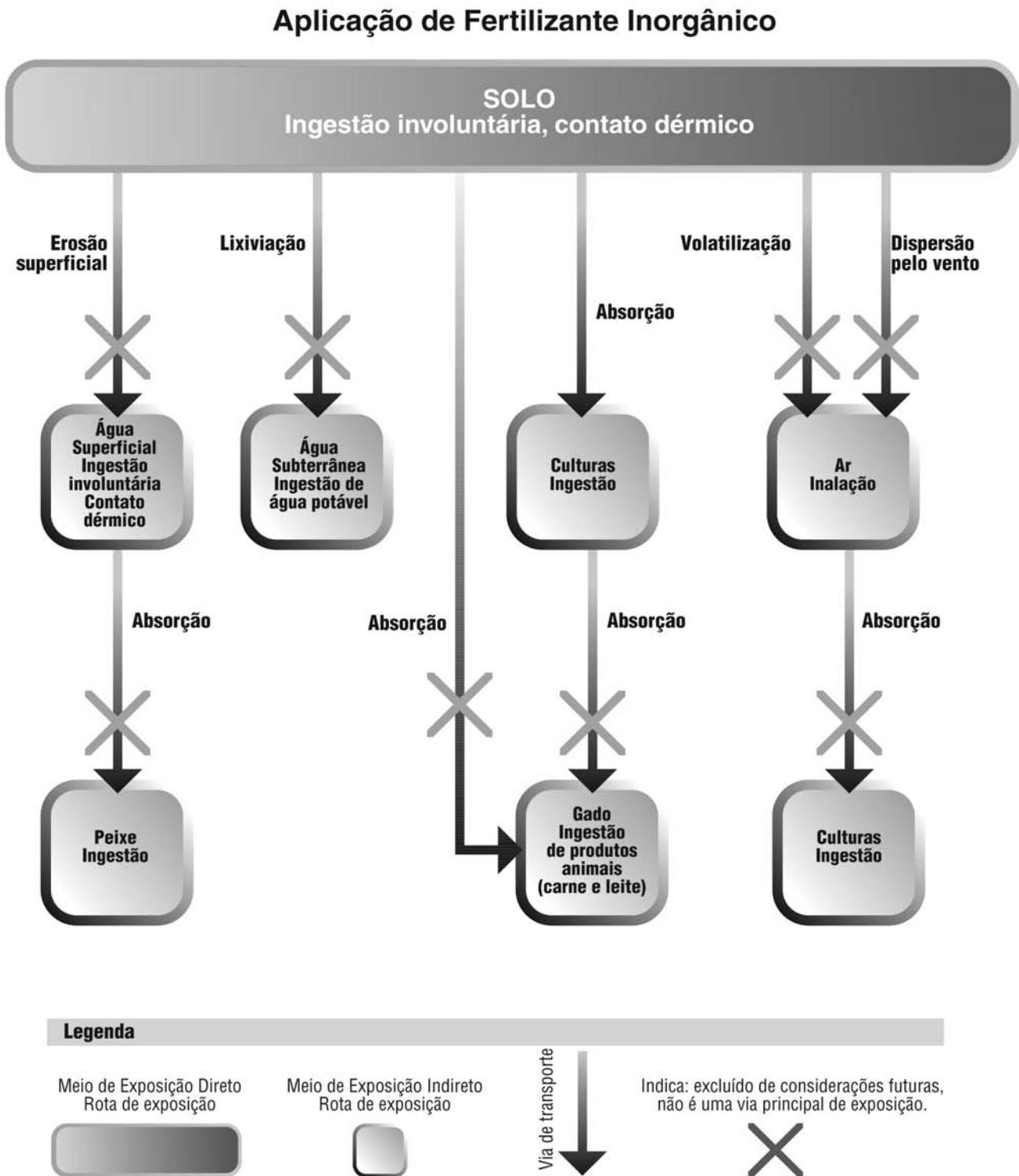
**Produtos Fertilizantes**

**Metais**



- (a) Este é o fator primário considerado quando se faz a seleção do produto.
- (b) Fertilizantes fosfatados incluem fosfato somente e NPK para fornecimento de fósforo.
- (c) A exposição ocupacional (i.e., aplicador) foi avaliada em TWG (1999a,b).

**FIGURA 3. VIAS DE EXPOSIÇÃO POTENCIAIS DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM FERTILIZANTES INORGÂNICOS APÓS A APLICAÇÃO INCLUEM: VIAS DE TRANSPORTE, MEIO DE EXPOSIÇÃO POTENCIAL E ROTAS DE EXPOSIÇÃO ASSOCIADAS**





### GERAÇÃO DE CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCs)

Como observado na introdução, esta avaliação usa uma abordagem padrão contendo um cálculo inverso para avaliar os potenciais riscos à saúde. As RBCs assim geradas são nacionalmente representativas e consideradas protetoras da saúde.

Como definido na Seção 1.0, as RBCs são geradas para representar e avaliar:

- 2 categorias de fertilizantes inorgânicos: fertilizantes fosfatados e contendo micronutrientes;
- 12 MOPCs: arsênio, cádmio, cromo, cobalto, chumbo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio, vanádio e zinco; e um radionuclídeo, o rádio 226;
- Residentes rurais, incluindo adultos e crianças;
- 3 rotas de exposição;
- Ingestão involuntária de solo após a aplicação de fertilizante,
- Contato do solo com a pele após a aplicação de fertilizante,
- Ingestão de produtos agrícolas, os quais estão divididos em 3 grupos: raízes, vegetais e grãos; e Cenários de propriedades agrícolas com um grupo e vários grupos de culturas.

#### Equação de Concentração baseada em Risco (RBC)

A equação de RCB foi estabelecida a partir de práticas de risco e parâmetros de exposição padrões da USEPA (USEPA, 1989).<sup>23</sup> A equação padrão para se calcular o risco combina 3 fatores: a estimativa do contato pela exposição, a toxicidade do elemento de interesse (neste caso MOPC) e a concentração de MOPC no meio de interesse (i.e., fertilizante ou produto). Em um cálculo inverso do risco, a equação é rearranjada para chegar à RBC usando uma estimativa do potencial de exposição, toxicidade e um nível aceitável de risco.<sup>24</sup>

A equação da RBC para uma propriedade agrícola com um grupo de culturas é apresentada a seguir. A equação integra as 3 rotas potenciais de exposição. onde:

<sup>23</sup> As equações de exposição padrão (contaminação) da USEPA e as de risco foram modificadas para se adequar aos cenários avaliados neste relatório.

<sup>24</sup> Guia padrão da USEPA apresentado em USEPA (1991).

## Equação 1.0 RBC para uma propriedade agrícola com um grupo de culturas

$$RBC = \frac{TR \text{ ou } THI}{SACF * \{ AR * 1 / FON * [(\frac{ED * EF * IRs * RAFs * CF}{BW * AT} * TOX) + (\frac{ED * EF * SA * AF * ABS}{BW * AT} * TOX) + (\frac{ED * EF * IRc * RAFC}{BW * AT} * PUF * TOX)]\}}$$

onde:

$$\frac{ED * EF * SA * AF * ABS * CF}{BW * AT} = \text{Fator de aporte sumário (SIFd) via Contato do Solo com a Pele / Fertilizante}$$

$$\frac{ED * EF * IRs * RAFs * CF}{BW * AT} = \text{Fator de aporte sumário (SIFsi) via Ingestão Involuntária de Solo / Fertilizante}$$

$$\frac{ED * EF * IRc * RAFC}{BW * AT} = \text{Fator de aporte sumário (SIFc) via Ingestão de produtos agrícolas}$$

Onde:

RBC	=	Concentração Baseada em Risco (mg MOPC/kg produto);
TR/THI	=	Risco de Câncer ou Índice de Perigo Aceitável (adimensional);
AR	=	Taxa de Aplicação (g/m <sup>2</sup> -ano);
FON	=	Fração do Nutriente no fertilizante (adimensional);
SACF	=	Fator de Acumulação no Solo (m <sup>2</sup> -ano/g);
ED	=	Duração da Exposição (anos);
EF	=	Frequência da Exposição (dias/ano);
BW	=	Massa corporal (kg);
AT	=	Tempo Médio de exposição (dias);
CF	=	Fator de Conversão (1x 10 <sup>-6</sup> kg/mg);
IRs	=	Taxa de Ingestão de Solo (mg/dia);
SA	=	Área de Pele exposta (cm <sup>2</sup> /evento-dia);
AF	=	Fator de Aderência (mg/cm <sup>2</sup> );
IRc	=	Taxa de Ingestão de produtos agrícolas (kg/dia);
RAF	=	Fator de Absorção Relativa (RAF) (adimensional);
ABS	=	Fator de Absorção Dermal (adimensional);
PUF	=	Fator de Absorção pela Planta (adimensional); e
TOX	=	Valores de Toxicidade (mg/kg-dia ou mg/kg-dia <sup>-1</sup> ).

A equação da RBC para cenários de propriedades agrícolas com vários grupos de culturas é mais complicada que para aquelas com um grupo de culturas porque todos os 3 grupos de culturas estão integrados em uma equação. Entretanto, cada grupo tem uma AR e um PUF diferente. A equação RBC para o cenário de propriedades agrícolas com vários grupos de culturas é apresentada a seguir. Note a adição de um novo fator, Fração de Área (FOL) na equação. A FOL é usada para fracionar a adição de MOPC ao solo pelas diferentes taxas de aplicação para diferentes grupos de culturas. Note também o uso de SIFs na equação. Os SIFs são os fatores de aporte sumários que foram gerados para uma propriedade agrícola com um grupo de culturas na Equação 1.

## Equação 2.0 A RBC para Propriedades Agrícolas com Vários Grupos de Culturas

$$RBC = \frac{TR \text{ ou } THI}{(SACF * \{ ARv * 1 / FON * [(SIFs * TOX + SIFd * TOXd) * FOLv ] + PUFv * SIFv * TOX \} + \frac{TR \text{ ou } THI}{\{ARr * 1 / FON * [( SIFs * TOX + SIFd * TOXd ) * FOLr ] + PUFr * SIFr * TOX \} + \frac{TR \text{ ou } THI}{\{ARg * 1 / FON * [( SIFs * TOX + SIFd * TOXd ) * FOLg ] + PUFg * SIFg * TOX \}}}$$

Onde:

FOL	=	Fração de Área (adimensional) (discutida a seguir)
v	=	Vegetal
r	=	Raiz
g	=	Grão

Conforme discutido na Seção 1.0, a Califórnia é o estado que apresenta o maior número de propriedades agrícolas com vários grupos de culturas; então, a RCB para vários grupos de culturas é baseada em uma propriedade agrícola contendo vários grupos de culturas desta região. Uma estimativa aproximada da percentagem de área dedicada a cada grupo de culturas na Califórnia foi feita baseada em uma revisão geral de dados agrícolas (área cultivada com culturas) obtida em USDA (1999). Em adição, a CDFA (1998) foi consultada para FOLs. Valores de FOLs de 50% para grãos, 40% para vegetais e 10% para raízes foram usadas para se calcular as RBCs para vários grupos de culturas.<sup>24</sup>

### Risco de Câncer Aceitável (TR) ou Índice de Perigo Aceitável (THI)

Seguindo procedimentos padrões da USEPA, usou-se neste relatório um risco de câncer (TR) de 1x10<sup>-5</sup> e um índice de perigo (THI) de 1.<sup>25</sup> Em geral, a USEPA usa um risco aceitável de 1x10<sup>-5</sup> (1 em 100.000) nos casos de câncer e um quociente de perigo (HQ) de 1 para efeitos não cancerígenos em seus programas de monitoramento de resíduos perigosos. Um HQ é a determinação de risco não associado a câncer para um MOPC individual. Se os efeitos não associados a câncer para MOPCs individuais forem idênticos, poderia ser necessário reduzir o THI (de 1) para que fossem considerados os efeitos aditivos. Entretanto, como a maioria dos MOPCs possui diferentes efeitos não carcinogênicos (i.e., diferentes efeitos tóxicos) o THI não precisa ser reduzido abaixo de 1.<sup>26</sup>

### Parâmetros do Fator de Aporte Sumário (SIF)

Os fatores de aporte sumários (SIFs) combinam parâmetros de exposição biológica e fatores de absorção para se estimar a contaminação pela exposição. Eles são métodos padronizados, que têm a intenção de simplificar os cálculos da RBC.

<sup>24</sup> A CDFA (1998) também usa esses FOLs para desenvolver RBCs para seus cenários de vários grupos de culturas.

<sup>25</sup> A CDFA (1998) e a USEPA (1999b) usam estes riscos aceitáveis e níveis de HQ em suas análises de risco em fertilizantes.

<sup>26</sup> Os órgãos alvo associados ou efeitos no alvo para cada agente não carcinogênico estão apresentadas em 'Análise de Toxicidade'.

Os parâmetros de exposição biológicos são relacionados ao comportamento e são dependentes da idade. Eles incluem: duração da exposição (ED), frequência da exposição (EF), massa corporal (BW), tempo médio de exposição (AT), taxa de ingestão (IR), área superficial de pele (AS) e fator de aderência (AF). Os valores para todos esses parâmetros de exposição foram desenvolvidos a partir das referências da USEPA e têm a intenção de representar um máximo de exposição razoável (RME). Eles são apresentados na Tabela 5. Como definido em USEPA (1989), o RME é a mais alta exposição que é razoavelmente esperada acontecer e que está bem acima dos casos médios, mas dentro dos limites dos casos de exposição. Em adição, fatores relativos de absorção (RAF) e fatores de absorção pela pele (ABS) foram desenvolvidos conforme apropriados. As informações usadas pra gerar os RAF e os ABS estão apresentadas no Apêndice A. Os RAF e os ABS estão apresentados no Apêndice A, Tabela A-1.

### **Duração da Exposição (ED)**

A duração da exposição (ED) é a quantidade de tempo em que a exposição ocorre e é tipicamente o tempo de residência. A ED para um residente rural adulto é de 30 anos. Esta ED é o padrão recomendado pela USEPA para 95% das famílias residentes em um lar. O valor padrão central (maior que 50%) é de 9 anos. Há também uma estimativa de tempo de residência central para uma propriedade agrícola apresentada em USEPA (1997a) (cerca de 17 - 18 anos), entretanto, a estimativa do limite superior de um tempo de residência geral é considerada a melhor estimativa para um cenário RME. A ED para uma criança na propriedade agrícola é de 6 anos. Esta é uma idade padrão considerada na avaliação de risco para crianças.

### **Frequência de Exposição (EF)**

A frequência de exposição (EF) representa quão freqüente (dias/anos) o potencial para exposição ocorre. A frequência de exposição (EF) para um residente rural adulto e uma criança é 350 dias/ano para todas as rotas de exposição, incluindo contato dérmico, ingestão involuntária de solo e ingestão de produtos agrícolas. Uma EF de 350 dias/ano é recomendada quando se usam taxas de ingestão diárias (excluindo tempo longe de casa para férias). Em adição, uma EF de 350 dias/ano é mais representativa de um clima quente.

### **Tempo Médio de exposição (AT)**

O tempo médio de exposição (AT) depende do efeito tóxico analisado (i.e., se é cancerígeno ou não cancerígeno). Para agentes não carcinogênicos, a contaminação é medida sobre a ED. Na equação de RCB para não cancerígenos, a ED está no numerador da equação de contaminação e AT está no denominador ( $AT=ED*365$  dias/ano). Portanto, AT e ED se cancelam mutuamente. Para agentes carcinogênicos, a contaminação é medida pela divisão da dose cumulativa sobre o tempo de vida (i.e., 70 anos = 25.550 dias) (USEPA, 1989).

### **Massa Corporal (BW)**

Os valores padrões para massa corporal (BW) da USEPA foram usados em adultos e crianças. Os valores de BW são médios; a média é a recomendação estatística para BW quando se avalia o cenário RME (USEPA, 1989). O BW de um adulto é de 71,8 kg (representa idade entre 18 e 75 nos) e o BW de crianças é de 15,5 kg (BW médio para meninos e meninas de 6 meses a 6 anos) (USEPA, 1997a).

## Taxa de Ingestão (IR)

A taxa de ingestão (IR) é a quantidade do meio de interesse (solo ou cultura) ingerido e é apresentada como uma quantidade por dia. A IR se correlaciona com o BW, porque a IR se correlaciona com a idade, a qual se correlaciona com o BW. Como a IR se correlaciona com o BW e a média de BW é sugerida para o cenário RME, as IRs são também estimativas centrais (ou médias). A IR para solo é diferente da IR para culturas (e a IR para cada grupo de culturas é diferente) como discutido a seguir.

- **Solo**

A IR involuntária de solo para um adulto é de 50 mg/dia. Esta é a estimativa central recomendada pela USEPA (USEPA, 1997a). Não há estimativa limite. No passado, as análises de risco típicas da USEPA usavam taxas de ingestão de solo para adultos de 50 mg/dia em ambientes industriais e 100 mg/dia para ambientes residenciais e agrícolas (USEPA, 1997a). O guia mais recente da USEPA (1997a) recomenda uma IR de 50 mg/dia. A despeito disso, usando-se 50 mg/dia ou 100 mg/dia, o efeito na RBC não é significativo, como discutido na seção sobre incertezas.

A IR de solo para uma criança é de 200 mg/dia. Esta é uma estimativa conservativa da média. Uma IR de solo limite estimada de 400 mg/dia foi considerada muito alta para essa análise, porque ela é baseada em um curto período de tempo e não na atividade diária normal (USEPA, 1997a). Como no cenário adulto, o uso de ingestão de solo de 200 mg/dia ou 400 mg/dia não influencia significativamente a RBC (como discutido na seção sobre incertezas).

- **Culturas**

As IRs para cada grupo de culturas (i.e., vegetais, raízes e grãos) são desenvolvidas de informações apresentadas em USEPA (1997a). Já que as IRs para culturas variam por grupo de idade e se correlacionam com o BW, as IRs das culturas já são medidas médias sobre o BW. Portanto, o BW não aparece como um parâmetro independente na equação de consumo das culturas. No desenvolvimento das IRs de culturas, as IRs para cada grupo de cultura consideram todos os dados que são apropriados para aquele grupo de culturas (como listado na Seção 1.0). As IRs de culturas são médias ponderadas de médias, ao longo de grupos de idade de interesse, em uma base per capita. As taxas de consumo per capita são estimativas apropriadas para consumo médio da população em geral (USEPA, 1997a). As IRs são baseadas em dados da USEPA (USEPA, 1997a) e em estudos como os da Pesquisa Contínua do Consumo Individual de Alimentos (Continuing Survey of Food Intakes by Individuals, CSFII) de 1989-1991.

Estas IRs são baseadas na “forma de consumo”, que significa peso fresco ou úmido. Para crianças, os grupos de idade incluídos na média de pesos são as idades 1 – 5. Para adultos, as idades de 6 – 70+ são consideradas. Este grupo de idades também considera adolescentes e adultos jovens.

### *Vegetais*

As IRs de vegetais são desenvolvidas a partir de dados nas tabelas 9-9 (Consumo Per Capita de Vegetais Expostos) e Tabela 9-10 (Consumo Per Capita de Vegetais Protegidos) em USEPA (1997a). Os dados para vegetais expostos considera todos os vegetais apresentados na discussão sobre agrupamento de culturas na Seção 1.0 e vegetais adicionais não listados neste grupo. Os vegetais protegidos, na Tabela 9-10 em USEPA (1997a), são vegetais com uma casca ou pele grossa (não vegetais que crescem sob o solo ou raízes). Exemplos destes vegetais incluem abóbora, moranga, feijão-fava, ervilhas e milho. Vários destes vegetais não se encaixam na categoria “vegetais”, conforme definida neste relatório (especialmente o milho), entretanto, todos os vegetais expostos ainda estão incluídos no desenvolvimento de IRs para vegetais. A IR de vegetais é a IR por peso por idade para vegetais protegidos mais os expostos.

A IR de vegetais para um adulto é 1,7 g/kg-dia. A IR de vegetais para uma criança é de 2,9 g/kg-dia.

## ***Raízes***

As IRs para culturas de raízes foram desenvolvidas a partir dos dados da Tabela 9-11 (Consumo de Raízes de Vegetais Per Capita) em (USEPA, 1997a). Exemplos de raízes de vegetais considerados nesta tabela são batatas, cenouras, beterrabas, alho, cebolas, rabanetes, rutabaga e alho-poró.

A IR de raízes para adultos é de 1,1 g/kg-dia e a IR de raízes para crianças é de 2,1 g/kg-dia.

## ***Grãos***

As IRs para grãos foram desenvolvidas a partir dos dados apresentados na Tabela 12-1 (Consumo Total de Grãos Incluindo Misturas Per Capita) em (USEPA, 1997a). Estas IRs foram desenvolvidas do mesmo modo que as IRs para vegetais e raízes (i.e., tempo médio de exposição ponderado, baseado na média e per capita). O total de grãos apresentados nesta tabela inclui pães, doces (bolos, tortas e pastéis), alimentos com grãos no café da manhã massas, cereais e arroz e mistura de grãos.

A IR de grãos para um adulto é de 3,4 g/kg-dia e a IR de grãos para uma criança é de 9,4 g/kg-dia.

## **Fração Ingerida (FI)**

Um parâmetro que não é mostrado na equação RBC, mas é computado e precisa ser mencionado é a fração ingerida (FI). A FI pode ser aplicada para qualquer meio de interesse (solos ou culturas) ingerido e é a fração (ou porção) de solo ou cultura que é originada de uma fonte (neste caso, solo após a aplicação de fertilizantes ou culturas que crescem neste solo). Para finalidade de uma avaliação por níveis orientadores, assume-se que todo (100%) do solo ou culturas venha da propriedade agrícola, portanto, a FI é 1. Uma FI de 1 é o valor de FI que mais protege a saúde (conservativo). Desde que FI é 1, para simplificar, ela não está presente na equação da RBC.

## **Área de Pele exposta (SA)**

A área de pele exposta (SA) é a área da pele que está acessível a contatos dérmicos com solo/fertilizantes. A SA da pele foi baseada no mais recente guia dérmico da USEPA (1998b). Da mesma forma que a IR, a SA da pele se correlaciona com o BW. Portanto, as estimativas médias ou centrais são recomendadas para o cenário RME.

Para exposição ao solo, a estimativa central recomendada da SA da pele para um adulto é de 5.700 cm<sup>2</sup>/dia; a SA da pele recomendada para uma criança é de 2.900 cm<sup>2</sup>/dia (USEPA, 1998b). A SA da pele para um adulto é baseada em um clima quente de forma que provavelmente mais pele deve estar exposta. A SA da pele de um adulto é baseada em um adulto vestindo camisa de manga curta, shorts e sapatos; as áreas expostas são a cabeça, as mãos, braços e pernas. A SA da pele de crianças é também baseada em um cenário de clima quente e uma criança vestindo camisa de manga curta e shorts, entretanto sem sapatos. Para a criança, a SA é 45% do total da SA da pele (USEPA, 1998b).

## **Fator de Aderência (AF)**

O fator de aderência (AF) é uma estimativa da quantidade de solo que adere à pele. Como ocorreu para a SA da pele, o guia dérmico mais recente da USEPA (1998b) foi consultado para os valores de AF. Os AFs variam dependendo do cenário de exposição. Por exemplo, os AFs estão disponíveis para um jardineiro, um trabalhador em viveiro ou um arqueólogo. O AF selecionado para um adulto é o padrão da USEPA recomendado para um adulto, 0,08 mg/cm<sup>2</sup>-evento. Este AF é para um cenário residencial e é baseado em jardinagem ao ar livre. O AF padrão recomendado para uma criança é de 0,3 mg/cm<sup>2</sup>-evento (USEPA, 1998b).

## Parâmetros de Absorção

Como pode ser observado na equação de RBC, há dois parâmetros adicionais no SIF, o fator de absorção relativa (RAF) e o percentual de absorção dérmico (ABS). Estes parâmetros se ajustam às estimativas de contaminação para uma “dose” absorvida real. A dose absorvida refere-se à quantidade de MOPC que é realmente absorvida pelo fluxo sanguíneo após a exposição e a contaminação. O RAF e o ABS ajudam a desenvolver uma RBC mais real estimando a fração de MOPC que é absorvida realmente na corrente sanguínea e não apenas a exposição (i.e., ingerido ou contato). A absorção é representativa da fração de MOPC que está disponível (i.e., biodisponível). A biodisponibilidade é a fração do contaminante específico em um meio (e.g., solo ou cultura) que é absorvida na corrente sanguínea através de barreiras fisiológicas. Sem a incorporação destes fatores, as RBCs podem ser superestimadas. Entretanto, estes parâmetros são somente usados quando apropriado e quando os dados estão disponíveis. As informações de suporte ao RAF estão apresentadas no Apêndice A. Para os MOPC para os quais os dados não estão disponíveis, assume-se um RAF de 100%. Este é o caso para a maioria dos MOPCs. Um RAF foi desenvolvido para a RBC para arsênio e chumbo, como discutido a seguir. Em adição, para a maioria dos MOPCs, um ABS padrão para metais de 1% é usado (USEPA, 1998b).

- **Fator de Absorção Relativo (RAF)**

O RAF tem a intenção de garantir que os valores de toxicidade e contaminação estimada sejam baseados em estimativas comparáveis de ingestão (baseados em uma dose absorvida ou administrada e em meios iguais ou similares). Portanto, o RAF depende de: (1) se o valor de toxicidade é uma dose “administrada” ou absorvida real e (2) da absorção tanto do meio de estudo da toxicidade quanto do meio de interesse (i.e., solo ou cultura). O RAF é o percentual de MOPC que é absorvido do meio de interesse [após a ingestão e a absorção através do trato gastrointestinal (GI)] dividida pela percentagem de absorção GI usada no estudo de toxicidade oral.

A contaminação estimada e a toxicidade associada de arsênio pela ingestão de solo é ajustada pelo RAF. O valor de toxicidade oral para arsênio é baseado na dose administrada via exposição a arsênio em água potável. Um estudo aplicável e aceitável sobre a biodisponibilidade de arsênio foi encontrado. Este estudo determinou a biodisponibilidade de arsênio em um solo de 42% (Rodriguez et al., 1999). A absorção percentual de arsênio em água potável é de 95% (USEPA, 1999c). Portanto, uma RAF para arsênio em solo de 44% ( $42\% \div 95\%$ ) é incorporada na RBC.

Em adição, a contaminação estimada de chumbo no trato GI após uma ingestão involuntária de chumbo presente em solo e em produtos agrícolas e a toxicidade associada é ajustada pela RAF. Como a toxicidade de chumbo é baseada em um nível aceitável de chumbo no sangue, o qual é um nível absorvido (ou dose), a contaminação também necessita ser ajustada para uma dose absorvida. A absorção pelo GI de chumbo presente em solos e culturas após a ingestão é de 0,41 e 0,50, respectivamente (USDHHS, 1997). A contaminação estimada para ingestão involuntária de solo e ingestão de produtos agrícolas e a toxicidade associada estão ajustadas conforme estes valores.

Assume-se um RAF padrão de 100% (ou 1) para todos os outros MOPCs e suas rotas de exposição associadas.

- **Fator de Absorção Dermal (ABS)**

Todos os valores de toxicidade para as rotas de exposição dérmica são baseados em uma dose absorvida (como descrito na Seção de Avaliação da Toxicidade). Portanto, a contaminação pelo contato dérmico precisa estar em uma dose absorvida. A fator de absorção dérmica (ABS) estima a quantidade de MOPC que é absorvida através da pele para a corrente sanguínea após o contato dérmico. Valores orientadores ABS são usados (1% para todos os MOPCs, exceto 3% para arsênio) e foram obtidos de USEPA (1998b).

## **Taxa de Aplicação (AR) e Fração de Nutriente (FON)**

A taxa de aplicação (AR) é um parâmetro muito importante na equação da RBC e pode influenciar a RBC grandemente. Como definido no estágio de escopo desta avaliação (Seção 1.0), as RBCs foram desenvolvidas para fertilizantes fosfatados e fertilizantes com micronutrientes contendo zinco. As taxas de aplicação (ARs) para os fertilizantes fosfatados e com o micronutriente zinco estão apresentadas na Tabela 6.

Também, conforme discutido na Seção 1.0, a AR é dependente da necessidade da planta por nutrientes (P ou zinco) e da composição do produto, especificamente, a percentagem de nutrientes (percentual de P ou Zn). As ARs variam para diferentes culturas e diferentes produtos. As ARs para cada um dos três grupos (vegetais, raízes e grãos) foram desenvolvidas para fósforo e zinco baseadas na informação apresentada em USEPA (1999a). Entretanto, estas ARs foram baseadas nas necessidades de nutrientes de culturas e não em produtos específicos (i.e., elas não consideram o percentual de nutrientes dos produtos). Estas ARs (ou necessidades de nutrientes) irão variar dependendo da percentagem de nutrientes dos produtos. Por exemplo, produtos com alto percentual de P serão menos aplicados que um produto com um alto percentual de P de forma a atingir as necessidades de nutrientes da planta. O percentual de P para fertilizantes fosfatados varia consideravelmente de fertilizante para fertilizante (como pode ser observado na Tabela 1, este percentual de P varia de 2,0 - 70,1).

As RBCs são utilizadas para avaliações por níveis orientadores e precisam ser fáceis de usar e flexíveis. Portanto, as RBCs são normalizadas para representar um conteúdo de 1% da fração de nutrientes (FON). Estas RBCs são chamadas RBCs unitárias. As RBCs unitárias podem ser facilmente ajustáveis para representar um produto particular com um certo conteúdo percentual de nutrientes (o conceito de RBC unitária e seu ajuste são discutidos com mais detalhes na Seção 4.0).

As ARs para P (e, portanto, fertilizantes fosfatados) são baseadas nos dados apropriados e disponíveis apresentados em USEPA (1999a). Os dados para todas as culturas e todo estado, sem levar em conta a área geográfica, foram compilados para a base de dados usada para desenvolver as ARs para P. O conjunto de dados compilados para cada grupo de culturas é apresentado no Apêndice A. As ARs estão acima de 95% do limite de confiança (UCL) da média (assumindo-se que os dados estão normalmente distribuídos). Embora este conjunto de dados possa não estar distribuído normalmente, o UCL95 da média é considerado uma estimativa apropriada porque está num limite suficientemente alto. Os ARs estão apresentados em USEPA (1999a) em unidades de lb/acre-ano. Estas ARs podem ser convertidas para g/m<sup>2</sup>-ano pela multiplicação por 0,11 g-acre/lb-m<sup>2</sup> (para unidades apropriadas na RBC) e então ajustadas para refletir 1% FON. Para converter lb/acre para kg/ha, o fator de multiplicação é 1,12.

Os limites superiores de ARs para fertilizantes fosfatados são:

Vegetais =	119 lb/acre-ano ou cerca de 130 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha (13 g/m <sup>2</sup> -ano);
Raízes =	57 lb/acre-ano ou cerca de 170 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha (17 g/m <sup>2</sup> -ano); e
Grãos =	63 lb/acre-ano ou cerca de 70 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha (7 g/m <sup>2</sup> -ano).

A informação disponível sobre a aplicação de micronutrientes é limitada. A informação e ARs apresentados em USEPA (1999a) foi baseada em entrevistas com especialistas. O "alto" AR para o micronutriente zinco apresentado em USEPA (1999a) de 10 lb/acre (1 g/m<sup>2</sup>-ano) é a melhor estimativa. Esta é a AR usada para todos os fertilizantes contendo micronutrientes e para todos os grupos de culturas.

## **Fator de Acumulação no Solo (SACF)**

O fator de acumulação do solo (SACF) estima quanto de um MOPC se acumula no solo após várias aplicações anuais (em anos de cultivo) e leva em conta uma perda estimada de MOPC no solo pelo transporte de MOPC para o meio ao redor. A acumulação e comportamento do MOPC no solo pela aplicação agrícola dependem essencialmente de: (1) duração do cultivo (anos), (2) taxa de aplicação (AR) do fertilizante, (3) a concentração de MOPC no fertilizante e (4) o destino e transporte de MOPC no

solo. Além disso, o destino e o transporte dependem da condição do solo, condição climática e parâmetros específicos dos MOPCs (i.e., forma do MOPC, coeficiente de distribuição ou de partição água-solo, etc.). A USEPA tem desenvolvido modelos que estimam a acumulação de MOPC no solo após aplicação (USEPA, 1990; 1993). Estes modelos foram modificados pela CDFa (1998) com o intuito de desenvolver uma RBC (Equação 3.0); a equação resultante é apresentada a seguir.

A equação modificada (Equação 4.0) é também apresentada a seguir. Como pode ser observado na Equação 4.0, o SACF está relacionado à duração da aplicação, à profundidade do solo onde se espera acumular o MOPC, ao potencial de perda do MOPC do solo por meio de vias de transporte potencial (considerado perda) e a características do solo (e.g., densidade global). O destino e o transporte do MOPC no solo ao longo dos anos de cultivo dependem da forma do MOPC, do tipo (i.e., arenoso ou silteoso) e das condições do solo (e.g., conteúdo de matéria orgânica do solo, pH do solo) e das condições climáticas da área. Visto que a SACF depende de vários fatores, os quais variam em função de condições as mais diversas, nem todas as situações podem ser representadas quando se desenvolve a RBC. Em vez disso, e mantendo o intuito desta avaliação de níveis orientadores, é estimado um SACF que é baseado em limites superiores assumidos como representativos nacionalmente (resultando em RBCs mais protetoras) e um SACF que é baseado nos mais importantes parâmetros e vias de perda. O desenvolvimento de SACF não considera fatores específicos dos MOPCs (exceto  $K_d$ ), tais como a forma do MOPC (especificação e complexação) e é baseado em suposições gerais, não específicas. Todos os parâmetros usados para se calcular os SACFs são apresentados na Tabela 7. Os SACFs são apresentados na tabela 8.

### Equação 3.0 Concentração no Solo Acumulada

$$Sc = \frac{AR * [1 - \exp(-K_s * T)] * 100}{Z * BD * K_s}$$

onde:

- Sc = concentração no solo acumulada (mg/kg);
- AR = taxa de aplicação (taxa de deposição) de metal (g/m<sup>2</sup>-ano);
- K<sub>s</sub> = constante de perda de solo (ano<sup>-1</sup>);
- T = período de tempo total (tempo da avaliação) sobre o qual a deposição ocorre (anos);
- 100 = fator de conversão (mg-m<sup>2</sup>/kg-cm<sup>2</sup>);
- Z = profundidade de mistura com o solo (cm); e
- BD = densidade global do solo (g/cm<sup>3</sup>).

#### Equação 4.0 Fator de Acumulação no Solo (SACF)

$$SACF = \frac{10^{-6} * [1,0 - \exp(-K_s * T)] * 100}{Z * BD * K_s}$$

onde:

- SACF = fator de acumulação no solo (m<sup>2</sup>/ano-g);  
10<sup>-6</sup> = fator de conversão (kg/mg);  
T = período de tempo total sobre o qual a deposição ocorre (anos);  
Z = profundidade de mistura com o solo (cm);  
BD = densidade global do solo (g/cm<sup>3</sup>); e  
K<sub>s</sub> = constante de perdas do solo (ano<sup>-1</sup>).

#### Tempo de Aplicação (T)

Os MOPCs são adicionados ao solo ao longo de anos de cultivo. Por causa das perdas da zona radicular a taxa de acumulação de MOPCs no solo será lenta ao longo dos anos. Eventualmente, a partir de aplicações ano após ano no mesmo solo, espera-se que as concentrações de MOPCs alcancem um equilíbrio. Assume-se que o número de anos que isso leva até os MOPCs alcançarem o equilíbrio seja de 50 anos, exceto para chumbo onde a duração da aplicação é de 200 anos. As durações das aplicações foram desenvolvidas em CDFA (1998).

#### Profundidade de Cultivo do Solo (Z)

A profundidade de cultivo do solo (Z) é a profundidade do solo que se espera que seja cultivada. Um Z padrão de 20 cm é usado (USEPA, 1998a).

#### Densidade Global do Solo (BD)

É usada uma BD de 1,5 g/cm<sup>3</sup>, padrão da USEPA (1998a). Esta BD é baseada em um solo siltoso.

## Definindo o Destino e o Transporte Potencial (Vias de Perda) (Ks)

Como pode ser observado na Figura 3, as substâncias químicas em solos podem ser perdidas por meio de quatro vias de transporte potenciais incluindo degradação, lixiviação, erosão e volatilização. A perda de MOPCs por essas vias de transporte diminui a quantidade de MOPCs que se acumula no solo e que está disponível para: (1) exposição por meio de contato direto com o solo ou (2) absorção pelas culturas. Somente a lixiviação é considerada um mecanismo (ainda que seja uma pequena quantidade) de perda de metais do solo.<sup>25</sup> Todas as outras vias de transporte não estão consideradas no desenvolvimento do SACF porque elas são: (1) não plausíveis ou (2) são de menor importância.<sup>26</sup> A equação que é usada na determinação da perda causada pela lixiviação é apresentada a seguir (Equação 5.0). Esta equação é adotada pela USEPA (1993).

### Equação 5.0 Perda de Metais Causada pela Lixiviação no Solo

$$ksl = \frac{P + I - Ev}{\Theta * Z * (1.0 + BD * K_d / \Theta)}$$

Onde:

<i>ksl</i>	=	perda de metais causada pela lixiviação (ano <sup>-1</sup> )
<i>P</i>	=	precipitação média anual (cm/ano)
<i>I</i>	=	irrigação média anual (cm/ano)
<i>Ev</i>	=	evapotranspiração média anual (cm/ano)
<i>K<sub>d</sub></i>	=	coeficiente de partição solo-água (mL/g)
$\Theta$	=	conteúdo volumétrico de água no solo (mL/cm <sup>3</sup> )

A Equação 5.0 foi posteriormente reduzida porque a irrigação é designada a conter a perda por causa da evapotranspiração; portanto, a evapotranspiração e irrigação estão excluídas desta equação.

<sup>25</sup> A lixiviação de MOPCs para a água subterrânea e a conseqüente ingestão de água potável foi eliminada como uma via de exposição (como apresentado na Figura 3). Embora se espere que a quantidade de MOPCs que lixiviam seja pequena e não contribuam significativamente para a exposição, a perda de MOPCs através da lixiviação é ainda maior que a perda por meio de outras vias de transporte.

<sup>26</sup> As outras 3 vias de perda, degradação, erosão e volatilização foram previamente determinadas a: (1) não ocorrer ou (2) ser de pouca importância como uma via de perda de metais em solos agrícolas (CDFA, 1998).

## Precipitação (P)

Assume-se uma estimativa de precipitação padrão da USEPA (1998a) de 28 cm/ano. Esta precipitação é uma taxa relativamente baixa quando comparada à perspectiva nacional. Os limites das taxas de precipitação através do país são de aproximadamente 18 cm/ano até 165 cm/ano (USEPA, 1998a). Quanto menor a taxa de precipitação menor o potencial de lixiviação e mais MOPCs no solo.

## Partição Solo-Água (Kd)

Os coeficientes de partição solo-água (Kd) são usados para se estimar quanto se espera que os MOPCS se movam da fase solo para a fase água. Este movimento de um MOPC para a fase líquida faz o MOPC mais biodisponível. Os MOPCs biodisponíveis são disponíveis para se movimentarem para longe do solo, por exemplo, por meio da absorção por plantas ou lixiviação para águas subterrâneas. O Kd é mais bem determinado por estudos empíricos e não modelados.<sup>27</sup> O Kd é a razão entre a concentração de metal no solo total sobre a concentração de metal dissolvido (ou metal na fase aquosa). O Kd é altamente influenciado pelas características do solo (e.g., conteúdo de matéria orgânica e especialmente o pH). Geralmente, quanto menor o pH, maior o Kd (e mais solúvel e mais biodisponível é o MOPC). (Nota dos tradutores: esta relação inversa entre pH e Kd não é válida para solos tropicais, a não ser para oxianions)

Os valores de Kd foram conseguidos por meio de um artigo que compilou Kds empiricamente derivados da literatura existente e desenvolveu uma distribuição destes valores. A literatura apresenta Kds para a maioria dos MOPCs em diferentes tipos de solo (argilosos e siltosos) e um limite de pH de 4,5 - 9,0 (Baes e Sharp, 1983). O Kd selecionado para o uso em SACF é um valor médio. Como não há valores para mercúrio, níquel e vanádio em Baes e Sharp (1983), os Kds para estes MOPCs foram adotados de USEPA (1995) e Guerriste et al. (1982). Estes valores são também estimativas médias. O tipo de solo em Guerriste et al. (1982) foi um arenoso e areno-siltoso com pHs de 5,0 e 8,0, respectivamente.

## Conteúdo Volumétrico de Água no Solo (Q)

Usou-se um conteúdo volumétrico de água no solo (Q) padrão de 0,2 mL/cm<sup>3</sup> (USEPA, 1998b).

## Fatores de Absorção pelas Plantas (PUFs)

Como a AR, o fator de absorção pela planta (PUF) é um parâmetro crítico na equação da RBC.<sup>28</sup> O PUF estima a quantidade de MOPCs presentes no solo que são adquiridos pelas culturas.<sup>29</sup> O PUF é específico para MOPCs e é determinado através de estudos experimentais que medem a concentração de MOPCs no solo e então MOPCs no tecido de plantas que crescem nesse solo. Basicamente, o PUF é a razão do total (não extraível, como discutido a seguir) da concentração de MOPCs na planta sobre a concentração de MOPCs no solo. Em adição à influência do tipo de cultura e MOPC, há muitos outros fatores que influenciam o PUF. Estes fatores incluem o plano do estudo (e.g., estudos em casa de vegetação ou em vasos ou em campo), forma do MOPC e tipos de solo e condições do estudo. Cada um destes fatores foi considerado quando se selecionaram estudos que foram usados para o desenvolvimento dos PUFs. Uma apresentação dos critérios de seleção do estudo está no Apêndice B, junto à estatística sumária para cada conjunto de dados de PUF. Os PUFs que são usados para se calcular as RBCs são apresentados na tabela 9.

---

<sup>27</sup> Como discutido em USEPA (1999b).

<sup>28</sup> Na análise de sensibilidade da CDFa (1998), o PUF foi determinado como sendo um dos parâmetros mais sensíveis para a maioria das RBCs.

<sup>29</sup> O PUF é também chamado de coeficiente de transferência ou razão de transferência.

## Estudos em Casa de Vegetação, em vasos e em Campo

O plano de estudo (i.e., casa de vegetação, pote ou campo) irá influenciar o PUF. Geralmente, quando o sistema radicular das plantas e solo está confinado, como em estudos em casa de vegetação ou em vasos, a oportunidade para absorção de MOPCs pela planta aumenta. A alta absorção poderia resultar de uma temperatura elevada do solo e diferenças na evapotranspiração (Chaney et al., 1999) e, em comparação, em estudos de campo, o sistema radicular ocupa um grande espaço e se situa em um sistema solo mais diluído, que permite um menor potencial para absorção de MOPCs. Não obstante, em virtude de, às vezes, termos informações limitadas dos estudos de campo, os estudos em casa de vegetação e em vasos estão incluídos na base de dados de PUF.<sup>30</sup>

### Tipo de Fertilizantes

A forma química dos MOPCs em fertilizantes influencia o PUF e é mais provável que a forma do MOPC seja diferente em diferentes tipos de fertilizantes. Em geral, a forma dos MOPCs em fertilizantes é diferente em fertilizantes orgânicos quando comparados a fertilizantes inorgânicos. Dado que esta avaliação tem foco em fertilizantes inorgânicos, os estudos usando fertilizantes inorgânicos são de maior interesse.

Os MOPCs em fertilizantes inorgânicos são geralmente impurezas e são usualmente parte de um complexo relativamente imóvel. A absorção de MOPCs pelas plantas em fertilizantes fosfatados é geralmente menor que alguns outros fertilizantes, como cloreto solúvel ou sais de sulfato. Os MOPCs nestes fertilizantes, que são extremamente solúveis, são muito mais disponíveis para absorção pelas plantas. Os MOPCs em fertilizantes inorgânicos usualmente apresentam maior absorção pelas plantas que os MOPCs em fertilizantes orgânicos. Os MOPCs em fertilizantes orgânicos tendem a ter um aumento na capacidade de serem sorvidos ao solo por causa da presença de vários óxidos metálicos hidratados (alumínio, ferro e manganês) (Chaney et al., 1999). Em geral, os estudos usando fertilizantes orgânicos não são apropriados para o desenvolvimento de PUFs para aplicação de fertilizantes inorgânicos. Entretanto, estudos usando fertilizantes orgânicos (lodo de esgoto) estão incluídos na base de dados quando a adição de um fertilizante orgânico foi “similar” à adição de um fertilizante inorgânico. Estes estudos foram usados somente se:

1. O experimento incluiu uma parcela não tratada (controle) com rendimentos típicos das plantas. As parcelas controle com rendimentos atipicamente baixos foram acessadas por serem inadequadamente fertilizadas e, portanto, inapropriadas para se avaliarem PUFs
2. O lodo foi adicionado há muitos anos atrás e as concentrações de MOPC no solo alcançaram o equilíbrio.
3. Cinzas foram adicionadas ao solo em níveis não tóxicos e, como o lodo, foi permitido que se alcançasse o equilíbrio com o solo dos arredores.

### Tipo e Condição do Solo

O PUF é também influenciado pelo tipo de solo (e.g., areno-siltoso, arenoso) e condições de solo (e.g., pH, capacidade de troca catiônica, temperatura e umidade), porque estes fatores irão afetar a forma e o comportamento dos MOPCs no solo. Os estudos incluídos na base de dados de PUF representam uma ampla variedade de condições de solo que cobrem limites amplos de propriedades químicas e físicas. A base de dados incluiu informações obtidas por todo os EUA e alguma informação do Canadá, Europa, Austrália e outros países. Uma avaliação da variabilidade destes fatores específicos de solo não foi conduzida na base de dados de PUF, entretanto, a base de dados é considerada grande o suficiente para não

---

<sup>30</sup> A USEPA (1999b) conduziu uma análise de sensibilidade sobre o uso de estudos em campo versus em vasos para estimar os riscos de fertilizantes e produziu dados sobre os estudos de campo como as informações mais apropriadas para usar neste cenário. Mais especificamente, os PUFs desenvolvidos a partir de estudos em vasos são muito maiores que os PUFs de estudos em campo; portanto, os estudos em campo são mais apropriados para o cenário de exposição.

ser afetada pelos efeitos destas variáveis. Em adição, uma estimativa do limite superior de PUF foi usada no desenvolvimento da RBC para representar condições em que possa ocorrer alta absorção pelas plantas.

### **Estudos que não serão considerados**

Alguns estudos foram excluídos da base de dados de PUF porque não apresentavam informações úteis o suficiente. Em particular, os estudos que não relataram as concentrações totais de metais no solo (ou pelo menos dados suficientes para se calcular a concentração total de metais no solo) foram excluídos da base de dados. Estes estudos relatam tipicamente concentrações extraíveis (ou disponíveis para plantas) do solo. A concentração de MOPCs disponível para plantas (i.e., extraível) no solo não se correlaciona bem com a concentração total de MOPCs no solo por causa do uso de diferentes métodos de extração e não é considerado um valor bom para se estimar PUFs.<sup>31</sup> Em geral, os PUFs desenvolvidos a partir de concentrações extraíveis de MOPCs são menores que os PUFs desenvolvidos a partir de concentrações totais de MOPCs.

Em adição, estudos nos quais os métodos foram considerados inapropriados ou não aplicáveis a este cenário foram excluídos. Por exemplo, aqueles estudos nos quais as taxas de aplicação de fertilizantes foram exageradas, em comparação às taxas de aplicação utilizadas na prática, foram excluídos da base de dados.

### **Apresentação dos PUFs**

Os PUFs para cada MOPC e grupo de culturas são apresentados na tabela 9. Os PUFs estão apresentados tanto em peso seco como úmido. A maioria dos estudos apresentam concentrações de planta e solo com base em peso seco; pesos secos são geralmente mais constantes que peso úmido. Entretanto, os PUFs precisam estar nas mesmas unidades assim como as taxas de ingestão (IR). As IRs estão apresentadas em "base como consumida" (como consumidas é o mesmo que peso úmido), portanto, as PUFs são convertidas de peso seco para úmido. Esta conversão é feita pela multiplicação do PUF em peso seco pela fração de peso seco para a cultura sobre a fração de peso seco do solo. A percentagem (ou fração) de peso seco é gerada a partir da percentagem de peso úmido (ou valores de umidade) (i.e.,  $100\% \text{ do peso} - \% \text{ peso úmido} = \% \text{ peso seco}$ ). A fração de peso seco para vegetais, raízes e grãos são 10%, 11% e 90%, respectivamente. Estes valores são baseados em dados padrão da USEPA (1997a). A fração peso seco para solo é 90%. Esta fração é baseada em um solo areno-siltoso porque este é o tipo de solo usado na maioria dos estudos. A despeito do tipo de solo, a percentagem do conteúdo de umidade do solo é tipicamente baixa; portanto, a fração peso seco é normalmente alta. Os PUFs na Tabela 9 estão no limite de confiança superiores (UCL) a 90% da média geométrica, a qual é uma estimativa em um limite elevado. Geralmente, os dados para PUFs são distribuições do tipo log-normal.

### **Avaliação de Toxicidade**

No desenvolvimento das RBCs, a toxicidade dos MOPCs foi avaliada para resultados que incluem tanto efeitos cancerígenos quanto não cancerígenos (notar as exceções para chumbo, como discutido abaixo). Os valores de toxicidade foram obtidos do Sistema Integrado de Informação de Risco (IRIS) online da USEPA (USEPA, 1999c), Tabelas Sumárias de Avaliação dos Efeitos à Saúde da USEPA (HEAST) (USEPA, 1997b) e valores de concentração tóxica baseadas em risco, da USEPA, Região III (USEPA, 1999c). Os valores de toxicidade dérmica e oral são apresentados na Tabela 10.

Para vários MOPCs (i.e., cromo e mercúrio) os valores de toxicidade dependem da forma do MOPC. Por exemplo, os valores de toxicidade estão disponíveis para cromo III e cromo VI. Para mercúrio, os valores de toxicidade estão disponíveis para mercúrio elementar, cloreto de mercúrio e metilmercúrio. As suposições sobre a forma dos MOPCs que são mais facilmente encontradas em solos após

---

<sup>31</sup> Opinião do especialista Dr. Roland Hauck, de Florence, AL. Comunicação Pessoal, 1999.

anos de aplicação de fertilizantes inorgânicos foram feitas e os valores de toxicidade apropriados são usados para calcular a RCB, Em resumo, cromo III e cloreto de mercúrio (ou mercúrio divalente) são mais facilmente encontrados no solo e estão mais disponíveis para absorção e exposição potencial que as outras formas destes MOPCs.

### **Efeitos Carcinogênicos**

Para MOPCs que exibem potencial carcinogênico, os fatores de inclinação (SF) foram desenvolvidos pelo Grupo de Trabalho Organizado para Verificar Análises de Risco Carcinogênico (CRAVE) da USEPA. Estes fatores de inclinação provêm de estudos crônicos com animais ou, quando possível, de dados epidemiológicos humanos e representam o risco adicional de câncer ao longo da vida associado a vários níveis de exposição. Os fatores SFs são expressos em termos de dose, em unidades equivalentes a (mg da substância química/kg de massa corporal/dia)-1. Eles descrevem uma probabilidade adicional relacionada a um risco individual de se desenvolver câncer após um tempo de vida de 70 anos por unidade de exposição ou dose, onde a unidade de exposição aceitável é expressa como mg substância química/kg massa corporal/dia (mg/kg/dia). Em adição ao desenvolvimento do SF, a USEPA designa uma classificação de evidência para cada carcinogênico, as quais também estão na Tabela 10.

### **Efeitos Não Carcinogênicos**

O critério de toxicidade para substâncias que podem potencialmente causar efeitos não carcinogênicos baseia-se nas doses de referência (RfDs). A RfD é um nível limite além do qual podem resultar efeitos tóxicos. As RfDs são expressas em termos de dose, na unidade (mg substância química/kg massa corporal/dia). As RfDs crônicas orais são desenvolvidas para ter um papel protetor da saúde à exposição a uma substância química por um longo tempo. Para gerar uma RfD, uma série de julgamentos profissionais são feitos para acessar a qualidade e a relevância dos dados provenientes de humanos ou animais e para identificar o estudo crítico e o efeito tóxico. É usado um nível de toxicidade de um estudo crítico, preferivelmente o nível aonde nenhum efeito adverso foi observado (NOAEL). Para cada incerteza associada com o NOAEL, um fator padronizado é aplicado para estabelecer uma margem de segurança. Por exemplo, fatores de incerteza são usados para contabilizar subpopulações sensíveis ou a extrapolação de dados para humanos. Uma RfD oral para cádmio tanto em alimentos quanto na água está disponível. O valor de toxicidade para alimentos é utilizado nesta avaliação.

### **Valores de Toxicidade Dérmica**

Valores de toxicidade estão disponíveis em USEPA para as rotas de exposição oral (i.e., ingestão), mas não estão disponíveis para a rota de exposição dérmica. Os valores de toxicidade dérmica são desenvolvidos pela conversão dos valores de toxicidade oral de uma dose administrada a uma dose absorvida, seguindo o guia padrão da USEPA (1989). Para RfDs, o valor oral é ajustado à toxicidade dérmica pela multiplicação da RfD oral pela fração de MOPC que é absorvida no trato gastrointestinal (GI ABS). Os SFs orais são convertidos para SFs dérmicos pela divisão pelo GI ABS. Os valores de GI ABS estão também presentes na Tabela 10. Note que, se o valor de toxicidade oral já é baseado em uma dose absorvida (e.g., cádmio), então não há necessidade de ajuste. Os valores de GI ABS são dos perfis toxicológicos de substâncias químicas estabelecidos pela Agência para Registro de Doenças e Substâncias Tóxicas (ATSDR).

## Valor de Toxicidade para chumbo

Nenhum RfD ou fator de risco de câncer foi estabelecido para chumbo (USDHHS, 1997). O consenso geral é de se avaliar a exposição e a toxicidade ao chumbo através da medida de níveis de chumbo no sangue (NAS, 1980). A USEPA e a ATSDR recomendam uma concentração aceitável de chumbo no sangue de fetos de 10 mg/dL (PbB fetal, 0,95, objetivo). Este nível é um indicador de limite superior abaixo do qual nenhum efeito adverso deve ser esperado. A abordagem da USEPA foi usada no desenvolvimento da concentração aceitável de chumbo no sangue. O nível aceitável de chumbo no sangue fetal de 10 mg/dL foi usado para desenvolver uma concentração alvo de chumbo no sangue (PbB a,c,g). Adicionalmente, fatores de inclinação biocinéticos (BKSF) para as diferentes rotas de exposição e para crianças e adultos são usados para converter a contaminação estimada para níveis de chumbo no sangue (DTSC, 1992).<sup>32</sup>

---

<sup>32</sup> CDFA (1998) usou os mesmos fatores de inclinação biocinéticos.



**TABELA 5 - VALORES, DESCRIÇÕES E REFERÊNCIAS PARA PARÂMETROS DE EXPOSIÇÃO BIOLÓGICA (a)**

Parâmetro	Unidades	Adulto	Descrição	Criança	Descrição	Referência
Duração da exposição (ED)	anos	30	RME padrão, 95º percentil do tempo de residência	30	RME padrão típico	USEPA (1997 a)
Frequência da exposição (ED)	dias/anos	350	contato diário; dias/ano em casa	350	contato diário; dias/ano em casa	USEPA (1989)
Tempo médio de exposição (ED) (AT)	dias	25,550	distribuído pelo tempo de vida de 70 anos	25,550	distribuído pelo tempo de vida de 70 anos	USEPA (1989)
Cancerígeno		10,950	média sobre ED	2.190	média sobre ED	USEPA (1989)
Não Cancerígeno		71,8	padrão, média	15,5	média (b)	USEPA (1997 a)
Massa Corporal (BW)	kg	50	padrão, média	200	padrão, estimativa conservadora da média	USEPA (1997 a)
Taxa de Ingestão (IR) Solo	mg/dia					
Cultura	g/kg-dia					
Vegetal		1,7	média (c)	2,9	média (d)	USEPA (1997 a)
Raiz		1,1	média (c)	2,1	média (d)	USEPA (1997 a)
Grão		3,4	média (c)	9,4	média (d)	USEPA (1997 a)
Fração Ingerida (FI)	adimensional	1	NA	1	NA	NA
Área de Pele exposta (SA)	cm <sup>2</sup> -dia	5.700	RME padrão (f)	2.900	RME padrão (f)	USEPA (1998 b)
Fator de Aderência (AF)	mg/cm <sup>2</sup> -dia	0,08	RME padrão (f)	0,3	RME padrão (f)	USEPA (1998 b)

Notas:

NA = Não Aplicável.

RBC = Concentração Baseada em Risco.

RME = Máxima Exposição Razoável.

USEPA = Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos.

(a) Todos os valores têm a intenção de resultar em um RBC representativo dos cenários RME.

(b) Médias calculadas para idades de 6 meses a 6 anos para machos e fêmeas.

(c) Média ponderada por tempo calculada do estudo-chave. Representa o consumo per capita, idades de 18 - 70+.

(d) Média ponderada por tempo calculada do estudo-chave. Representa o consumo per capita, idades de 1-5.

(f) SA da pele e valores de AF são estimativas centrais.

**TABELA 6 - TAXAS DE APLICAÇÃO (ARs) PARA FERTILIZANTES FOSFATADOS E FERTILIZANTES CONTENDO ZINCO COMO MICRONUTRIENTE**

Grupo de Culturas	Taxa de Aplicação de Fertilizante (AR) (a)			
	Fosfatado		Com Zinco	
	lb/acre-ano (b)	g/m <sup>2</sup> -ano (c)	lb/acre-ano (d)	g/m <sup>2</sup> -ano (c)
Vegetal	119	13	10	1,1
Raiz	157	17	10	1,1
Grão	63	6,9	10	1,1

- (a) Desenvolvido a partir de informações apresentadas em USEPA (1999a). Arredondado para o número inteiro mais próximo.  
 (b) Estimativa no limite superior do conjunto de dados compilados para cada grupo de culturas, incluindo todos os estados apresentados no Apêndice B. A estimativa no limite superior está no limite de confiança superior (UCL) a 95% da média, assumindo uma distribuição normal.  
 (c) Convertido para unidades apropriadas para a equação da RBC (g/m<sup>2</sup>-ano) pela multiplicação pela conversão 0,11 g-acre/lb-m<sup>2</sup>.  
 (d) Dados limitados estão disponíveis sobre a aplicação de fertilizantes micronutrientes, portanto esta é a melhor estimativa no limite superior baseada em especialistas da indústria, como apresentado em USEPA (1999a).

**TABELA 7 - PARÂMETROS USADOS PARA CALCULAR OS FATORES DE ACUMULAÇÃO NO SOLO (SACFs)**

Parâmetro	Valor	
Período de Tempo de Aplicação (T) (anos)	50	(a)
Profundidade do Solo (Z) (cm/ano)	20	(b)
Densidade Global (BD) (g/cm <sup>3</sup> )	1,5	(b)
Perda de Solo (Ks) (ano <sup>-1</sup> ) (c)		
Arsênio	0,14	
Cádmio	0,14	
Cromo	0,00042	
Cobalto	0,017	
Cobre	0,042	
Chumbo	0,0094	
Mercúrio	0,0028	
Molibdênio	0,046	
Níquel	0,015	
Selênio	0,33	
Vanádio	0,084	
Zinco	0,058	
Precipitação (P) (cm/ano)	0.28	
Conteúdo Volumétrico de Água no Solo (mL/cm <sup>3</sup> )	0.20	
Coeficiente de Partição de Solo Água (Kd) (mL/cm <sup>3</sup> )		
Arsênio	6,7	(d)
Cádmio	6,7	(d)
Cromo	2.200	(d)
Cobalto	55	(d)
Cobre	22	(d)
Chumbo	99	(d)
Mercúrio	330	(e)
Molibdênio	20	(d)
Níquel	63	(e)
Selênio	2,7	(d)
Vanádio	11	(e)
Zinco	16	(d)

- (a) Suposição razoável para T desenvolvida em CDEA (1998). Um T de 200 anos é usado para chumbo.  
 (b) Obtido de USEPA (1998a).  
 (c) Calculado.  
 (d) Obtido de Baes e Sharp (1983).  
 (e) Obtido de Gerritse et al. (1982) e USEPA (1995).

**TABELA 8 - FATORES DE ACUMULAÇÃO NO SOLO (SACFs)**

<b>MOPC</b>	<b>SACF (a) m<sup>2</sup>/ano-g</b>
Arsênio	2,4E-05
Cádmio	2,4E-05
Cromo	1,6E-04
Cobalto	1,1E-04
Cobre	6,9E-05
Chumbo	3,0E-04
Mercúrio	1,6E-04
Molibdênio	6,5E-05
Níquel	1,2E-04
Selênio	1,0E-05
Vanádio	3,9E-05
Zinco	5,4E-05

Notas:

MOPC = Metal Potencialmente Perigoso

(a) Calculado.

**TABELA 9 - FATORES DE ABSORÇÃO PELA PLANTA (PUFs)  
PARA CADA GRUPO DE CULTURAS**

Metais Potencialmente Perigosos (MOPCs)	PUF (mg MOPC/kg planta/mg MOPC/kg solo) (adimensional) (a)					
	Peso Seco (b)			Peso Úmido		
	Vegetal (c)	Raiz (d)	Grão (e)	Vegetal	Raiz	Grão
Arsênio	0,3	0,05	0,03	0,03	0,0061	0,03
Cádmio (f)	1,7	0,93	0,12	0,17	0,11	0,12
Cromo (g)	0,0014	0,0014	0,037	0,00014	0,00018	0,037
Cobalto	0,05	0,03	0,02	0,005	0,0037	0,02
Cobre	0,034	0,22	0,31	0,0034	0,027	0,31
Chumbo	0,08	0,05	0,05	0,008	0,0061	0,05
Mercúrio	0,61	0,67	0,26	0,061	0,082	0,26
Molibdênio	1,1	0,15	0,22	0,11	0,018	0,22
Níquel	0,15	0,07	0,05	0,015	0,0086	0,05
Selênio	0,88	0,76	0,57	0,088	0,093	0,57
Vanádio (h)	0,007	0,007	0,007	0,0007	0,00086	0,007
Zinco	1,7	0,46	0,58	0,17	0,056	0,58

- a) Os PUFs estão no limite de confiança superior (UCL) a 90% da média geométrica, o qual é considerado uma estimativa no limite superior.
- (b) Convertido a peso úmido (ww) usando a fração peso seco (dw).  
As frações de peso seco são:  
vegetais = 91% umidade, 9% seco;  
raiz = 89% umidade, 11% seco;  
grão = 10% umidade, 90% seco; e  
solo (baseado em um areno siltoso) = 10% umidade, 90% seco (USEPA 1997a).  
Exemplo de conversão de dw para ww:  
 $PUF \text{ para arsênio, vegetal } dw * dw \text{ fração vegetal} / dw \text{ fração solo} = 0,3 * 0,09 / 0,90 = 0,03$
- (c) Base de dados de vegetais consiste de dados para brócolis, couve-de-bruxelas, repolho, couve-flor, pepino, berinjela, couve, alface, pimenta, espinafre, acelga e tomate.
- (d) Base de dados de raízes consiste de dados para beterraba, cenoura, funcho, mangel, cebola, pastinaca, batata, rabanete e couve-nabo-da-suécia.
- (e) Base de dados de grãos consiste de dados para cevada, milho, milheto, aveia, arroz e trigo.
- (f) O PUF para cádmio não considera a presença de zinco, o qual pode diminuir o PUF para cádmio.
- (g) Os PUFs para cromo (vegetais e raízes) foram adotados de USEPA (1999b).
- (h) Muito poucos dados encontrados puderam ser usados para se desenvolver um PUF para vanádio. Este PUF é baseado em dados para culturas forrageiras (obtidos de USEPA, 1999b).

TABELA 10 - VALORES DE TOXICIDADE ORAL E DÉRMICA

Metals Potencialmente Perigosos (MOPCs)	Fração GI ABS			Valor de Toxicidade Não Cancerígena				Valor de Toxicidade Cancerígena				
	Valor	Fonte	RfD Oral (mg/kg-dia)	RfD dérmica (a) (mg/kg-dia)	Fator de Segurança	Órgao Alvo ou Efeito	Fonte	SF Oral (mg/kg-dia) <sup>-1</sup>	SF Dérmico (a) (mg/kg-dia) <sup>-1</sup>	Tecido alvo	WOEC	Fonte
Arsênio	0,95	IRIS	3,0E-04	2,9E-04	3	Pele	IRIS	1,5E+00	1,5E+00	Pele	A	IRIS
Cádmio (b)	-	-	1,0E-03	1,0E-03	10	Rim	IRIS	-	-	-	-	-
Cromo (III) (c)	0,02	USDHHS, 1993	1,5E+00	3,0E-02	1.000	nenhum observado	IRIS	-	-	-	D	IRIS
Cobalto	0,44	USDHHS, 1992	6,0E-02	2,6E-02	10	sangue	RBC	-	-	-	-	-
Cobre	0,97	USDHHS, 1989	4,0E-02	3,9E-02	-	-	RBC	-	-	-	D	IRIS
Chumbo	-	-	<b>10 mg/dL nível aceitável de chumbo no sangue fetal e fatores de inclinação biocinéticos específicos por grupo de idade e rota de exposição.</b>									
Mercúrio (d)	0,07	IRIS	3,0E-04	2,1E-05	1.000	autoimune, rim	IRIS	-	-	-	C	IRIS
Molibdênio	1	(f)	5,0E-03	5,0E-03	30	articulações, sangue	IRIS	-	-	-	-	-
Níquel (e)	0,007	USDHHS, 1995	2,0E-02	1,4E-04	300	peso dos órgãos diminui	IRIS	-	-	-	-	-
Selênio	-	-	5,0E-03	5,0E-03	3	fígado, CNS (selenose)	IRIS	-	-	-	D	IRIS
Vanádio (h)	0,03	USDHHS, 1990	7,0E-03	2,1E-04	100	-	HEAST	-	-	-	-	-
Zinco	0,81	USDHHS, 1994	3,0E-01	2,4E-01	3	sangue	IRIS	-	-	-	D	IRIS

Notas:

- Não Aplicável ou Não Disponível
  - CNS = Sistema Nervoso Central
  - GI ABS = Fração da Absorção Gastrointestinal
  - HEAST = Tabelas Sumárias dos Efeitos à Saúde (USEPA, 1997b)
  - IRIS = Sistema de Informação de Risco Integrado (USEPA 1999c)
  - RfD = Dose de Referência
  - SF = Fator de Inclinação
  - USDHHS = Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos
  - WOEC = Evidência. Classificação (A = agente carcinogênico humano, B = provável agente carcinogênico humano, C = possível agente carcinogênico humano, D = não classificável como carcinogênico para humanos)
- (a) Valores de Toxicidade Dérmica não são desenvolvidos pela USEPA, e, deste modo, os valores de toxicidade oral foram usados. Na maioria dos casos, o valor de toxicidade oral é uma dose administrada e não é uma dose absorvida (note a incorporação de um valor percentual de absorção dérmico), portanto, o valor de toxicidade também precisa ser em uma dose absorvida. Os valores de toxicidade oral que são administrados são convertidos para dose absorvida pela multiplicação do RfD oral pelo GI ABS ou dividindo o SF pelo GI ABS (USEPA, 1989).
- (b) Valores de toxicidade são baseados em cádmio em alimentos, o qual é baseado em uma dose absorvida.
- (c) Valores de toxicidade são baseados em sais insolúveis. Como discutido na Seção de Análise de Toxicidade, espera-se que o cromo (Cr) esteja principalmente na forma de CrIII (preferivelmente, que na forma de CrVI) em solo e esteja disponível para absorção.
- (d) Valores de toxicidade são baseados em cloro de mercúrio. Como discutido na Seção de Análise da Toxicidade, assume-se que o cloro de mercúrio (ou mercúrio divalente) seja a forma mais provável de mercúrio encontrada no solo. Baseado em administrações orais de cloro de mercúrio em camundongos. Um valor de GI ABS de 1% foi também relatado.
- (e) Valores de toxicidade são baseados em sais de níquel solúveis.
- (f) Nenhuma informação sobre GI ABS foi encontrada para molibdênio; portanto, assumiu-se uma fração de GI ABS de 1.



---

### **APRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCs) PARA METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs)**

Um resumo de todos os parâmetros usados na geração das concentrações baseadas em risco (RBCs) são apresentadas nas Tabelas 11, 12 e 13. A Tabela 11 resume os parâmetros usados para calcular os fatores de aporte sumários (SIFs). A Tabela 12 apresenta os SIFs para cada via de exposição e a Tabela 13 fornece os parâmetros remanescentes usados para calcular as RBCs. As RBCs unitárias, baseadas na fração de 1% de nutriente (FON), são apresentadas na Tabela 14 para fertilizantes fosfatados e fertilizantes micronutrientes.

Como observado nas tabelas, as RBCs unitárias são calculadas para uma propriedade agrícola com um grupo de culturas e uma com vários grupos de culturas para crianças e adultos. A mais baixa RBC para cada MOPC é selecionada para se examinar riscos à saúde humana e é apresentada nas últimas duas colunas da Tabela 14.

Note que para arsênio, o residente adulto na propriedade agrícola tem a mais baixa RBC porque arsênio é um agente carcinogênico e a duração da exposição é muito mais longa para um adulto. As mais baixas RBCs para os outros MOPCs são para as crianças residentes rurais. O cenário para várias culturas sempre tem o mais baixo valor da RBC porque a exposição vem de todos os tipos de cultura e não apenas de um só tipo.



**TABELA 11 - SUMÁRIO DE TODOS OS PARÂMETROS E SUPOSIÇÕES USADAS PARA CALCULAR OS FATORES DE APORTE PRIMÁRIO (SIFs) (a)**

Parâmetro (b)		Unidade	Valor dos parâmetros	
<b>Risco de Câncer e Índice de Perigo</b>		Adimensional	-	
TR	Risco de Câncer		1,0E-05	
THI	Quociente ou índice de Perigo		1	
<b>Parâmetros de Exposição Biológicos</b>			<b>Adulto</b>	<b>Criança</b>
EF	Frequência de Exposição	dias/ano	350	350
ED	Duração da Exposição	anos	30	6
AT	Tempo Médio de Exposição	dias		
	Cancerígeno		25.550	25.550
	Não cancerígeno		10.950	2.190
BW	Massa Corporal	kg	71,8	15,5
IRs	Taxa de Ingestão de Solo	mg/dia	50	200
IRç	Taxa de Ingestão	g/kg-dia		
	Vegetais		1,7	2,9
	Raízes		1,1	2,1
	Grãos		3,4	9,4
AF	Fator de Aderência	mg/cm <sup>2</sup>	0,08	0,3
SA	Área Superficial de Pelo Exposta	cm <sup>2</sup> /dia	5.700	2.900
RAF	Fator de Absorção Relativa	adimensional	<b>Solo (s)</b>	<b>Cultura (s)</b>
	Arsênio		0,42	1
	Cádmio		1	1
	Cromo		1	1
	Cobalto		1	1
	Cobre		1	1
	Chumbo		0,41	0,5
	Mercúrio		1	1
	Molibdênio		1	1
	Níquel		1	1
	Selênio		1	1
	Vanádio		1	1
	Zinco		1	1
ABS	Fator de Absorção Dérmico	adimensional		
	Arsênio		0,03	
	Cádmio		0,01	
	Cromo		0,01	
	Cobalto		0,01	
	Cobre		0,01	
	Chumbo		1	
	Mercúrio		0,01	
	Molibdênio		0,01	
	Níquel		0,01	
	Selênio		0,01	
	Vanádio		0,01	
	Zinco		0,01	

Notas:

- Não Aplicável

(a) As equações usadas para calcular os SIFs são apresentadas a seguir.

Os SIFs são calculados para simplificar o cálculo da RBC e são apresentados na Tabela 12.

(b) O desenvolvimento de todos esses parâmetros está presente na Seção 2.0.

Cálculos de SIF:

Fator de Aporte Sumário via Ingestão não Intencional de Solo Fertilizado (SIFsi) = (ED\*EF\*IRs\*RAFs\*CF)/(BW\*AT)

Fator de Aporte Sumário via Contato Dérmico com Solo Fertilizado (SIFd) = (ED\*EF\*SA\*AF\*ABS\*CF)/(BW\*AT)

Fator de Aporte Sumário via Ingestão de Produtos Agrícolas (SIFc) = (ED\*EF\*IRc\*RAFc)/(AT) (Nota dos tradutores: se o IRc for incluído na equação em kg/dia, o que já leva em consideração a massa corporal, então o SIFc deve incluir BW no denominador, conforme aparece na EQUAÇÃO 1.0 deste relatório)

**TABELA 12 – FATORES DE APORTE SUMÁRIO (SIFs) (a)**

Fatores de Consumo/Aporte Sumários (SIF)	Unidade	Valor de SIF	
		Adulto	Criança
<b>Ingestão Não Intencional de Solo Fertilizado (SIF)si</b>	<b>dia<sup>-1</sup></b>		
Cancerígeno			
Arsênio (a)		1,2E-07	4,5E-07
Não Cancerígeno			
Arsênio		2,8E-07	5,2E-06
Chumbo (b)		2,7E-07	5,1E-06
Todos os Outros MOPCs (c)		6,7E-07	1,2E-05
<b>Contato Dérmico com Solo Fertilizado (SIF)d</b>			
Cancerígeno			
Arsênio		7,8E-08	1,4E-07
Não Cancerígeno			
Arsênio		1,8E-07	1,6E-06
Todos os Outros MOPCs (c)		6,1E-08	5,4E-07
<b>Ingestão de produtos agrícolas</b>			
Vegetais (SIF)v			
Cancerígeno			
Arsênio		7,0E-04	2,4E-04
Não Cancerígeno			
Chumbo (b)		8,2E-04	1,4E-03
Todos os Outros MOPCs (c)		1,6E-03	2,8E-03
Raízes (SIF)r			
Cancerígeno			
Arsênio		4,5E-04	1,7E-04
Não Cancerígeno			
Chumbo (b)		5,3E-04	1,0E-03
Todos os Outros MOPCs (c)		1,1E-03	2,0E-03
Grãos (SIF)g			
Cancerígeno			
Arsênio		1,4E-03	7,7E-04
Não Cancerígeno			
Chumbo (b)		1,6E-03	4,5E-03
Todos os Outros MOPCs (c)		3,3E-03	9,0E-03

- (a) Arsênio é o único MOPC que é avaliado por ser um carcinógeno potencial.
- (b) Os SIFs de chumbo foram ajustados apropriadamente por fatores de inclinação biocinéticos específicos para grupo de idade e rota de exposição.
- (c) Os únicos parâmetros na equação de SIF (apresentada a seguir) que são específicos e, portanto, podem mudar o SIF para ser específico ao MOPC, são o RAF ou ABS. Se o RAF ou a ABS de um MOPC específico não é encontrada, um valor padrão é usado; neste caso a SIF não é específica para um MOPC e, portanto, é genérica e está apresentada nas linhas Todos os Outros MOPC.

Cálculos de SIF:

Fator de Aporte Sumário via Ingestão não Intencional de Solo Fertilizado (SIFsi) =  $(ED*EF*IRs*RAFs*CF)/(BW*AT)$

Fator de Aporte Sumário via Contato Dérmico com o Solo Fertilizado (SIFd) =  $(ED*EF*SA*AF*ABS*CF)/(BW*AT)$

Fator de Aporte Sumário via Ingestão de Produtos Agrícolas (SIFc) =  $(ED*EF*IRc*RAFc)/(AT)$

**TABELA 13 - PARÂMETROS (SACF, AR, PUF, FOL E VALORES DE TOXICIDADE) USADOS PARA CALCULAR AS CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCs) (a,b)**

Parâmetro (c)		Unidades	Valores dos Parâmetros		
SACF	Fator de Acumulação no Solo	m <sup>2</sup> -ano/g	-		
	Arsênio		2,4E-05		
	Cádmio		2,4E-05		
	Cromo		1,6E-04		
	Cobalto		1,1E-04		
	Cobre		6,9E-05		
	Chumbo		3,0E-04		
	Mercúrio		1,6E-04		
	Molibdênio		6,5E-05		
	Níquel		1,2E-04		
	Selênio		1,0E-05		
	Vanádio		3,9E-05		
	Zinco		5,4E-05		
	AR (d)	Taxa de Aplicação	g/m <sup>2</sup> -ano	Vegetal (v)	Raiz (r)
Fosfato			13	17	6,9
Micronutriente de Zinco			1,1	1,1	1,1
PUF	Fator de Absorção pela planta	adimensional	Vegetal	Raiz	Grão
	Arsênio		0,03	0,0061	0,03
	Cádmio		0,17	0,11	0,12
	Cromo		0,00014	0,00018	0,037
	Cobalto		0,005	0,0037	0,02
	Cobre		0,0034	0,027	0,31
	Chumbo		0,008	0,0061	0,05
	Mercúrio		0,061	0,082	0,26
	Molibdênio		0,11	0,018	0,22
	Níquel		0,015	0,0086	0,05
	Selênio		0,088	0,093	0,57
	Vanádio		0,0007	0,00086	0,007
	Zinco		0,17	0,056	0,58
FOL (e)	Fração da área	adimensional	Vegetal	Raiz	Grão
			0,4	0,1	0,5
Valor de Toxicidade			Oral (o)		Dérmica (d)
SF	Fator de inclinação	(mg/kg-dia) <sup>-1</sup>			
	Arsênio		1,5E+00		1,5E+00
RfD	Dose de Referência	mg/kg-dia			
	Arsênio		3,0E-04		2,9E-04
	Cádmio		1,0E-03		1,0E-03
	Cromo		1,5E+00		3,0E-02
	Cobalto		6,0E-02		2,6E-02
	Cobre		4,0E-02		3,9E-02
	Chumbo		-		
	Mercúrio		3,0E-04		2,1E-05
	Molibdênio		5,0E-03		5,0E-03
	Níquel		2,0E-02		1,4E-04
	Selênio		5,0E-03		5,0E-03
	Vanádio		7,0E-03		2,1E-04
	Zinco		3,0E-01		2,4E-01

Notas:

- Não Aplicável

(a) As equações usadas para calcular as RBCs estão apresentadas a seguir.

(b) Fatores de Aporte Sumário (SIFs) estão apresentadas na Tabela 12.

(c) Todos os parâmetros estão apresentados na Seção 2.0.

(d) A AR foi ajustada de forma que a RBC foi baseada na fração de 1% de nutrientes (FON), resultando em RBCs unitárias.

A AR é inversamente proporcional ao FON, portanto, a AR está ajustada para 1% FON pela divisão por 1%.

(e) A FOL é somente necessária para o cálculo de RBCs para o cenário de vários grupos de culturas.

Cálculo da RBC para uma Propriedade Agrícola com uma Única Cultura (equações adotadas de CDEA, 1998):

$$RBC \text{ Cancerígeno} = TR / \{ SACF * [ AR * ( SIF_{si} * SFo * RAFs + SIFd * SFd + PUF * SIFc * SFo * RAFC ) ] \}$$

$$RBC \text{ Não Cancerígeno} = THI / \{ SACF * [ AR * ( SIF_{si} * 1 / RfDo * RAFs + SIFd * 1 / RfDd + PUF * SIFc * 1 / RfDo * RAFC ) ] \}$$

Cálculo da RBC para uma Propriedade Agrícola com Vários grupos de culturas (equações adotadas de CDEA, 1998):

$$RBC \text{ Cancerígeno} = TR / ( SACF * \{ ARv * [ ( ( SIF_{si} * SFo + SIFd * SFd ) * FOLv ) + PUFv * SIFv * SFo ] \} + \{ ARr * [ ( ( SIF_{si} * SFo + SIFd * SFd ) * FOLr ) + PUFr * SIFr * SFo ] \} + \{ ARg * [ ( ( SIF_{si} * SFo + SIFd * SFd ) * FOLg ) + PUFg * SIFg * SFo ] \} )$$

$$RBC \text{ Não Cancerígeno} = THI / ( SACF * \{ ARv * [ ( ( SIF_{si} * 1 / RfDo + SIFd * 1 / RfDd ) * FOLv ) + PUFv * SIFv * 1 / RfDo ] \} + \{ ARr * [ ( ( SIF_{si} * 1 / RfDo + SIFd * 1 / RfDd ) * FOLr ) + PUFr * SIFr * 1 / RfDo ] \} + \{ ARg * [ ( ( SIF_{si} * 1 / RfDo + SIFd * 1 / RfDd ) * FOLg ) + PUFg * SIFg * 1 / RfDo ] \} )$$

**TABELA 14 - CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO  
( (RBCs) UNITÁRIAS (a) PARA TODOS OS CENÁRIOS**

MOPC	RBCs para Residente Rural - Adulto			RBCs para Residente Rural - Criança			Mais Baixas Unidades da RBC (b)	
	Vegetais	Raízes	Grãos	Vegetais	Raízes	Grãos	Notação Científica	Notação Padrão
<b>Fertilizante Fostafato</b>								
Arsênio (c)	9,9E+00	5,4E+01	9,4E+00	4,5E+00	9,7E+01	1,7E+01	9,8E+00	4,5E+00
Cádmio	1,1E+02	2,0E+02	1,5E+02	4,9E+01	6,4E+01	5,4E+01	2,3E+01	2,3E+01
Cromo (III)	1,8E+06	1,4E+06	1,1E+05	1,0E+05	1,7E+05	3,6E+04	3,4E+04	3,4E+04
Cobalto	4,5E+04	6,6E+04	1,2E+04	8,4E+03	1,5E+04	4,0E+03	3,1E+03	3,1E+03
Cobre	7,0E+04	1,1E+04	8,2E+02	7,6E+02	2,0E+04	3,0E+02	2,8E+02	2,8E+02
Chumbo	1,3E+03	2,0E+03	2,1E+02	1,6E+02	7,7E+02	8,5E+01	7,3E+01	7,3E+01
Mercurio	1,5E+01	1,3E+01	3,3E+00	2,2E+00	7,8E+00	1,2E+00	9,0E+01	9,0E+01
Molibdênio	3,3E+02	2,2E+03	1,6E+02	1,0E+02	1,8E+02	5,6E+01	4,2E+01	4,2E+01
Níquel	3,8E+03	5,4E+03	1,4E+03	1,0E+03	9,9E+02	4,5E+02	3,5E+02	3,5E+02
Selênio	2,6E+03	2,9E+03	3,8E+02	3,0E+02	1,5E+03	1,4E+02	1,2E+02	1,2E+02
Vanádio	3,6E+04	2,9E+04	1,0E+04	8,3E+03	4,2E+03	2,8E+03	2,2E+03	2,2E+03
Zinco	1,5E+04	5,3E+04	4,2E+03	3,1E+03	8,8E+03	1,5E+03	1,2E+03	1,2E+03
<b>Fertilizante com Zinco como Micronutriente</b>								
Arsênio (c)	1,2E+02	8,4E+02	5,9E+01	3,8E+01	3,2E+02	1,5E+03	7,4E+01	3,8E+01
Cádmio	1,3E+03	3,1E+03	9,5E+02	4,7E+02	7,6E+02	1,5E+03	2,1E+02	2,1E+02
Cromo (III)	2,1E+07	2,1E+07	6,7E+05	6,7E+05	2,1E+06	2,1E+06	2,2E+05	2,2E+05
Cobalto	5,4E+05	1,0E+06	7,3E+04	6,2E+04	1,8E+05	2,3E+05	2,3E+04	2,3E+04
Cobre	8,3E+05	1,8E+05	5,2E+03	5,0E+03	2,3E+05	7,8E+04	1,8E+03	1,8E+03
Chumbo	1,6E+04	3,1E+04	1,3E+03	1,2E+03	9,1E+03	1,5E+04	5,0E+02	5,0E+02
Mercurio	1,7E+02	2,0E+02	2,1E+01	1,7E+01	9,3E+01	7,4E+00	6,5E+00	6,5E+00
Molibdênio	3,9E+03	3,5E+04	9,8E+02	7,6E+02	2,2E+03	1,4E+04	3,0E+02	3,0E+02
Níquel	4,6E+04	8,4E+04	9,0E+03	7,5E+03	1,2E+04	2,9E+03	2,6E+03	2,6E+03
Selênio	3,1E+04	4,6E+04	2,4E+03	2,1E+03	1,7E+04	8,7E+02	8,0E+02	8,0E+02
Vanádio	4,2E+05	4,5E+05	6,4E+04	5,9E+04	5,0E+04	1,7E+04	1,7E+04	1,7E+04
Zinco	1,8E+05	8,3E+05	2,6E+04	2,3E+04	1,0E+05	9,6E+03	8,6E+03	8,6E+03

Notas:

Negrito = RBC Mais Baixo  
MOPC = Metal Potencialmente Perigoso

- (a) As unidades para todos os RBCs são mg MOPC/kg produto (i.e., ppm).  
A unidade mais baixa da RBC para cada metal está nas duas últimas colunas. Este é o valor usado para orientação (apresentado na Seção 4.0).  
(b) A unidade mais baixa da RBC é a mais baixa para crianças e adultos residentes rurais.  
(c) As RBCs apresentadas para arsênio foram baseadas em cancerígeno. Todas as outras RBCs foram baseadas em não cancerígeno.





## **AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE POR NÍVEIS ORIENTADORES: COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCs) COM AS CONCENTRAÇÕES DOS METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM PRODUTOS FERTILIZANTES**

A determinação de valores orientadores no caso de um produto fertilizante particular que proporcione risco à saúde potencial é conseguida pela comparação da concentração medida de um MOPC (e.g., arsênio) no produto com a RBC para o mesmo MOPC. As RBCs para esta análise são geradas neste relatório e apresentadas na Tabela 14. As mais baixas RBCs são as mais apropriadas para uso em uma avaliação de valores orientadores. As concentrações medidas de MOPCs são obtidas da literatura publicada, de pesquisas de fabricantes de fertilizantes e de programas de monitoramento conduzidos em vários estados. Esta base de dados foi compilada pela TWG.<sup>33</sup>

As concentrações de MOPCs em produtos devem ter as mesmas unidades das RBCs para que se possam fazer comparações diretas. As RBCs e a base de dados da concentração dos produtos são relatadas em mg MOPC/kg de produto (i.e., partes por milhão ou ppm). As comparações podem ser feitas na base de produto para produto ou, caso haja várias concentrações relatadas de um MOPC para o mesmo fertilizante (e.g., amostras de diferentes lotes ou de diferentes fabricantes), a concentração máxima de MOPCs pode ser comparada à RBC como um exame inicial. A comparação da mais baixa RBC à máxima concentração de MOPC fornece a estimativa mais protetora quanto aos riscos à saúde. Se a concentração de MOPCs em fertilizantes está abaixo da RBC, não há risco à saúde. Se a concentração de MOPCs no fertilizante está acima da RBC, mais avaliações são necessárias. Exceder um nível orientador, RBC, não necessariamente indica que há risco à saúde porque as RBCs são protetoras da saúde geradas para garantir que os riscos à saúde não sejam subestimados (mas eles podem ser superestimados). Uma conclusão definitiva a respeito dos riscos à saúde, no caso de se exceder uma RBC, portanto, requer uma avaliação mais profunda.

Antes de se comparar as RBCs aos níveis medidos de MOPCs em um produto, a RBC unitária (i.e., RBCs geradas para 1% de nutriente em um produto; relatada na Tabela 14) precisa ser ajustada à real fração de nutrientes (FON) no produto. A RBC unitária é ajustada pela multiplicação da RBC pela percentagem da FON. Para fertilizantes fosfatados, a FON é o componente fósforo (ou P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); para fertilizantes contendo micronutrientes, é o micronutriente de interesse (e.g., zinco ou ferro). A FON representativa é determinada usando tanto a base de dados de fertilizantes da TWG quanto as informações relatadas em USEPA (1999a). As FONs para cada categoria de produto são as melhores estimativas e são apresentadas na Tabela 15 (para fosfato) e Tabela 16 (para micronutrientes).

As comparações de RBCs ajustadas pela FON às concentrações máximas medidas de MOPCs em produtos (por tipo de fertilizante ou categoria de produto) são apresentadas nas Tabelas 17 e 18 para fertilizantes fosfatados e com micronutrientes, respectivamente. As categorias de produtos fosfatados incluem, por exemplo, fosfato diamônio ou fosfato amônio-uréia. Há também várias amostras de produtos que foram relatadas como 'misturas agrícolas'; elas contêm N, P e K, mas não contêm micronutrientes adicionados. As categorias de fertilizantes com micronutrientes incluem aqueles contendo boro, ferro, manganês e zinco.

<sup>33</sup> A base de dados de fertilizantes da TWG consiste de dados do estado, da literatura e da indústria sobre fertilizantes inorgânicos. Um resumo desta base de dados é apresentado em TWG (1999c). Esta base de dados é atualizada logo que novos dados tornam-se disponíveis.

## Resultados

Não houve excedentes às RBCs para nenhum dos 12 MOPCs em fertilizantes fosfatados (veja a Tabela 17). Há comparações feitas para 15 categorias de fertilizantes fosfatados (incluindo as misturas agrícolas) e para um total de aproximadamente 295 amostras de fertilizantes individuais.

Houve excedentes às RBCs entre as quatro categorias de fertilizantes micronutrientes, principalmente para os MOPCs arsênio e chumbo. Um total de aproximadamente 140 amostras de fertilizantes individuais foram avaliadas. Os excedentes incluem:

- 2 para arsênio em fertilizantes contendo o micronutriente boro;
- 8 para arsênio em fertilizantes contendo o micronutriente ferro;
- 2 para arsênio em fertilizantes contendo o micronutriente manganês;
- 1 para chumbo em fertilizantes contendo o micronutriente ferro;
- 1 para chumbo em fertilizantes contendo o micronutriente manganês;
- 6 para chumbo em fertilizantes contendo o micronutriente zinco;
- e 2 para zinco em fertilizantes contendo o micronutriente zinco.

Uma avaliação mais profunda dos excedentes para determinar se esses fertilizantes representam riscos à saúde poderia envolver vários passos, incluindo: (1) substituir a FON padrão desenvolvida para a categoria fertilizante pela FON para a amostra individual de fertilizante (nem sempre relatada na base de dados)<sup>34</sup>, (2) confirmar se o produto ainda está no mercado (várias das amostras na base de dados foram relatadas há vários anos) e (3) determinar o uso exato (incluindo a taxa de aplicação, tipo de culturas, etc.) para um produto de interesse, e, então, ajustar o valor da RBC ao que mais reflete as condições desse novo cenário de exposição.

---

<sup>34</sup> Seis destes 22 excedentes tornaram-se não-excedentes quando a unitária RBC foi ajustada pelo valor específico de FON no lugar da FON padrão para a categoria de produtos. As FONs foram relatadas para a maioria das amostras.



**TABELA 15 – ESTIMATIVA DA FRAÇÃO DE NUTRIENTES (FON) PERCENTUAL PARA CATEGORIAS DE PRODUTOS FERTILIZANTES FOSFATADOS**

Categoria de Produtos	Base de dados da TWG (a)				USEPA (b) % de P2O5 Relacionada	Melhor Estimativa (d)
	N (c)	Mínimo	Máximo	Mediana		
Misturas Agrícolas	59	2	60	15	18	18
Fosfato Sulfato de Amônio	1	20	20	-	-	20
Polifosfato de Amônio	1	34	34	-	-	34
Fosfato Diamônio	4	46	53	46	48	46
Fosfato Monoamônio	8	50	52	52	51	52
Nitrofosfato	1	20	20	-	-	20
Ortofosfato	1	30	30	-	-	30
Fosfato	5	15	37	30	27	30
Ácido Fosfórico	2	52	60	56	56	56
Superfosfato Simples	2	18	20	19	19	20
Ácido Superfosfórico	4	61	70	69	67	70
Superfosfato Triplo	7	44	46	46	45	46
Polifosfato de Amônio Uréia - KCl	1	19	19	-	-	19
Fosfato de Amônio - Uréia	1	45	45	-	-	45
Fosfato Diamônio - Uréia - KCl	1	15	15	-	-	15

Notas:

- = Não Aplicável
- N = Número de Amostras
- % P2O5 = Fosfato (Fósforo)
- TWG = The Weinberg Group Inc.
- USEPA = Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
- (a) Todos os valores são a % de P2O5 da categoria do produto. A base de dados TWG foi compilada de dados de monitoramento das indústrias, da literatura e dos estados (TWG, 1999c).
- (b) Os números são das Tabelas 3 - 4 da USEPA (1999a).
- (c) Reflete o número de amostras de um produto com a % de P2O5 relatada.
- (d) A melhor estimativa é a % de FON que é usada para ajustar a RBC unitária.

**TABELA 16 – ESTIMATIVA DA FRAÇÃO DE NUTRIENTES (FON) PERCENTUAL PARA A CATEGORIA DE FERTILIZANTES CONTENDO MICRONUTRIENTES**

Categoria de Produtos	Base de Dados TWG (a)				USEPA (1999a) (b)			Melhor Estimativa (d)		
	N (c)	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	N	Mínimo		Máximo	Média
Boro	5	10	21	15	15	2	10	21	15,5	15
Ferro	16	2	58	20	24	3	12	15	142	24
Manganês	7	28	40	12	12	2	24,7	29,5	27,1	12
Zinco	29	7	89	25	27	63	7	89	26,5	27

Notas:

- = Não Aplicável
- N = Número de Amostras
- TWG = The Weinberg Group Inc.
- USEPA = Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

- (a) A base de dados da TWG é compilada de dados de monitoramento da indústria, literatura e estados (TWG, 1999c).
- (b) Todos os valores estão em % de micronutrientes da categoria de produto. As estatísticas foram calculadas a partir de conjuntos de dados do Apêndice G da USEPA (1999a).
- (c) Reflete o número de produtos para os quais uma % de micronutrientes é relatada.
- (d) A melhor estimativa é a % de FON que é usada para ajustar a RBC unitária.

**TABELA 17 – AVALIAÇÃO DE NÍVEIS ORIENTADORES: COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM FERTILIZANTES FOSFATADOS COM A CONCENTRAÇÃO BASEADA EM RISCO (RBC) AJUSTADA**

Categoria de Produto	Sumário Estatístico dos dados de Concentração (a)						Comparação			Excedeu?	
	N	Mínimo	Máximo	GM	GSD	90% UCL (b)	RBC Unitária (c, d)	RBC Ajustada (e)	Concentração Máxima	Sim ou Não (f)	N (g)
<b>Misturas Agrícolas</b>											
Arsênio	84	0,15	42	2,6	3,6	3,2	4,5	81	42	Não	-
Cádmio	83	0,015	160	3,2	7,1	4,6	23	410	160	Não	-
Cromo	84	0,25	5.100	49	4,2	64	34.000	610.000	5.100	Não	-
Cobalto	35	0,65	22	3,3	2,9	4,5	3.100	56.000	22	Não	-
Cobre	55	0,14	540	15	5,1	22	280	5.000	540	Não	-
Chumbo	79	0,1 (h)	650	4,8	9,3	7,3	73	1.300	650	Não	-
Mercúrio	46	0,0025	1,1	0,036	6,5	0,058	0,9	16	1,1	Não	-
Molibdênio	10	0,69	6	3,4	1,9	4,9	42	760	6	Não	-
Níquel	52	0,54	54	8,6	3	11	350	6.300	54	Não	-
Selênio	26	0,025	5,7	0,22	2,9	0,32	120	2.200	5,7	Não	-
Vanádio	52	0,28	350	42	3,7	56	2.200	40.000	350	Não	-
Zinco	57	0,85	6.300	107	7,8	130	1.200	22.000	6.300	Não	-
<b>Fosfato Sulfato de Amônio</b>											
Arsênio	2	4,1	4,2	4,1	1	-	4,5	90	4,2	Não	-
Cádmio	2	150	150	150	1	-	23	460	150	Não	-
Cromo	2	210	250	230	1,1	-	34.000	680.000	250	Não	-
Cobalto	2	2,5	3,2	2,8	1,2	-	3.100	62.000	3,2	Não	-
Cobre	2	11	16	13	1,3	-	280	5.600	16	Não	-
Chumbo	2	2,1	4,4	3	1,7	-	73	1.500	4,4	Não	-
Mercúrio	2	0,01	0,024	0,015	1,9	-	0,9	18	0,024	Não	-
Molibdênio	2	5	5,7	5,3	1,1	-	42	840	5,7	Não	-
Níquel	2	200	220	208	1,1	-	350	7.000	220	Não	-
Selênio	2	0,13	2	0,5	7,1	-	120	2.400	2	Não	-
Vanádio	1	400	400	--	--	-	2.200	44.000	400	Não	-
Zinco	2	1.500	2.400	1.900	1,4	-	1.200	24.000	2.400	Não	-

As notas de rodapé são apresentadas no fim da tabela.

TABELA 17 (continuação)

Categoria de Produto	Sumário Estatístico dos dados de Concentração (a)						Comparação			Excedeu?	
	N	Mínimo	Máximo	GM	GSD	90% UCL (b)	RBC Unitária (c, d)	RBC Ajustada (e)	Concentração Máxima	Sim ou Não (f)	N (g)
<b>Polifosfato de Amônio</b>											
Arsênio	7	0,6	21	7,7	3,5	19	4,5	150	21	Não	-
Cádmio	11	4	56	15	2,2	23	23	780	56	Não	-
Cromo	9	57	400	150	2	240	34.000	1.200.000	400	Não	-
Cobalto	3	0,15	1,4	0,53	3,1	--	3.100	110.000	1,4	Não	-
Cobre	10	0,5	14	3	3,6	6,4	280	9.500	14	Não	-
Chumbo	10	0,17	150	2,7	10	10	73	2.500	150	Não	-
Mercurio	1	0,0025	0,0025	--	--	--	0,9	31	0,0025	Não	-
Molibdênio	2	3,1	6,5	4,5	1,7	--	42	1.400	6,5	Não	-
Níquel	5	0,5	14	5,9	4,1	--	350	12.000	14	Não	-
Selênio	2	2	2,1	2	1	--	120	4.100	2,1	Não	-
Vanádio	5	49	230	94	1,8	--	2.200	75.000	230	Não	-
Zinco	10	46	820	180	2,3	290	1.200	41.000	820	Não	-
<b>Fosfato Diamônio</b>											
Arsênio	114	0,05	21	10	1,9	11	4,5	210	21	Não	-
Cádmio	347	0,25	190	5,1	1,8	5,3	23	1.100	190	Não	-
Cromo	117	1	620	69	1,8	76	34.000	1.600.000	620	Não	-
Cobalto	106	0,25	10	3,8	1,8	4,1	3.100	140.000	10	Não	-
Cobre	115	0,45	98	1,8	2,9	2,1	280	13.000	98	Não	-
Chumbo	344	0,5	150	3,4	2,5	3,7	73	3.400	150	Não	-
Mercurio	167	0,001	0,5	0,046	6,4	0,058	0,9	41	0,5	Não	-
Molibdênio	103	2,5	47	11	1,4	11	42	1.900	47	Não	-
Níquel	127	1,1	160	17	1,8	18	350	16.000	160	Não	-
Selênio	103	0,025	5	1,2	5	1,6	120	5.500	5	Não	-
Vanádio	78	11	280	130	1,4	130	2.200	100.000	280	Não	-
Zinco	115	0,83	2.300	82	2,9	96	1.200	55.000	2.300	Não	-

As notas de rodapé são apresentadas no fim da tabela.

TABELA 17 (continuação)

Categoria de Produto	Sumário Estatístico dos dados de Concentração (a)							Comparação			Excedeu?	
	N	Mínimo	Máximo	GM	GSD	90% UCL (b)	RBC Unitária (c, d)	RBC Ajustada (e)	Concentração Máxima	Sim ou Não (f)	N (g)	
<b>Fosfato Monoamônio</b>												
Arsênio	84	0,05	25	10	2,6	12	4,5	230	25	Não	-	
Cádmio	233	0,15	210	6,2	2	6,6	23	1.200	210	Não	-	
Cromo	83	0,5	730	69	2,5	82	34.000	1.800.000	730	Não	-	
Cobalto	79	0,78	12	4,3	1,9	4,8	3.100	160.000	12	Não	-	
Cobre	80	0,44	76	1,8	2,9	2,2	280	15.000	76	Não	-	
Chumbo	231	0,05	150	4,9	2,5	5,4	73	3.800	150	Não	-	
Mercurio	98	0,002	1,5	0,044	6,5	0,061	0,9	47	1,5	Não	-	
Molibdênio	75	4	38	12	1,4	13	42	2.200	38	Não	-	
Níquel	82	1,3	240	17	1,7	19	350	18.000	240	Não	-	
Selênio	74	0,05	20	1,1	4,4	1,4	120	6.200	20	Não	-	
Vanádio	52	35	1.100	160	1,6	170	2.200	110.000	1.100	Não	-	
Zinco	80	10	3.400	75	2,1	86	1.200	62.000	3.400	Não	-	
<b>Nitrofosfato</b>												
Arsênio	5	3,6	7,4	6,1	1,3	-	4,5	90	7,4	Não	-	
Cádmio	5	2,6	4,3	3,2	1,2	-	23	460	4,3	Não	-	
Cromo	5	39	200	66	1,9	-	34.000	680.000	200	Não	-	
Cobalto	5	2,7	12	6,4	1,7	-	3.100	62.000	12	Não	-	
Cobre	5	11	71	21	2,1	-	280	5.600	71	Não	-	
Chumbo	5	2,5	20	4,5	2,3	-	73	1.100	20	Não	-	
Mercurio	1	0,38	0,38	--	--	-	0,9	18	0,38	Não	-	
Níquel	5	5,7	86	15	2,9	-	350	7.000	86	Não	-	
Vanádio	4	65	83	71	1,1	-	2.200	44.000	83	Não	-	
Zinco	5	0,48	140	19	8,8	-	1.200	24.000	140	Não	-	

As notas de rodapé são apresentadas no fim da tabela.

**TABELA 17 (continuação)**

Categoria de Produto	Sumário Estatístico dos dados de Concentração (a)							Comparação			Excedeu?
	N	Mínimo	Máximo	GM	GSD	90% UCL (b)	RBC Unitária (c, d)	RBC Ajustada (e)	Concentração Máxima	Sim ou Não (f)	
<b>Ortofosfato (i)</b>											
Arsênio	2	21	21	21	-	-	4,5	140	21	Não	-
Cádmio	2	20	20	19	-	-	23	690	20	Não	-
Cromo	2	150	150	150	-	-	73	2.200	150	Não	-
<b>Fosfato (i)</b>											
Arsênio	5	0,2	25	2,1	10	-	4,5	130	25	Não	-
Cádmio	4	3	69	10	4,6	-	23	690	69	Não	-
Cromo	3	1	110	11	10	-	73	2.200	110	Não	-
<b>Ácido Fosfórico</b>											
Arsênio	14	0,5	19	7,5	3,3	13	4,5	250	19	Não	-
Cádmio	10	0,15	160	18	11	75	23	1.300	160	Não	-
Cromo	3	62	900	160	4,4	-	34.000	1.900.000	900	Não	-
Cobalto	3	0,15	4	1,2	6,2	-	3.100	170.000	4	Não	-
Cobre	3	0,2	0,5	0,37	1,7	-	280	16.000	0,5	Não	-
Chumbo	10	0,5	10	1,6	2,4	2,7	73	4.100	10	Não	-
Mercurio	3	0,0025	0,25	0,054	14	-	0,9	50	0,25	Não	-
Molibdênio	3	5,9	11	8,7	1,4	-	42	2.400	11	Não	-
Níquel	3	0,5	15	4,6	6,8	-	350	20.000	15	Não	-
Selênio	3	2	2,5	2,3	1,1	-	120	6.700	2,5	Não	-
Vanádio	3	57	140	97	1,6	-	2.200	120.000	140	Não	-
Zinco	3	31	63	45	1,4	-	1.200	67.000	63	Não	-
<b>Superfosfato Simples</b>											
Arsênio	4	7	21	11	1,7	-	4,5	90	21	Não	-
Cádmio	4	2	4,9	3,8	1,5	-	23	460	4,9	Não	-
Cromo	3	32	40	34	1,1	-	34.000	680.000	40	Não	-
Cobalto	1	2,5	2,5	-	-	-	3.100	62.000	2,5	Não	-
Cobre	1	6,9	6,9	-	-	-	280	5.600	6,9	Não	-
Chumbo	4	1	17	6,2	3,5	-	73	1.500	17	Não	-
Mercurio	1	0,0025	0,0025	-	-	-	0,9	18	0,0025	Não	-
Molibdênio	2	3,9	27	10	3,9	-	42	840	27	Não	-
Níquel	4	8,8	14	11	1,2	-	350	7.000	14	Não	-
Selênio	1	2	2	-	-	-	120	2.400	2	Não	-
Vanádio	2	49	190	97	2,7	-	2.200	44.000	190	Não	-
Zinco	2	43	56	49	1,2	-	1.200	24.000	56	Não	-

As notas de rodapé são apresentadas no fim da tabela.

TABELA 17 (continuação)

Categoria de Produto	Sumário Estatístico dos dados de Concentração (a)						Comparação		Excedeu?		
	N	Mínimo	Máximo	GM	GSD	90% UCL (b)	RBC Unitária (c, d)	RBC Ajustada (e)	Concentração Máxima	Sim ou Não (f)	N (g)
<b>Ácido superfosfórico (i)</b>											
Arsênio	9	0,2	31	6,9	4,7	18	4,5	320	31	Não	-
Cádmio	9	0,5	160	33	8,3	120	23	1.600	160	Não	-
Cromo	2	300	840	500	2,1	-	34.000	2.400.000	840	Não	-
Cobre	2	2,5	30	8,6	5,8	-	280	20.000	30	Não	-
Chumbo	5	0,05	8,5	1,3	7,3	-	73	5.100	8,5	Não	-
Molibdênio	2	6	6,8	6,4	1,1	-	42	2.900	6,8	Não	-
Níquel	2	22	27	24	1,2	-	350	25.000	27	Não	-
Selênio	1	4,3	4,3	--	--	-	120	8.400	4,3	Não	-
Vanádio	2	52	200	100	2,6	-	2.200	150.000	200	Não	-
Zinco	2	30	240	85	4,4	-	1.200	84.000	240	Não	-
<b>Superfosfato Triplo</b>											
Arsênio	68	0,05	21	9,8	2,4	10	4,5	210	21	Não	-
Cádmio	204	1,8	180	8	2	8,6	23	1.100	180	Não	-
Cromo	63	3,5	550	84	1,9	96	34.000	1.200.000	550	Não	-
Cobalto	56	1,8	15	6,1	2	7,1	3.100	140.000	15	Não	-
Cobre	58	1	55	4,2	2,2	5	280	13.000	55	Não	-
Chumbo	201	1	1.900	8,4	2	9,1	73	3.400	1.900	Não	-
Mercurio	85	0,0025	1,3	0,056	4,8	0,074	0,9	41	1,3	Não	-
Molibdênio	53	6	72	12	1,4	13	42	1.900	72	Não	-
Níquel	64	10	150	19	1,6	21	350	16.000	150	Não	-
Selênio	54	0,025	21	2	3,2	2,6	120	5.500	21	Não	-
Vanádio	33	87	720	140	1,4	160	2.200	100.000	720	Não	-
Zinco	57	42	1.600	100	2	120	1.200	55.000	1.600	Não	-
<b>Polfosfato de Amônio - Uréia - KCl (i)</b>											
Arsênio	4	5,2	7,8	6,7	1,2	-	4,5	86	7,8	Não	-
Cádmio	5	1,6	24	4,1	2,9	-	23	440	24	Não	-
Cromo	5	44	160	63	1,7	-	34.000	650.000	160	Não	-
Cobalto	2	3,5	3,9	3,7	1,1	-	3.100	59.000	3,9	Não	-
Cobre	4	3,9	26	10	2,2	-	280	5.300	26	Não	-
Chumbo	5	1,1	3,8	2,2	1,7	-	73	1.400	3,8	Não	-
Níquel	4	9,2	27	13	1,6	-	350	6.700	27	Não	-
Vanádio	5	47	98	76	1,3	-	2.200	42.000	98	Não	-
Zinco	4	6,9	75	28	2,7	-	1.200	23.000	75	Não	-

As notas de rodapé são apresentadas no fim da tabela.

TABELA 17 (continuação)

Categoria de Produto	Sumário Estatístico dos dados de Concentração (a)							Comparação			Excedeu?	
	N	Mínimo	Máximo	GM	GSD	90% UCL (b)	RBC Unitária (c, d)	RBC Ajustada (e)	Concentração Máxima	Sim ou Não (f)	N (g)	
<b>Fosfato de Amônio - Uréia</b>												
Arsênio	1	1	1	-	-	-	4,5	200	1	Não	-	
Cádmio	1	110	110	-	-	-	23	1.000	110	Não	-	
Cromo	1	380	380	-	-	-	34.000	1.500.000	380	Não	-	
Chumbo	1	3,2	3,2	-	-	-	73	3.300	3,2	Não	-	
Mercurio	1	0,0025	0,0025	-	-	-	0,9	41	0,0025	Não	-	
Selênio	1	0,15	0,15	-	-	-	120	5.400	0,15	Não	-	
<b>Fosfato de Diamônio - Uréia - KCl</b>												
Arsênio	2	4,7	4,9	4,8	1	-	4,5	68	4,9	Não	-	
Cádmio	2	2	2,1	2	1	-	23	350	2,1	Não	-	
Cromo	2	28	43	34	1,3	-	34.000	510.000	43	Não	-	
Cobalto	1	7,2	7,2	--	--	-	3.100	47.000	7,2	Não	-	
Cobre	2	3,9	7,2	5,3	1,5	-	280	4.200	7,2	Não	-	
Chumbo	2	1,8	2,1	1,9	1,1	-	73	1.100	2,1	Não	-	
Níquel	2	6,2	11	8,4	1,5	-	350	5.300	11	Não	-	
Vanádio	2	49	73	60	1,3	-	2.200	33.000	73	Não	-	
Zinco	2	0,3	0,55	0,41	1,5	-	1.200	18.000	0,55	Não	-	

## TABELA 17 (notas)

### Notas:

- Não Aplicável
  - GM = Média Geométrica
  - GSD = Desvio Padrão Geométrico
  - N = Número de Amostras (ou Excedidos)
  - 90% UCL = Acima de 90% do Limite de Confiança
- (a) Todas as concentrações estão em mg MOPC/kg de produto (ou ppm). Os dados são da indústria, literatura e dados de monitoramento do estado [compilados e mantidos pelo The Weinberg Group Inc. (TWG 1999c)].
- (b) Um UCL de 90% é fornecido quando o número de amostras para o MOPC é maior que cinco. Um UCL de 90% é considerado uma boa estimativa da média.
- (c) A RBC unitária é baseada em uma fração de 1% de nutrientes (FON). Todas as RBCs estão em mg MOPC/kg produto.
- (d) A % de FON para cada categoria de produtos é a melhor estimativa. A determinação de FON é apresentada na Tabela 15. A % de FON para cada categoria de produtos é: misturas agrícolas = 18; fosfato sulfato de amônio = 20; polifosfato de amônio = 34; fosfato diamônio = 46; fosfato monoamônio = 52; nitrofosfato = 20; ortofosfato = 30; fosfato = 30; ácido fosfórico = 56; superfosfato simples = 20; ácido superfosfórico = 70; superfosfato triplo = 46; polifosfato de amônio - uréia - KCl = 19; fosfato de amônio - uréia = 45; e fosfato diamônio - uréia - KCl = 15.
- (e) RBC ajustada é igual à RBC unitária multiplicada pela % de FON. Por exemplo, a RBC unitária de arsênio para misturas agrícolas = 4,5 e a % de FON para misturas agrícolas é 18. Portanto, a RBC ajustada para arsênio em misturas agrícolas =  $4,5 \times 18 = 81$  mg de arsênio/kg produto.
- (f) Se a concentração máxima é maior que a RBC ajustada, há um excesso.
- (g) O número de excessos é o número de amostras (dentro de cada categoria de produtos) com uma concentração maior que a RBC ajustada.
- (h) Todos os números têm dois algarismos significativos. Quando somente um dígito é apresentado, um zero (ao lado direito do decimal) é o último dígito. Por exemplo, 6 = 6,0 e 0,05 = 0,050.
- (i) A TWG (1999c) não possui dados para todos os MOPCs para as seguintes categorias de produtos: nitrofosfato, ortofosfato, fosfato, ácido superfosfórico, polifosfato de amônio - uréia - KCl, fosfato de amônio - uréia, e fosfato de diamônio - uréia.

**TABELA 18 – AVALIAÇÃO DE NÍVEIS ORIENTADORES: COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM FERTILIZANTES CONTENDO MICRONUTRIENTES COM A CONCENTRAÇÃO BASEADA EM RISCO (RBC) AJUSTADA**

Categoria de Produto	Sumário Estatístico dos dados de Concentração (a)							Comparação			Excedeu?	
	N	Mínimo	Máximo	GM	GSD	90% UCL (b)	RBC Unitária (c, d)	RBC Ajustada (e)	Concentração Máxima	Sim ou Não (f)	N (g)	
<b>Boro Micronutriente</b>												
Arsênio	8	1,8	1.000	42	8,6	180	38	570	1.000	Sim	2	
Cádmio	5	0,75	20	10	4,3	-	210	3.200	20	Não	-	
Cromo	1	1,3	1,3	-	-	-	220.000	3.300.000	1,3	Não	-	
Cobalto	1	1,8	1,8	-	-	-	23.000	350.000	1,8	Não	-	
Cobre	1	0,5 (h)	0,5	-	-	-	1.800	27.000	0,5	Não	-	
Chumbo	7	1	150	21	12	130	500	7.500	150	Não	-	
Mercurio	1	0,0025	0,0025	-	-	-	6,5	98	0,0025	Não	-	
Molibdênio	1	0,25	0,25	-	-	-	300	4.500	0,25	Não	-	
Níquel	3	0,5	4	1,8	3	-	2.600	39.000	4	Não	-	
Selênio	1	2	2	-	-	-	800	12.000	2	Não	-	
Vanádio	1	17	17	-	-	-	17.000	260.000	17	Não	-	
Zinco	1	7,7	7,7	-	-	-	8.600	130.000	7,7	Não	-	
<b>Ferro Micronutriente (i)</b>												
Arsênio	35	0,6	6.200	67	13	140	38	910	6.200	Sim	8	
Cádmio	31	0,3	3.900	17	5,4	28	210	5.000	3.900	Não	-	
Cromo	10	2	120	8,9	3,9	20	220.000	5.300.000	120	Não	-	
Chumbo	37	0,37	18.000	330	12	660	500	12.000	18.000	Sim	1	
Níquel	10	3,4	210	31	4,2	71	2.600	6.200	210	Não	-	
<b>Manganes Micronutriente</b>												
Arsênio	14	0,1	2.000	19	16	70	38	460	2.000	Sim	2	
Cádmio	13	0,16	55	3,1	6	7,4	210	2.500	55	Não	-	
Cromo	8	3,1	460	17	5,8	57	220.000	2.600.000	460	Não	-	
Cobalto	5	11	290	74	3,4	-	23.000	280.000	290	Não	-	
Cobre	3	21	40.000	2.500	65	-	18.000	220.000	40.000	Não	-	
Chumbo	14	0,55	13.000	62	30	310	500	6.000	13.000	Sim	1	
Mercurio	5	0,0025	0,23	0,01	7,6	-	6,5	78	0,23	Não	-	
Molibdênio	5	2,5	850	15	12	-	300	3.600	850	Não	-	
Níquel	11	1,5	560	43	5,4	110	2.600	31.000	560	Não	-	
Selênio	5	2	20	6,2	2,9	-	800	9.600	20	Não	-	
Vanádio	3	0,55	33	3	8,4	-	17.000	200.000	33	Não	-	
Zinco	5	61	94.000	4.700	25	-	8.600	100.000	94.000	Não	-	

As notas de rodapé são apresentadas no fim da tabela.

TABELA 18 (continuação)

Categoria de Produto	Sumário Estatístico dos dados de Concentração (a)							Comparação			Excedeu?	
	N	Mínimo	Máximo	GM	GSD	90% UCL (b)	RBC Unitária (c, d)	RBC Ajustada (e)	Concentração Máxima	Sim ou Não (f)	N (g)	
<b>Zinco Micronutriente</b>												
Arsênio	56	0,1	130	4,5	8,8	7,4	38	1.000	130	Não	-	
Cádmio	74	0,095	2.300	24	8,5	36	210	5.700	2.300	Não	-	
Cromo	24	0,25	8.100	24	17	65	1.800.000	49.000.000	8.100	Não	-	
Cobalto	6	0,25	790	17	36	330	23.000	620.000	790	Não	-	
Cobre	4	4,4	1.700	170	14	-	1.800	49.000	1.700	Não	-	
<b>Chumbo</b>	<b>72</b>	<b>0,32</b>	<b>28.000</b>	<b>180</b>	<b>23</b>	<b>320</b>	<b>500</b>	<b>14.000</b>	<b>28.000</b>	<b>Sim</b>	<b>6</b>	
Mercurio	16	0,0025	12	0,03	31	0,14	6,5	180	12	Não	-	
Molibdênio	5	0,25	14	1,2	5,6	-	300	8.100	14	Não	-	
Níquel	14	4,3	450	47	4,4	96	2.600	70.000	450	Não	-	
Selênio	15	0,013	25	0,77	9,1	2,1	800	22.000	25	Não	-	
Vanádio	4	0,5	47	14	9,3	-	17.000	460.000	47	Não	-	
<b>Zinco</b>	<b>6</b>	<b>22.000</b>	<b>350.000</b>	<b>160.000</b>	<b>2,8</b>	<b>380.000</b>	<b>8.600</b>	<b>230.000</b>	<b>350.000</b>	<b>Sim</b>	<b>2</b>	

## TABELA 18 (notas)

### Notes:

- Não Aplicável
- GM = Média Geométrica
- GSD = Desvio Padrão Geométrico
- N = Número de Amostras (ou Excedentes)
- 90% UCL = Acima de 90% do Limite de Confiança
  
- (a) Todas as concentrações estão em mg MOPC/kg de produto (ou ppm). Os dados são da indústria, literatura e dados de monitoramento do estado [compilados e mantidos pelo The Weinberg Group, Inc. (TWG, 1999c)].
- (b) Um UCL de 90% é fornecido quando o número de amostras para o MOPC é maior que cinco.
- (c) Um UCL de 90% é considerado uma boa estimativa da média.
- (d) A RBC unitária é baseada em uma fração de 1% de nutrientes (FON). Todas as RBCs estão em mg MOPC/kg produto. A % de FON para cada categoria de produtos é a melhor estimativa. A determinação de FON é apresentada na Tabela 16. A % de FON para cada categoria de produtos é: boro micronutriente = 15; ferro micronutriente = 24; manganês micronutriente = 12; e zinco micronutriente = 27.
- (e) A RBC ajustada é igual à RBC unitária multiplicada pela % de FON. Por exemplo, a RBC unitária de arsênio para micronutrientes = 38 e a % de FON para boro micronutriente é 5. Portanto, a RBC ajustada para arsênio em micronutrientes - boro =  $38 * 15 = 570$  mg de arsênio/kg produto.
- (f) Se a concentração máxima é maior que a RBC ajustada, há um excedente.
- (g) O número de excedentes é o número de amostras (dentro de cada categoria de produtos) com uma concentração maior que a RBC ajustada.
- (h) Todos os números têm dois algarismos significativos. Quando somente um dígito é apresentado, um zero (ao lado direito do decimal) é o último dígito. Por exemplo, 6 = 6,0 e 0,05 = 0,050.
- (i) A TWG (1999c) não possui dados para todos os MOPC para a categoria de ferro micronutriente



## GERAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO BASEADA EM RISCO (RBC) PARA O RADIONUCLÍDEO (RÁDIO 226) E AVALIAÇÃO DE NÍVEIS ORIENTADORES PARA A SAÚDE: COMPARAÇÃO DA RBC COM OS DADOS DOS PRODUTOS

Vários radionuclídeos foram detectados em fertilizantes fosfatados, como o urânio 238, rádio 226 e tório 232. Nesta seção será gerada uma RBC para um dos radionuclídeos, o rádio 226. O rádio 226 foi selecionado como o radionuclídeo para se desenvolver uma RBC baseada na toxicidade relativa, concentração relativa do produto e avaliações precedentes. A RBC para o rádio 226 é usada para conduzir uma avaliação de níveis orientadores para a saúde.

### Toxicidade Relativa

Um radionuclídeo é a espécie radioativa de um elemento específico. Os radionuclídeos exercem efeitos tóxicos pela transferência de energia de um campo elétrico de seu núcleo destruindo as células ao redor e produzindo radicais livres. A toxicidade é medida como atividade. Os radionuclídeos são classificados pela USEPA como cancerígeno do Grupo A (USEPA, 1999d) e, como tal, as RBCs são desenvolvidas baseadas no risco de câncer. O rádio 226 tem uma toxicidade relativamente alta, baseada nos fatores de inclinação de ingestão (USEPA, 1999d), comparados a outros radionuclídeos sob consideração. Os fatores de inclinação de ingestão para rádio 226, tório 232 e urânio 238 são  $2,96E-10$  (para rádio e seus produtos de decaimento com vida curta),  $3,28E-11$  e  $4,27E-11$ , respectivamente. Os fatores de inclinação são expressos como risco de incidência de câncer pela radiação, via oral, pelo tempo de vida médio, por unidade de contaminação ou exposição; as unidades são risco/pCi (picoCurie, discutido a seguir).

### Concentração Relativa em um Produto

A quantidade (ou concentração) de um radionuclídeo é também medida como atividade. Tipicamente, a unidade da atividade é expressa como becquerel (Bq). Becquerel é a quantidade de um radionuclídeo, na qual um átomo é transferido por segundo. Na geração da RBC, as Bqs são convertidas a unidades mais convencionais, picoCurie (pCi), de forma a se ajustar às unidades do valor de toxicidade. Há dados limitados de concentração de radionuclídeos em fertilizantes fosfatados. Durante o processo, a concentração de urânio 238 e tório 232 geralmente irá remanescer no componente fosfato do fertilizante (USEPA, 1999a). O urânio 238 decai para formar o rádio 226 (USEPA, 1999e). A meia vida para rádio 226 é de 1.600 anos. O rádio 226 então decai para formar gás radônio 222, o qual tem meia vida de 3,8 dias (USEPA, 1999a). O rádio 226 dos minérios de fosfato estará no fosfogesso (USEPA, 1999a). O tório 232 está em um nível menor em fertilizantes fosfatados que o urânio 238 e o rádio 226 (USEPA, 1999a e TWG, 1999c). O nível de urânio e rádio 226 medidos em vários fertilizantes fosfatados é muito variável.

### Avaliações Precedentes

O rádio 226 é selecionado como um bom exemplo de radionuclídeo para se desenvolver uma RBC. Esta seleção é baseada amplamente em avaliações precedentes. Correntemente, a USEPA (1999e) tem estabelecido limites reguladores restritivos para fosfogesso, incluindo uma proibição ao seu uso na construção de estradas na Flórida, dado ao conteúdo de rádio. A proibição é baseada no risco potencial de um residente no caso da estrada ser abandonada e uma casa for construída nesta estrada. Sob a regulação da USEPA, o uso agrícola de fosfogesso é permitido se o material tiver menos que 10 pCi/g de rádio 226.

## Geração da Concentração Baseada em Risco (RBC)

Uma RBC é gerada para rádio 226 para o cenário de exposição definido na Seção 1.0, a família rural e a ingestão involuntária de solo fertilizado e a ingestão de produtos agrícolas.<sup>35</sup> A rota de exposição por contato dérmico não está incluída na RBC por causa de seu baixo potencial de risco.

A RBC é calculada usando-se uma abordagem similar e muitos dos mesmos parâmetros que foram usados para calcular as RBCs dos MOPCs. Entretanto, por causa das diferenças na toxicidade (e.g., fatores de inclinação são expressos como atividade em vez de concentração) de radionuclídeos, a RBC para rádio 226 é calculada de uma maneira um pouco diferente das RBCs para os MOPCs. Em adição, os parâmetros específicos para rádio são necessários para vários parâmetros. Desvios da geração de RBCs para os MOPCs são:

- (1) fatores de inclinação de radionuclídeos não são expressos como uma função de massa corpórea e tempo, portanto, estes parâmetros não estão incluídos na equação de consumo/contato dérmico;
- (2) os parâmetros específicos (PUF e Kd) para rádio 226; e
- (3) fatores de inclinação para radionuclídeos são expressos como atividade.

### Parâmetros específicos de rádio 226 são:

Kd de 214 - 470 mL/g (USDHHS, 1989b);

PUF (adimensional) para culturas de vegetais é 0,012, culturas de raízes é 0,012 e para grãos é 0,001 – 0,6 (Post, Buckley, Schuh, & Jernigan, Inc. [PBS&J], 1990, Watson et al., 1983); e

Fator de Inclinação Oral 2,96E-10 risco/pCi (USEPA, 1999d).

Os valores de PUFs para culturas de vegetais e raízes são consistentes. Entretanto, há amplos limites de PUFs para grãos (Watson et al., 1983). Em um relatório de PBS&J (1990), os autores sugerem que 0,6 PUF para grãos é muito alto; eles sugerem PUFs mais reais para grãos (0,01 para solos "controle" ou 0,001 para grãos cultivados em áreas de sedimentação de fosfato e argila). O valor de PUF para grãos que é similar aos PUFs para vegetais e raízes é o que foi usado para calcular a RBC (0,01).

Em adição, dada a consideração de somente uma via de perda, o valor Kd no limite inferior é usado para calcular a RBC.

A quantidade de rádio 226 que é incorporada por meio da ingestão involuntária de solo fertilizado e ingestão de produtos agrícolas é ajustada pela percentagem de rádio 226 que se espera ser absorvida no trato gastrointestinal (GI), a qual é de 20% (USDHSS, 1989b).

---

<sup>35</sup> O decaimento de rádio 226 a gás radônio 222 e o potencial para exposição por inalação é reconhecido. Entretanto, sob o cenário de exposição da família rural, é esperado que a contribuição da exposição pela inalação seja muito menor que as outras rotas de exposição. É esperado que a exposição para esta rota seja menor porque: (1) o tempo de exposição limitado (tempo gasto na aplicação) e (2) porque a exposição não é em um espaço confinado, mas em campo aberto, o que permite ao radionuclídeo se dissipar.

## Apresentação da Concentração Baseada em Risco (RBC) e Avaliação de Referência para a Saúde

As unitárias RBCs para rádio 226 são apresentadas a seguir, a menor unitária RBC é de 21 pCi/g e é baseada na propriedade agrícola com vários grupos de culturas e em adultos.

<b>RBC (pCi/g)</b>	<b>Vegetais</b>	<b>Raízes</b>	<b>Grãos</b>	<b>Várias Culturas</b>
Adulto	55	70	64	21
Criança	540	520	460	200

A unitária RBC é ajustada pela FON apropriada para proteção e é comparada à atividade medida em produtos fosfatados selecionados. A avaliação orientadora é apresentada a seguir. Não há excedentes da RBC para rádio 226 pela medida dos níveis de atividade de rádio 226 em fertilizantes fosfatados.

<b>Produto</b>	<b>FON</b>	<b>RBC Ajustada</b>	<b>Nível de atividade em Produto (pCi/g) (a)</b>		<b>Excedentes</b>
			<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	
DAP	46	966	0,7	–	Nenhum
MAP	52	1.100	0,6	12,8	Nenhum
TSP	46	970	84	–	Nenhum
SSP	20	420	92	–	Nenhum
NPK	18	380	04	124	Nenhum

– Indica uma amostra.

(a) Nível de atividade em produtos fosfatados é de TWG (1999c) e de várias amostras provenientes de vários locais no mundo (USEPA, 1999a).





## DISCUSSÃO DAS INCERTEZAS

Cada passo no estabelecimento do escopo desta avaliação e no desenvolvimento das RBCs possui alguma incerteza inerente associada. As principais incertezas desta avaliação de fertilizantes são descritas nesta seção de forma a fornecer uma indicação do grau relativo ao qual a incerteza pode subestimar ou superestimar a exposição, as RBCs e, ou, as conclusões das avaliações de referência. Note que uma superestimativa da exposição irá resultar em uma RBC que é menor, e que uma menor RBC é mais protetora da saúde. Uma análise das principais incertezas associadas com o estabelecimento do escopo desta avaliação e com o desenvolvimento das RBCs é apresentada na Tabela 19. Em adição, uma avaliação da magnitude do impacto relativo de cada parâmetro na equação da RBC é descrita na Tabela 20.

A proposta deste documento é fornecer aos produtores de fertilizantes e órgãos reguladores interessados uma ferramenta fácil para se avaliar se a concentração de elementos selecionados (MOPCs), em um fertilizante inorgânico comercial particular, representa um risco à saúde humana após a aplicação ao solo agrícola. A ferramenta é o nível de referência da RBC que define limites de exposição protetores da saúde. As RBCs são calculadas com base na exposição máxima razoável (RME) e em "valores no limite superior" propositalmente selecionados para levar em conta as incertezas inerentes associadas com cada parâmetro. As RBCs têm a intenção de ser uma ferramenta para avaliação. Mais especificamente, a RBC é um limite de avaliação acima do qual outras avaliações (mais específicas aos produtos) são necessárias para determinar se há, de fato, um risco. As RBCs são, portanto, mais provavelmente superprotetoras que subprotetoras da saúde humana e a análise de incerteza dá apoio a esta conclusão.

As informações apresentadas nas Tabelas 19 e 20 seguem o padrão de organização das informações apresentadas neste relatório e são discutidas a seguir por categorias principais.

### Escopo da Avaliação

O escopo desta avaliação é limitado aos produtos, MOPCs, população exposta e vias de exposição de maior preocupação. Como resultado, as RBCs têm seu foco no maior potencial de exposição e têm a intenção de proteger a saúde em todos os outros cenários de exposição. As RBCs podem resultar em uma superestimativa de risco potencial, mas não é provável que subestimem o risco.

Baseado em: (1) os dados de concentração de MOPCs disponíveis em uma ampla faixa de produtos fertilizantes inorgânicos, (2) a toxicidade relativa dos MOPCs e (3) a precedência para avaliação de risco à saúde, a seleção de fertilizantes fosfatados e contendo micronutrientes e os 12 metais (além do rádio 226), há muito pouca incerteza de que há maiores riscos para outros produtos ou metais.

Os aplicadores de fertilizantes correm um risco mínimo de serem prejudicados pelos MOPCs em fertilizantes inorgânicos (TWG, 1999a,b). A ingestão é a principal via de exposição para MOPCs (USEPA, 1999b; CDFA, 1998). A exposição vem da ingestão dos produtos agrícolas, do contato dérmico e da ingestão involuntária de solo. Não se espera que a exposição adicional pela aplicação de fertilizantes adicione um risco significativo aos residentes rurais adultos.

Várias vias de exposição (vias de transporte e rotas de exposição) não são consideradas relevantes e estão excluídas do desenvolvimento de RBCs. A exclusão destas vias de exposição não subestima o risco, visto que as vias e rotas de exposição de maior preocupação (fatores primários da RBC) são a base da RBC (USEPA, 1999b; CDFA, 1998). Em particular, a ingestão de produtos animais não é considerada na RBC. A exclusão desta rota de exposição provavelmente não subestima o risco porque se assume que todos os MOPCs que são absorvidos e transportados para grãos são diretamente consumidos por

humanos (preferivelmente a dividir-se a exposição em consumo direto das culturas e consumo indireto de animais que se alimentaram das culturas). Similarmente, não é provável que ao assumir que a forma de mercúrio que se acumula no solo é cloreto de mercúrio e não metil-mercúrio (que bioacumula em peixes) a avaliação final de risco seja significativamente alterada. 36 Novamente, isso é um assunto em que se deve dividir o total de MOPCs adicionados ao solo em duas vias de exposição versus considerar o total de MOPCs adicionados em uma simples via de exposição.

Várias rotas de exposição que não são consideradas "indicadores ambientalmente aceitáveis" (Chaney et al., 1999) para MOPCs específicos foram incluídas na RBC. Por exemplo, vários MOPCs podem ser tóxicos (fitotóxicos) para a planta (e.g., zinco) antes de atingir os níveis que poderiam ser tóxicos para humanos que ingeriram a planta (ou cultura). A inclusão da ingestão de produtos agrícolas nas RBCs para estes MOPCs pode superestimar o risco.

### **Geração da Concentração Baseada em Risco (RBC)**

As RBCs têm a intenção de representar o cenário RME; portanto, espera-se que elas sejam razoavelmente e maximamente protetoras da saúde. A RBC mais baixa é mais protetora da saúde. Muitos dos parâmetros são estimativas estatísticas recomendadas pela USEPA para o cenário RME. Uma avaliação da magnitude do impacto relativo na equação da RBC para cada um destes parâmetros é apresentada na Tabela 20. A magnitude do impacto considera: (1) a possível amplitude dos valores (e.g., EF de 350 dias/ano - 1 dia/ano, ou ingestão de solo para uma criança de 100 mg/dia - 400 mg/dia) e (2) o peso que cada um dos parâmetros tem na RBC (e.g., SACF, AR e PUF podem significativamente influenciar a RBC). Dois parâmetros em particular, a AR e o PUF, que têm estimativas no limite superior, são particularmente relevantes na geração da RBC. O uso de um cenário RME e estimativas no limite superior para AR e PUF vão, provavelmente, mais subestimar que superestimar as RBCs (i.e., superestimar o risco, preferivelmente que subestimá-lo), como discutido a seguir. Várias suposições podem levar a subestimar a RBC (risco superestimado); estas suposições são também discutidas a seguir.

Os parâmetros de exposição biológica (e.g., BW [massa corporal], IR [taxa de ingestão] e SA [área dérmica superficial exposta]) são estimativas RME recomendadas. Estes parâmetros podem subestimar a RBC, mas são considerados razoáveis para uma avaliação por níveis orientadores. Em adição, eles têm um baixo impacto relativo na equação da RBC. O uso de um FI de 1 assume que 100% dos produtos agrícolas que uma pessoa consome vêm da propriedade agrícola. Esta é a mais elevada FI e assume que todas as culturas que são ingeridas são fertilizadas. Também, o efeito do preparo e, ou, cozimento das culturas para consumo não é avaliado pela RBC. A exclusão deste fator pode superestimar o risco e subestimar a RBC porque é provável que o cozimento resulte em uma menor concentração de um MOPC na cultura pela liberação de alguns dos MOPC.

O uso de estimativas no limite superior para AR e PUF pode resultar em RBCs que são subestimados para um cenário "típico". Entretanto, o uso de estimativas no limite superior para esses parâmetros garante que as RBCs são protetoras da saúde de possíveis exposições até o limite superior. Por exemplo, a absorção de um MOPC pela planta é geralmente maior em um solo mais ácido. O uso de uma estimativa no limite superior de PUF resulta em RBCs que são protetoras da saúde deste cenário potencial. Em adição, os PUFs podem ser posteriormente superestimados pela inclusão de estudos em casa de vegetação ou em vasos. A absorção de MOPCs é tipicamente maior em estudos em vasos que em estudos de campo; estudos em vasos ainda foram incluídos na base de dados. Por outro lado, os PUFs podem ser subestimados pelo uso da concentração de MOPC total comparada à concentração extraível do solo no denominador do PUF. Por último, os PUFs são baseados em todas as partes das plantas, não somente nas partes comestíveis. A magnitude da incerteza no uso dos dados de plantas inteiras no desenvolvimento de PUFs é desconhecida. Em geral, os PUFs são provavelmente superestimativas da absorção de MOPCs pelas plantas, ao invés de subestimativas.

Outro parâmetro que pode subestimar preferivelmente a superestimar a RBC é a suposição de que o fator de absorção (RAF) é de 100% da ingestão de MOPC em solo e culturas para a maioria dos MOPCs. Novamente, isto é selecionado como um parâmetro conservativo para uma avaliação de níveis orientadores. O RAF ajusta a contaminação estimada e o valor de toxicidade para uma dose absorvida resultando em uma RBC que é mais real e representativa da exposição real, do aporte e da absorção. A dose absorvida é provavelmente menor que a dose administrada, especialmente quando o MOPC é sorvido ao solo ou aos tecidos das plantas. Para todos os MOPCs, exceto arsênio, assume-se um RAF de 1. Em adição, a contaminação por chumbo é ajustada pelos valores percentuais de absorção. Um RAF de 1 pode ter diferentes magnitudes de efeito na RBC dependendo dos MOPCs e da base do valor de toxicidade. Por exemplo, a maioria dos valores de toxicidade são baseados em doses administradas na dieta ou alimento. A dose absorvida pode ser menor que a administrada. Neste caso a toxicidade pode ocorrer em uma dose menor, resultando em um menor valor de toxicidade. Portanto, o valor de toxicidade baseado em uma dose administrada pode ser maior que o valor de toxicidade baseado em uma dose absorvida. Por outro lado, um aporte estimado que seja também baseado na quantidade administrada ao invés da absorvida, pode ser superestimado, especialmente sob certos cenários de exposição. Portanto, se possível, valores de toxicidade e aporte deveriam ser baseados em doses administradas ou em doses absorvidas, porém para o mesmo (ou similar) meio de exposição.

Quando o valor de toxicidade é baseado na dose absorvida e o aporte estimado é baseado na dose administrada, como é o caso para cádmio, a RBC pode ser subestimada. O valor de toxicidade para cádmio é baseado em alimentos e é gerado usando um modelo fármaco-cinético que considera a porcentagem de cádmio que é absorvida no fluxo sanguíneo a partir da dieta. Porém, a contaminação estimada por cádmio a partir da ingestão dos produtos agrícolas e ingestão involuntária de solo é baseada na quantidade de alimento ou solo ingerido e não na real quantidade de cádmio absorvido no fluxo sanguíneo. Assume-se que a absorção de cádmio neste meio seja de 100%, enquanto que se espera que a absorção de cádmio a partir dos alimentos ou solo no tubo digestivo seja muito menor (menos que 5%).

A magnitude do efeito do fator de acumulação do solo (SACF) na RBC é desconhecida. A SACF pode superestimar a acumulação e biodisponibilidade de MOPC no solo após a aplicação. A consideração da perda de MOPCs através de lixiviação como única via de perda provavelmente subestima a RBC porque é provável que a perda de MOPCs através de outras vias de perda possa ocorrer. De modo contrário, entretanto, os valores de Kd usados no desenvolvimento da RBC podem superestimar a lixiviação de MOPC para a água subterrânea e subestimar a exposição em solo. Quanto menor o Kd, mais disponível o MOPC é para lixiviação para água subterrânea e menos permanece no solo. Há uma grande amplitude dos valores de Kd (tanto medidos quanto estimados) na literatura. Os Kds selecionados para esta avaliação são baseados nos dados medidos e vêm de uma fonte da literatura apenas, mas estão nos limites inferiores da faixa de Kds.

Os valores de toxicidade da USEPA usados no desenvolvimento das RBCs são propositalmente conservadores. Por exemplo, o valor de toxicidade para arsênio é baseado em uma população deficiente em nutrientes. A agência construiu consideráveis fatores de segurança. Em adição, para esta avaliação em particular, o uso do fator de inclinação de câncer oral pode superestimar o risco desde que o valor de toxicidade de câncer para arsênio seja baseado em: (1) inalação e câncer de pulmão e (2) água potável e câncer de pele, nenhum sendo diretamente relacionado à ingestão de alimentos.

Também, valores de toxicidade para várias formas de cromo estão disponíveis. De forma a selecionar o valor mais apropriado de toxicidade para usar no desenvolvimento de RBCs, suposições são feitas sobre a forma do MOPC que é mais provável a acumular no solo e ser disponibilizado para absorção pelas culturas e exposição humana. Em particular, assume-se que cromo III se acumula no solo e pode estar disponível para absorção, não o cromo VI. Esta suposição sobre a forma de cromo pode subestimar o risco da exposição porque o cromo III é menos tóxico que o cromo VI. Entretanto o cromo III é a forma que se espera acumular no solo sobre um longo período de tempo.

A presença e efeito de outros MOPCs na toxicidade (sinergismo, antagonismo) ou absorção (e.g., cádmio e zinco) não são considerados e podem subestimar ou superestimar os riscos. Mais que um MOPC é frequentemente presente em um fertilizante. Em adição, a contribuição de níveis de base (naturais) de MOPCs no solo não é também levada em conta para a RBC. A exclusão da contribuição dos níveis de base pode superestimar a RBC e subestimar a exposição e o risco. Assume-se que o potencial para se subestimar a exposição e o risco destes fatores seja equalizado pela maioria dos parâmetros limites superiores e suposições usadas na geração de RBCs.

### **Análise Completa da Incerteza na RBC e Avaliação de Níveis Orientadores de Risco à Saúde**

A abordagem usada nesta avaliação é consistente com a prática aceita geralmente em análises de níveis orientadores de risco à saúde. Com esta finalidade, os produtos, MOPCs, população exposta e cenários de exposição são selecionados e as RBCs são geradas para garantir que sejam suficientemente protetoras da saúde. Apesar de várias incertezas que podem superestimar a RBC (subestimar o risco), o escopo, as RBCs e a avaliação de níveis orientadores para a saúde (comparação das RBCs a concentrações medidas de MOPCs em produtos) são considerados protetoras da saúde. Em adição, a maioria dos parâmetros, em particular os parâmetros que têm um alto impacto relativo na equação da RBC (e.g., AR, PUF), são estimativas no limite superior.



**TABELA 19 – PRINCIPAIS SUPOSIÇÕES E INCERTEZAS ASSOCIADAS  
COM AS CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCs)  
E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE POR NÍVEIS ORIENTADORES**

<b>Suposição</b>	<b>Magnitude da Incerteza e Efeito na Concentração Baseada em Risco (RBC) e na Estimativa de Risco</b>	<b>Razões Fundamentais</b>
<b>Escopo da Avaliação</b>		
Foca-se em fertilizantes fosfatados e que contém micronutrientes selecionados.	Baixa - pode subestimar o risco (superestimar RBC) se outras classes apresentarem níveis altos de metais, mas isso não é provável.	Essas classes de fertilizantes inorgânicos tendem a conter altos níveis de metais potencialmente perigosos (MOPCs). Os fertilizantes fosfatados têm os mais altos níveis de metais comparados a outros macronutrientes. Também, os fertilizantes com micronutrientes que foram avaliados têm as mais altas concentrações de metais.
Foca-se em doze metais potencialmente perigosos (MOPCs) e um radionuclídeo (rádio 226) considerados de toxicologia significativa comparados a outros metais encontrados em fertilizantes inorgânicos.	Baixa - pode subestimar o risco e superestimar a RBC se outros metais são mais tóxicos ou estavam presentes em níveis significativamente mais elevados, mas isso não é provável.	Outros metais encontrados em fertilizantes inorgânicos têm toxicidade comparativa baixa. Além disso, como os metais com alta toxicidade não representam, neste caso, perigo à saúde (arsênio, mercúrio e chumbo), então não se espera que os outros metais sejam perigosos à saúde.
Foca-se na família rural e em vias de exposição selecionadas – ingestão não intencional de solo fertilizado, contato dérmico com solo fertilizado e fertilizantes inorgânicos.	Baixa - pode superestimar o risco e subestimar a RBC.	Protetor da saúde de todos os outros cenários porque considera o cenário com mais elevada exposição e, portanto, espera-se que tenha a mais baixa RBC.
Exclui várias vias e rotas de exposição, tais como, ingestão de produtos animais que tenham ingerido MOPCs e bioacumulação de metil-mercúrio em peixes.	Baixa - pode subestimar o risco e superestimar a RBC.	Provavelmente não subestima o risco porque as rotas de mais alta exposição são a base da RBC. Em particular, a RBC para grãos é baseada na suposição de que todos os MOPCs que são absorvidos em grãos são diretamente consumidos por humanos.
Não consideração de indicadores ambientalmente aceitáveis. Por exemplo, os MOPCs podem ser tóxicos para plantas antes de chegarem a níveis que poderiam ser tóxicos a humanos.	Baixa - Média - pode superestimar o risco e subestimar a RBC.	A toxicidade de plantas não é considerada nesta avaliação. As RBCs têm a intenção de ser protetoras da saúde no caso da ingestão de produtos agrícolas contendo MOPCs sob qualquer cenário.
<b>Geração de Concentrações Baseadas em Risco (RBCs)</b>		
Desenvolvimento de um cenário RME.	Baixa - Média - pode superestimar o risco e subestimar a RBC.	Guia padrão para níveis orientadores para garantir que as RBCs sejam suficientemente protetoras da saúde.
Exposições são baseadas em fertilizantes granulados.	Baixa - pode sub ou superestimar o risco e a RBC.	Assume-se que a exposição a fertilizantes na forma granular seja similar à de solo e assume-se que a exposição a fertilizantes líquidos resulte em uma exposição similar à dos fertilizantes granulados. Suficientemente protetores da saúde.
Estimativas no limite superior para AR e PUF	Baixa - Média - pode superestimar o risco e subestimar a RBC.	Garante que as RBCs são protetoras da saúde em cenários onde a alta acumulação, absorção e exposição possam ocorrer.

**TABELA19 – (continuação)**

<b>Suposição</b>	<b>Magnitude da Incerteza e Efeito na Concentração Baseada em Risco (RBC) e na Estimativa de Risco</b>	<b>Razões Fundamentais</b>
Desenvolvimento de PUFs: (1) inclui estudos em casa de vegetação e (2) é baseado na concentração total de MOPCs no solo.	Baixa - Média - pode sub ou superestimar o risco e a RBC.	Absorção de MOPCs por plantas em estudos em casa de vegetação e em vasos é maior que em estudos de campo. Os PUFs são baseados na concentração de MOPCs extraíveis do solo.
RAF de 1 (ou 100%).	Baixa - Média - pode superestimar a exposição e o risco e subestimar a RBC.	Suposição conservativa dado a falta de informação necessária para se desenvolver o RAF apropriado e aplicável. O RAF é provavelmente menor que 100%.
Desenvolvimento do SACF – consideração de vias de perda limitadas e uso de Kds no limite inferior.	Baixa - Média - pode super ou subestimar o risco e a RBC.	Um SACF baseado em vias de perda limitadas pode resultar em mais MOPCs acumulando no solo. Ao contrário, Kds no limite inferior podem superestimar a disponibilidade de MOPCs para o transporte e lixiviação para águas subterrâneas.
Fatores de inclinação de câncer conservativos gerados pela USEPA, doses crônicas de referência e fator de inclinação biocinético do chumbo são usados para avaliar o risco.	Média - pode superestimar o risco e subestimar a RBC.	Para efeitos não carcinogênicos, as combinações de fatores de incerteza junto com dados de dose-resposta, frequentemente de animais de laboratório, são usadas para gerar critérios para proteger os mais sensíveis receptores humanos. Para efeitos carcinogênicos, os dados de dose-resposta são usados para gerar fatores de inclinação que estimem limites superiores para riscos associados a uma dada exposição. O risco atual poderia ser muito menor (especialmente para arsênio).
O critério de toxicidade para a exposição dérmica foi gerado usando-se uma extrapolação rota a rota e um ajuste para uma dose absorvida.	Média - pode sub ou superestimar o risco e a RBC.	Dependendo do MOPC, a rota de administração ou exposição pode mudar a toxicidade.
É usado o valor de toxicidade para cromo III e não cromo VI.	Baixa - pode subestimar o risco e superestimar a RBC.	Cromo VI é mais tóxico que cromo III, entretanto, espera-se que o cromo III se acumule no solo por um longo período.
Fatores não considerados durante o desenvolvimento da RBC: Contribuição dos MOPCs em concentrações naturais A presença e efeito de outro MOPC na toxicidade (sinergismo, antagonismo) ou absorção (e.g., cádmio e zinco)	Baixa - Média - pode super ou subestimar o risco e a RBC.	Por causa da falta de informação necessária, é impossível ter acesso a cada um dos fatores. A abordagem conservativa geral é considerada protetora da saúde.

**TABELA 20- MAGNITUDE DO IMPACTO RELATIVO ASSOCIADO  
COM CADA PARÂMETRO NA EQUAÇÃO DE RISCO**

<b>Parâmetro</b>	<b>Descritor Estatístico</b>	<b>Magnitude do Impacto Relativo (Alto, Baixo) na Equação de Risco (a)</b>
<b><i>Parâmetros de Exposição Biológicos</i></b>		
Duração da Exposição (ED)	95º percentil, estimativa no limite superior	Alta (para arsênio, o único agente carcinogênico)
Frequência da Exposição (EF)	Limite superior muito alto, assume exposição todos os dias do ano exceto por 2 semanas longe de casa	Alta
Tempo Médio de exposição (AT)	Padrão, mas limite superior alto, baseado na exposição durante a vida por substâncias cancerígenas e por não cancerígenas	Alta
Massa Corporal (BW)	Estimativa média	Baixa
Taxas de Ingestão para Solo e Culturas (IR)	Estimativa média	Baixa
Fração Ingerida (FI)	Percentual mais alto possível	Alta
Área Superficial da Pele (SA)	Tendência central	Baixa
Fator de Aderência (AF)	Tendência central	Baixa
<b><i>Parâmetros Específicos das Culturas</i></b>		
Taxa de Aplicação (AR)	Limite de confiança acima de 95% da média aritmética - estimativa no limite superior	Alta
Fatores de Absorção pela Planta (PUFs)	Limite de confiança acima de 90% da média aritmética - estimativa no limite superior	Alta
Fração de área (FOL)	Estimativas razoáveis	Baixa
Fator de Acumulação no Solo (SACF)	Estimativas razoáveis, combinação de valores nos limites alto, central e baixo	Alta
<b><i>Parâmetros Específicos de Metais Potencialmente Perigosos (MOPCs)</i></b>		
Valores de Toxicidade (Tox)	Limite alto, valores padrão protetores da saúde	Alta
Fator de Absorção Relativa (RAF)	Maioria é de 100%, percentagem no limite superior (exceto para arsênio e chumbo)	Baixa – Alta (dependente dos MOPCs)

(a) A magnitude do impacto considera: (1) a possível faixa de valores (e.g., EF de 350 dias/ano - 1 dia/ano ou ingestão de solo para uma criança de 100 mg/dia - 400 mg/dia) e (2) o peso que cada parâmetro tem na equação da RBC (e.g., SACF, AR e PUF têm peso significativo).





---

## **CONCLUSÕES DA AVALIAÇÃO**

A avaliação orientadora indica que não há excedentes para quaisquer das RBCs dos fertilizantes fosfatados e, portanto, não há riscos à saúde causados pela exposição a metais em fertilizantes do tipo NPK. Com respeito a fertilizantes contendo micronutrientes, há excedentes para RBCs de arsênio e chumbo para vários produtos. Estes produtos contêm relativamente altos níveis de arsênio e chumbo em algumas amostras. Por causa da natureza protetora da saúde das avaliações em níveis orientadores e devido ao fato dos excedentes ocorrerem somente na concentração máxima de metal em algumas amostras, uma conclusão definitiva a respeito dos riscos à saúde de produtos contendo micronutrientes ou categorias de produtos requer uma avaliação mais detalhada, produto a produto. Uma avaliação refinada poderia levar em conta o uso exato e as condições de uso dos produtos específicos, bem como dados de monitoramento para concentração de arsênio e chumbo em amostras adicionais destes produtos.

Como em qualquer análise de risco, há um nível de incerteza associado a esta avaliação. As principais incertezas foram identificadas e descritas no relatório. A incerteza é, provavelmente, um erro que mais superestima do que subestima o potencial de risco dos produtos fertilizantes NPK e micronutrientes.





## COMPARAÇÃO A OUTRAS AVALIAÇÕES

Em adição a esta avaliação, outras avaliações de fertilizantes inorgânicos foram conduzidas (CDFA, 1998; USEPA, 1999b).<sup>37</sup> Estes relatórios foram usados nesta avaliação de forma a auxiliar no estabelecimento de suposições protetoras da saúde e a focalizar o escopo desta avaliação. A comparação de: (1) proposta e abordagem geral, (2) escopo, (3) parâmetros-chave específicos, e (4) conclusões entre estas três avaliações é feita nesta seção.

### Proposta e Abordagem Geral

A proposta e abordagem geral de cada uma das avaliações é apresentada na Tabela 21. Todas as três avaliações têm a intenção de procurar respostas à questão: os fertilizantes inorgânicos são seguros? Todas as avaliações fornecem informações valiosas para responder à questão. Entretanto, cada análise apresenta uma abordagem diferente e, desta forma, fornece informações únicas bem como complementares, além de conclusões.

A proposta desta avaliação é desenvolver uma ferramenta de orientação flexível que possa ser usada para avaliar produtos fertilizantes inorgânicos. Em adição, esta análise avalia uma base de dados muito abrangente de produtos fertilizantes (TWG, 1999c). Devido a proposta desta avaliação fornecer uma ferramenta de orientação flexível, que pode ser usada para avaliar muitos produtos agora e no futuro, esta avaliação usa uma metodologia de cálculo inverso do risco e desenvolve RBCs. Esta avaliação usa abordagens de estimativa determinística e exposição no limite superior para desenvolver as RBCs protetoras da saúde, ou níveis de metais nos produtos. Em adição, esta avaliação tem a intenção de ter aplicação nacional.

Como expresso em USEPA (1999b), a proposta da análise da USEPA é estimar os riscos potenciais à saúde humana e ao ambiente por contaminantes em (23) produtos fertilizantes. Tal determinação de risco requer uma abordagem de análise de risco direto. Isto é, a USEPA determina os riscos para uma ampla gama de tipos de produtos que estão correntemente no comércio. Um sumário desta base de dados é apresentado em USEPA (1999a). A USEPA usa uma abordagem probabilística para estimar a distribuição do risco individual durante a vida pela exposição a metais em fertilizantes inorgânicos após a aplicação. A avaliação da USEPA tem aplicação nacional.

A proposta da avaliação da CDFa (1998) é de desenvolver RBCs para três metais em fertilizantes inorgânicos – arsênio, mercúrio e chumbo – que são baseadas na aplicação e exposição na Califórnia. De todos os metais que estão presentes em fertilizantes inorgânicos, estes três foram escolhidos (baseados em uma avaliação de níveis de referência) porque eles são considerados os causadores de maior risco. A CDFa (1998) apresenta uma metodologia, porém não avalia os dados atuais do produto e, portanto, não faz conclusões a respeito de riscos à saúde. A Califórnia usa uma abordagem probabilística para desenvolver as RBCs.

<sup>37</sup> A avaliação de riscos de fertilizantes da USEPA se baseia na informação fornecida em um relatório acompanhante (USEPA, 1999a).

## **Escopo**

O escopo de cada uma dessas avaliações varia; uma comparação do escopo é também apresentada na Tabela 21.

O escopo desta avaliação é direcionado para focar nos produtos, MOPCs, populações e vias de exposição de maior preocupação. Os produtos avaliados são os fertilizantes fosfatados e fertilizantes contendo micronutrientes selecionados (boro, ferro, manganês e zinco). Os MOPCs para os quais as RBCs são desenvolvidas e, os produtos, avaliados, são: arsênio, cádmio, cromo, cobalto, cobre, chumbo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio, vanádio e zinco e um radionuclídeo, o rádio 22. O cenário de exposição é a família rural, incluindo adultos e crianças e as vias de exposição que contribuem com a maioria do risco incluindo contato direto com solo fertilizado (i.e., ingestão não intencional e contato dérmico) e absorção de MOPCs por plantas e sua subsequente ingestão de produtos agrícolas. As RBCs têm a intenção de ser nacionalmente representativas. As culturas são agrupadas em grupos fisiológicos parecidos (vegetais, raízes e grãos); cada um destes grupos é avaliado independentemente.

A USEPA (1999b) avalia todas as categorias de produtos fertilizantes inorgânicos (e.g., NPK para P, NPK para N, fertilizantes fosfatados, fertilizantes nitrogenados, fertilizantes potássicos, etc.), trabalhadores rurais e residentes rurais (tanto adultos como crianças), a maioria das vias de exposição (todas as três avaliações excluem água potável) e 29 locais. As culturas são agrupadas como ingeridas por animais (grãos e forragem) e culturas ingeridas por humanos (frutas, ervas ou vegetais sobre o solo e raízes). A USEPA (1999b) avalia nove MOPCs: arsênio, cádmio, cobalto, cobre, chumbo, mercúrio, níquel, vanádio e zinco, bem como dioxina. A USEPA (1999b) também avalia o risco ao ambiente.

O escopo da CDEA (1998) é focado no desenvolvimento de RBCs para fertilizantes fosfatados e micronutrientes contendo zinco e três MOPCs: arsênio, cádmio e chumbo. Em adição, como mencionado anteriormente, a avaliação da CDEA (1998) tem seu foco na Califórnia. O cenário de exposição em que as RBCs são baseadas é delimitado ao cenário de exposição de maior preocupação, através de uma avaliação de referência da análise de risco direto, determinística. O foco do cenário de exposição consiste de uma família rural (adultos e crianças) e contato direto com solo fertilizado (i.e., ingestão não intencional e contato dérmico) e a absorção dos MOPCs através da ingestão de produtos agrícolas. As culturas são agrupadas e avaliadas similarmente nesta avaliação.

## **Parâmetros chave**

Independentemente se a avaliação usa uma abordagem baseada em cálculo direto (determinação de risco para um grupo específico de produtos) ou em cálculo inverso do risco (desenvolvimento de RBCs e uma avaliação de referência dos produtos atuais e futuros), há parâmetros "chave" em comum. Os parâmetros-chave são aqueles que podem influenciar significativamente a estimativa da RBC ou risco; eles são também chamados parâmetros sensíveis. Uma comparação dos parâmetros usados em cada uma das três avaliações é apresentada na Tabela 22. Os parâmetros-chave incluem a taxa de aplicação (AR), fator de acumulação de solo (especificamente relacionado à perda e biodisponibilidade), fator de absorção pela planta (PUF), e concentração de MOPCs representativa no produto. Outros parâmetros são também apresentados na Tabela 22 (i.e., parâmetros de exposição biológica e valores de toxicidade); entretanto, estes parâmetros são geralmente similares entre as três avaliações e portanto não influenciam a estimativa da RBC ou risco tanto quanto os parâmetros chave.

### **Taxa de Aplicação (AR)**

As taxas de aplicação usadas nesta avaliação são desenvolvidas a partir das informações apresentadas em USEPA (1999a). As ARs para cada um dos três grupos de culturas são desenvolvidas para fertilizantes fosfatados e fertilizantes com micronutrientes contendo zinco. As ARs são estimativas no limite superior do conjunto de dados para cada grupo de culturas (eles estão no limite de confiança acima de

95%, 95UCL da média, baseadas em uma distribuição normal). As ARs para fertilizantes fosfatados são 118, 154 e 63 lbs/acre-ano (sendo lb/acre-ano \* 1,12 = kg/ha-ano) para vegetais, raízes e grãos, respectivamente. A AR para fertilizantes contendo o micronutriente zinco é de 10 lbs/acre para todos os 3 grupos, representando uma estimativa feita pelos especialistas da indústria (USEPA, 1999a).

As ARs usadas em USEPA (1999b) foram tomadas diretamente do relatório da USEPA (1999a) onde o consumo e uso de fertilizantes inorgânicos é apresentado. As ARs para cada categoria de fertilizante genérico são baseadas em uma distribuição percentil de ARs (50<sup>o</sup>, 85<sup>o</sup> e 95<sup>o</sup>). Como comparação, a estimativa no limite superior (85%) da USEPA (1999a) para fertilizantes fosfatados é de 173 lbs/acre e a AR máxima (95%) é de 252 lbs/acre-ano. As ARs no limite superior para fertilizantes contendo micronutrientes são de 10 lbs/acre-ano para zinco e de 20 lbs/acre-ano para ferro (USEPA, 1999a). A distribuição de ARs é combinada com várias FONs na determinação da distribuição de risco.

As ARs usadas no desenvolvimento da RBC em CDEA (1998) são também representadas como uma distribuição. Para fins de comparação, os valores das ARs dos fertilizantes fosfatados (médios) relatados em CDEA (1998) são de 60,0, 67,4 e 38,2 lb/acre-ano para os grupos de culturas vegetais, raízes e grãos, respectivamente (CDEA, 1998). A AR para fertilizantes contendo micronutrientes é de 6,1 lb/acre-ano para todos os grupos de culturas.

### **Acumulação no Solo**

A acumulação de MOPCs no solo após a aplicação é estimada em cada uma das três avaliações usando modelos similares. Entretanto, as suposições feitas a respeito da acumulação no solo, perda do solo e valores de Kd são diferentes.

Nesta avaliação, a SACF considera somente a perda de MOPCs pela lixiviação, portanto, a maioria dos MOPCs que é aplicada supostamente se acumula no solo. A SACF é principalmente baseada em parâmetros padrão genéricos da USEPA. Os valores de Kd são valores medidos publicados na literatura. Estes valores de Kd estão no limite inferior da faixa de Kd.

A acumulação de MOPCs no solo na avaliação da USEPA é mais complexa porque considera a perda de MOPCs por várias vias de perda. Também, a acumulação e perda é determinada para cada uma das 29 localidades geográficas usando parâmetros geográfico específicos. As distribuições de Kd em USEPA (1999b) são derivadas de uma base de dados de Kds compilada pela USEPA.

A acumulação de MOPCs no solo em CDEA (1998) considera várias vias de perda, entretanto, somente a lixiviação é determinada a contribuir substancialmente para perda. As outras vias de perda determinadas são negligíveis. Os valores de Kd usados em CDEA (1998) são os mesmos usados nesta avaliação.

### **Fator de Absorção pela Planta (PUF)**

Os fatores de absorção pela planta (PUFs) usados nesta avaliação são baseados principalmente em estudos de campo, entretanto, alguns dados são de estudos em casa de vegetação ou em vasos (usados na falta de dados de campo). Também, quaisquer estudos em que foram aplicados fertilizantes orgânicos são geralmente excluídos da base de dados de PUF. Os dados de PUF foram agrupados por cultura: vegetais, raízes e grãos. As estimativas de PUF estão acima de 90% do limite de confiança (UCL) formando uma distribuição log normal (ou os 95% UCL, baseados em uma distribuição normal). Os PUFs são apresentados na Tabela 23.

Os fatores de absorção pela planta, descritos como Br pela USEPA (USEPA, 1999b), são apresentados como distribuições e são desenvolvidos a partir de uma pesquisa bem abrangente na literatura. Todos os dados de PUF usados em CDEA (1998) estão incluídos nesta base de dados bem como dados adicionais. A maioria dos dados de PUF vieram de estudos de campo; entretanto, alguns dados provieram

de estudos em casa de vegetação (usados para suplementar conjuntos de dados no caso de haver dados de campo insuficientes). Estudos que usam fertilizantes orgânicos não foram incluídos na base de dados. Os PUFs foram desenvolvidos para as culturas herbáceas (vegetais expostos consumidos por humanos), raízes, grãos, frutos e forrageiras. O valor médio da distribuição é apresentado na Tabela 23 para fins de comparação.

As distribuições de PUF desenvolvidas em CDFA (1998) também excluem estudos que aplicam fertilizantes orgânicos, entretanto, diferentemente dos dados da USEPA ou deste relatório, a maioria dos dados em CDFA (1998) provieram de estudos em casa de vegetação e em vasos. O PUF médio é também apresentado na Tabela 23 para fins comparativos.

Outros parâmetros, de exposição biológica (e.g., IRs, BW, and SA), valores de absorção e valores de toxicidade, são geralmente desenvolvidos a partir dos recursos padrão da USEPA. Alguns destes parâmetros são representados como distribuições e estimativas não pontuais em USEPA (1999b) e em CDFA (1998). Não obstante, esses parâmetros são geralmente similares.

### **Concentração de MOPCs em Produtos**

A concentração de MOPCs em um produto é somente considerada nesta avaliação e em USEPA (1999b). Uma comparação das concentrações de MOPCs é apresentada na Tabela 24. A CDFA (1998) não conduz uma avaliação dos produtos com relação à saúde e, portanto, não considera informações dos produtos.

A base de dados de produtos usada nesta avaliação é bem completa e consiste de dados da indústria, do estado e da literatura (TWA, 1999c). Os produtos para os quais há relatórios de concentração de MOPCs são avaliados como grupo de produtos ou tipos, mas podem também ser avaliados separadamente.

A base de dados de produtos para a análise de risco da USEPA (1999b) é baseada em um relatório recente sobre fertilizantes inorgânicos (USEPA, 1999a) que sumariza os dados da literatura. As concentrações de MOPCs para um tipo de produto (e.g., diamônio fosfato) são avaliadas como uma distribuição.

Entretanto, vários produtos apresentam uma quantidade de dados limitada e a distribuição deles não pode ser desenvolvida.

### **Conclusão a Respeito da Determinação de Risco**

Somente esta avaliação e a da USEPA (1999b) avaliam os riscos potenciais da exposição a MOPCs após a aplicação. Entretanto, os valores da RBC para arsênio, cádmio e chumbo são similares entre esta avaliação e a da CDFA (1998). Tanto esta, quanto a avaliação da USEPA (1999b), concluem que não há risco significativo à saúde humana pela exposição a fertilizantes inorgânicos tipo NPK após a aplicação. A avaliação da CDFA (1998) poderia ter a mesma conclusão se os valores da RBC fossem comparados às concentrações de MOPCs nas bases de dados de produtos fertilizantes. Com respeito aos fertilizantes contendo micronutrientes, esta avaliação e a da USEPA (1999b) identificaram vários produtos que continham certos níveis de MOPCs, em particular arsênio, que representa um possível risco à saúde. Enquanto a exposição a uma concentração suficientemente alta de uma substância química represente um risco inaceitável, como é a premissa das avaliações de risco à saúde, uma verificação mais detalhada nestas, relativamente, poucas amostras de fertilizantes contendo micronutrientes, foi conduzida antes de se tomar uma conclusão definitiva do risco que estas amostras específicas representam e ainda mais pode ser feito para tipos ou categorias de produtos. A USEPA (1999b) concluiu que os constituintes perigosos em fertilizantes geralmente não representam danos à saúde humana ou ao ambiente.<sup>38</sup> Esta avaliação e, por similaridade, a avaliação da CDFA (1998) concordam geralmente com esta conclusão.

---

<sup>38</sup> Baseado em uma avaliação de níveis orientadores do risco ecológico causado por metais em fertilizantes que escorrem superficialmente para cursos d'água, a USEPA (1999b) concluiu que não há projeções de que os critérios de qualidade da água sejam excedidos.



**TABELA 21 - COMPARAÇÃO DA PROPOSTA, ABORDAGEM GERAL E ESCOPO DESTA AVALIAÇÃO COM A ANÁLISE DE RISCO DE FERTILIZANTES INORGÂNICOS DA USEPA (1999b) E COM O DESENVOLVIMENTO DE CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCs) DA CDEA (1998) PARA ARSÊNIO, CÁDMIO E CHUMBO**

Fator		Esta Avaliação		USEPA	CDEA
<b>Geral</b>					
Objetivo	Desenvolver uma ferramenta de referência flexível baseada em risco e avaliar os dados disponíveis dos produtos.	Estimar a distribuição de risco individual durante a vida baseada nas informações disponíveis dos produtos.	Análise de risco direto.	Desenvolver RBCs para arsênio, cádmio e chumbo.	
Abordagem	Cálculo inverso, abordagem baseada em risco - desenvolvimento de concentrações baseadas em risco (RBCs).	Determinística baseada no cenário de exposição máxima razoável (RME).	Nacional (protetora da saúde).	Cálculo inverso, abordagem baseada em risco - desenvolvimento de RBCs.	
Perspectiva	Nacional (protetora da saúde).			Probabilística - desenvolve RBCs (protetores de riscos no 90º percentil).	
<b>Escopo</b>					
Fertilizantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fosfatados (incluindo misturas)</li> <li>Micronutrientes selecionados (boro, ferro, manganês e zinco)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Macronutriente (fosfato, NPK para potássio)</li> <li>Corretivos (enxofre para nutriente, enxofre para pH, calcário e gesso)</li> <li>Micronutriente (boro, ferro, manganês, zinco e misturas)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Fosfatados</li> <li>Micronutrientes (zinco)</li> </ul>	
Metais potencialmente perigosos (MOPCs)	Arsênio, Cádmio, Cromo, Cobalto, Cobre, Chumbo, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Selênio, Vanádio e Zinco (rádio 226 é também avaliado).	Arsênio, Cádmio, Cromo, Cobre, Chumbo, Mercúrio, Níquel, Vanádio e Zinco (dioxina é também avaliada).		Arsênio, Cádmio, e Chumbo.	
Populações e Rotas de Exposição	<p>Família rural - adultos e crianças</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ingestão não intencional de solo fertilizado</li> <li>contato dérmico com solo fertilizado</li> <li>ingestão de produtos agrícolas em um ou mais grupos de culturas (vegetais, raízes e grãos)</li> </ul> <p>nota: o risco ao trabalhador foi avaliado em relatórios anteriores (TWG, 1999a,b).</p>	<p>Família rural - adultos e crianças</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>inalação</li> <li>ingestão de produtos animais (leite e carne) após a ingestão de produtos de forrageiras e grãos</li> <li>ingestão de produtos agrícolas (frutas, vegetais e raízes) (múltiplas somente)</li> <li>ingestão não intencional de solo o por vias indiretas)</li> <li>ingestão de peixe</li> <li>ingestão direta de fertilizante (trabalhador adulto somente)</li> </ul>		<p>Família rural - adultos e crianças</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ingestão não intencional de solo fertilizado</li> <li>contato dérmico com solo fertilizado</li> <li>ingestão de produtos agrícolas em um e em vários grupos de culturas (vegetais, raízes e grãos)</li> </ul> <p>nota: com foco neste cenário de exposição através de uma investigação de risco direto, determinística.</p>	

**TABELA 22 - COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS-CHAVE USADOS NESTA AVALIAÇÃO COM OS PARÂMETROS USADOS NA ANÁLISE DE RISCO DE FERTILIZANTES INORGÂNICOS DA USEPA (1999b) E NO CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCs) DA CDEA (1998) PARA ARSÊNIO, CÁDMIO E CHUMBO**

Parâmetros Chave	Esta Avaliação	USEPA	CDFA
Taxa de Aplicação (AR) (lb/acre-ano * 1,12 = kg/ha-ano)	Estimativa pontual no limite superior baseada em informações da USEPA (1999a) (a) Fostilados 118 lb/acre-ano - vegetais 154 lb/acre-ano - raízes 63 lb/acre-ano - grãos Micronutrientes 10 lb/acre-ano	Distribuição baseada em informações da USEPA (1999a) (a) Estimativas no limite superior: Fostilados 173 lb/acre-ano - todas as culturas Micronutrientes 10 lb/acre-ano (para zinco) 20 lb/acre-ano (para ferro)	Baseado em dados da Califórnia e distribuição baseada em valores Representativos: Fostilados 60,1 lb/acre-ano - vegetais 66,2 lb/acre-ano - raízes 37,4 lb/acre-ano - grãos Micronutrientes 6 lb/acre-ano
Fator de Acumulação no Solo (SACF)	• Baseado nos valores padrão nacionais e somente em uma via de perda (lixiviação) • Duração da aplicação de 50 anos (200 para chumbo) • Valores de Kd no limite inferior	• Baseado em informações regionais e vários valores padrão e várias vias de perda • Duração da aplicação de 100 anos (seguido de 40 anos de uso inativo) • Distribuição de valores de Kd que incluem valores no limite superior	• Específico da Califórnia e várias vias de perda • Duração da aplicação de 50 anos (200 anos para chumbo) • Valores de Kd no limite inferior
Fatores de Absorção pela Planta (PUFs) (a)	• Estimativa pontual no limite superior • Base de dados consiste de estudos em campo e estudos limitados em casa de vegetação e em vasos	• Representado como uma distribuição • A base de dados consiste de todos os dados em CDFA mais dados adicionais • Principalmente estudos de campo, exceto quando há dados insuficientes, quando então usam-se estudos em casa de vegetação e em vasos	• Representados como uma distribuição • Maioria proveniente de estudos em casa de vegetação e em vasos; poucos estudos em campo
Valores de Toxicidade	Padrão USEPA	Padrão USEPA	Padrão USEPA e DTSC
Parâmetros Gerais de Exposição (e.g., taxas de ingestão, duração da exposição, área superficial de pele exposta, e massa corporal e fatores de absorção relativa e fração ingerida)	• Baseado no padrão da USEPA, estimativa recomendada de pontos RME • Fração ingerida de 100% • Fator de absorção relativo (exceto para arsênio e chumbo de 100% (ou 1)	• Geramente baseada no padrão da USEPA, vários representados como uma distribuição • IRs desenvolvidos diferentemente; considera uma fração ingerida menor que 100% • Absorção relativa de 100%	• Geralmente baseados no padrão da USEPA, alguma informação específica do Departamento de Controle de Substâncias Tóxicas (DTSC), da Califórnia • Fração ingerida de 100% • Fator de absorção relativa similar aos desta avaliação
Concentração de MOPCs no Produto (b)	• Ampla base de dados • Concentração de produto máxima usada para investigação	• Dados de concentração obtidos de USEPA (1999a) • Representados como distribuição exceto quando há um limitado número de amostras disponíveis (e.g., micronutriente ferro)	NA

Notas:

NA Não Aplicável

(a) PUFs estão apresentadas na Tabela 23.

(b) As concentrações de MOPCs em produtos são apresentadas nas Tabelas 24 e 25

**TABELA 23 - COMPARAÇÃO DOS FATORES DE ABSORÇÃO PELA PLANTA (PUFs) USADOS NESTA AVALIAÇÃO COM OS PUFs DESENVOLVIDOS NA ANÁLISE DE RISCO DE FERTILIZANTES INORGÂNICOS DA USEPA (1999b) E NO DESENVOLVIMENTO DE CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCs) DA CDEA (1998) PARA ARSÊNIO, CÁDMIO E CHUMBO**

Metal de Perigo Potencial (MOPC)	PUFs (a)											
	Esta Avaliação (estimativa no limite superior, 95 UCL)				USEPA (média, embora estimada como uma distribuição)				CDEA (média, embora estimada como uma distribuição)			
	Vegetais	Raízes	Grãos		Ervas	Raízes	Grãos		Vegetais	Raízes	Grãos	
Arsênio	0,3	0,05	0,03		0,065	0,099	0,005		0,024	0,011	0,02	
Cádmio	1,7	0,93	0,12		0,81	0,75	0,54		0,68	0,31	0,092	
Cromo	0,0014	0,0014	0,0037		0,032	0,0011	0,000093		--	--	--	
Cobalto	0,05	0,03	0,02		--	--	--		--	--	--	
Cobre	0,034	0,22	0,31		0,28	0,45	1,7		--	--	--	
Chumbo	0,08	0,05	0,05		0,12	0,046	0,11		0,014	0,026	0,0096	
Mercurio	0,61	0,67	0,26		0,52	0,036	0,57		--	--	--	
Molibdênio	1,1	0,15	0,22		--	--	--		--	--	--	
Níquel	0,15	0,07	0,05		0,0086	--	--		--	--	--	
Selênio	0,88	0,76	0,57		--	--	--		--	--	--	
Vanádio	0,007	0,007	0,007		--	--	--		--	--	--	
Zinco	1,7	0,46	0,58		0,77	0,13	0,97		--	--	--	

Notas:

- Não aplicável ou não disponível
- (a) PUFs são baseadas em peso seco e são adimensionais

**TABELA 24 - COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM PRODUTOS FERTILIZANTES FOSFATADOS USADOS NESTA AVALIAÇÃO COM AS CONCENTRAÇÕES USADAS NA ANÁLISE DE RISCO EM FERTILIZANTES INORGÂNICOS DA USEPA (1999b)**

(MOPC)	Concentrações (a)					
	Esta Avaliação			USEPA		
	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média
Arsênio	0,05	42	10	0,05	155	12
Cádmio	0,015	205	13	0,03	250	44
Cromo	0,25	5.060	120	4,3	896	110
Cobalto	0,04	58	5,6	NA	NA	NA
Cobre	0,14	544	14	0,2	1.170	41
Chumbo	0,05	1.860	13	0,1	5.425	140
Mercúrio	0,001	1,5	0,16	0,003	0,2	0,1
Molibdênio	0,69	72	12	NA	NA	NA
Níquel	0,5	351	22	0,5	195	28
Selênio	0,03	27	2,6	NA	NA	NA
Vanádio	0,28	1.106	128	25	721	180
Zinco	0,30	6.270	260	1	2.193	240

Notas:

NA Não Avaliados

- (a) Concentrações presentes em ppm (ou mg MOPC/kg produto).  
 (b) Para fins comparativos, os valores médios têm distribuição normal, os valores médios apresentados na Seção 4.0 têm distribuição log-normal.

**TABELA 25 - COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS  
POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM PRODUTOS FERTILIZANTES  
CONTENDO MICRONUTRIENTES USADOS NESTA AVALIAÇÃO COM AS  
CONCENTRAÇÕES USADAS NA ANÁLISE DE RISCO DE FERTILIZANTES  
INORGÂNICOS DA USEPA (1999b)**

(MOPC)	Concentrações (a)					
	Esta Avaliação			USEPA		
	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média
Arsênio	0,1	6.200	400	0,5	4.950	560
Cádmio	0,095	3.900	120	0,75	2.165	340
Cromo	0,25	8.100	290	1,3	580	170
Cobalto	0,25	790	200	NA	NA	NA
Cobre	0,5	40.000	7.700	1,5	2.050	640
Chumbo	0,32	28.000	2.400	5	52.000	9.400
Mercúrio	0,0025	12	1	0,01	3,36	1,3
Molibdênio	0,25	850	83	NA	NA	NA
Níquel	0,5	560	88	2,5	8.950	760
Selênio	0,013	25	6	NA	NA	NA
Vanádio	0,5	47	23	0,5	41	15
Zinco	8	350.000	120.000	6	60,8	33

Notas:

NA Não Avaliados

- (a) Concentrações presentes em ppm (ou mg MOPC/kg produto).  
 (b) Para fins comparativos, os valores médios têm distribuição normal, os valores médios apresentados na Seção 4.0 têm distribuição log-normal.



Baes, C.F. and Sharp, R.D. 1983. A proposal for estimation of soil leaching and leaching constants for use in assessment models. *J. Environ. Qual.* 12:17-28.

California Department of Food and Agriculture and the Heavy Metal Task Force (CDFA). 1998. Development of Risk-Based Concentrations for Arsenic, Cadmium, and Lead in Inorganic Commercial Fertilizers. Foster Wheeler Environmental Corporation, Sacramento, CA.

California Department of Toxic Substance Control (DTSC) 1992. Supplemental Guidance for Human Health Multimedia Risk Assessments of Hazardous Waste and Permitted Facilities.

Canadian Fertilizers Act R.S., c. F-9s.1. 1993.

Chaney, R.L., Ryan, J.A., and Brown, S.L. 1999. Environmentally acceptable endpoints for soil metals. In Anderson, W.C., Loehr, R.C., and Smith, B.P. (eds.). *Environmentally Availability in Soils: Chlorinated Organics, Explosives, Metals*. Annapolis: Am. Acad. Environ. Eng. Pp. 111-154.

Gerritse, R.G., Vriesema, R., Dalenberg, J.W., and De Roos, H.P. 1982. Effect of sewage sludge on trace element mobility in soils. *J. Environ. Qual.* 11:359-364.

Hauck, Roland, D. PhD. 1999. Personal Communications with Dr. Hauck, a retired soil science expert.

Hignett, T.P. and McClellan, G.H. 1985. Sources and production of micronutrient fertilizers. *Fertilizer Research* (7)237-260.

McLaughlin, M.J., Tiller, K.G., Naidu, R., and Stevens, D.P. 1996. Review: the behaviors and environmental impact of contaminants in fertilizers. *Aust. J. Soil Res.* 34:1-54.

National Academy of Science (NAS). Committee of Lead in the Human Environment. 1980. *Lead in the Human Environment*.

Post, Buckley, Schuh, & Jernigan, Inc. (PBS&J). 1990. Radioactivity in Foods Grown on Mined Phosphate Lands. Prepared under a grant sponsored by the Florida institute of Phosphate Research. Publication No. 05-028-088.

Potash & Phosphate Institute (PPI). 1998. Heavy Metals in Soils and Phosphatic Fertilizers. Foundation for Agronomic Research.

Raven, K.P. and Loeppert, R.H. 1997. Heavy metals in the environment. Trace element composition of fertilizers and soil amendments. *J. Environ. Qual.* 26:551-557.

Rodriguez, R.R., Basta, N.T., Casteel, S.W., and Pace, L.W. 1999. An in vitro gastrointestinal method to estimate bioavailable arsenic in contaminated soils and solid media. *Environ. Sci. Technol.* 33:642-649.

United States Department of Agriculture (USDA). 1999. 1997 Census of Agriculture. Volume 1, Part 51. Washington, D.C.: National Agricultural Statistics Service. AC97-A-51.

United States Department of Health & Human Services (USDHHS). 1997. Toxicological Profile for Lead. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Department of Health & Human Services (USDHHS). 1995. Toxicological Profile for Nickel. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Department of Health & Human Services (USDHHS). 1994. Toxicological Profile for Zinc. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Department of Health & Human Services (USDHHS). 1993. Toxicological Profile for Chromium. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Department of Health & Human Services (USDHHS). 1992. Toxicological Profile for Cobalt. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Department of Health & Human Services (USDHHS). 1990. Toxicological Profile for Vanadium. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Department of Health & Human Services (UDHHS). 1989a. Toxicological Profile for Copper. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Department of Health & Human Services (UDHHS). 1989b. Toxicological Profile for Radium. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1999a. Background Report on Fertilizer Use, Contaminants and Regulations. Columbus, OH: Battelle Memorial Institute.

United States Environmental Protection Agency (USEPA) 1999b. Estimating Risks from Contaminants Contained in Agricultural Fertilizers. Washington, D.C.: Office of Solid Waste and Center for Environmental Analysis.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1999c. Integrated Risk Information System. December. <<http://www.epa.gov/iris/>>.

United States Environmental Protection Agency (USEPA) 1999d. User's Guide: Radionuclide Carcinogenicity. December. <<http://www.epa.gov/rpdweb00/heat/userguid.htm>>.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1999e. Radionuclides (Uranium, Radium, and Radon). <<http://www.epa.gov/ttnuatw1/hlthef/radionuc.html>>. Office of Air Quality Planning & Standards.

United States Environmental Agency (USEPA). 1998a. Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities. Volumes I, II, and III. Washington, D.C.: Solid Waste and Emergency Response. EPA 530-D-98-001B.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1998b. Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I. Human Health Evaluation Manual. Supplemental Guidance. Dermal Risk Assessment. Washington, D.C.: Office of Emergency and Remedial Response. NCEA-W-0364.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1997a. Exposure Factors Handbook. Volumes I, II, and III. Washington, D.C.: Office of Research and Development. EPA/600/P-95/002Fa,b,c.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1997b. Health Effects Assessment Summary Tables. Washington, D.C.: Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA 540-R-97-036.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1996. Recommendations of the Technical Review Workgroup for Lead for an Interim Approach to Assessing Risks with Adult Exposures to Lead in Soil.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1995. A Guide to the Biosolids Risk Assessments for the EPA Part 503 Rule. Washington, D.C.: Office of Wastewater Management. EPA 832-B-93-005.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1993. Addendum to the Methodology for Assessing Health Risks Associated with Indirect Exposure to Combustor Emissions. Review . Washington, D.C.: Office of Research and Development. EPA/600/AP-93/003.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1992. Framework for Ecological Risk Assessment. EPA/630/R-92/001.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1990. Methodology for Assessing Health Risks Associated with Indirect Exposure to Combustor Emissions. Interim Final. Washington, D.C.: Office of Emergency and Remedial Response. EPA/600/6-90/003.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I. Human Health Evaluation Manual (Part A). Interim Final. Washington, D.C.: Office of Emergency and Remedial Response. EPA/540/1-89/002.

The Weinberg Group, Inc. (TWG). 1999a. Health Risk Based Concentrations for Fertilizer Products and Fertilizer Applicators. Prepared for The Fertilizer Institute, Washington, D.C.

The Weinberg Group, Inc. (TWG). 1999b. Fertilizer Applicator Health Risk Evaluation for Non-Nutritive Elements in Inorganic Fertilizers: Risk Based Concentrations (RBCs) Compared to Measured Levels of Non-Nutritive Elements in Products. Prepared for The Fertilizer Institute, Washington, D.C.

The Weinberg Group, Inc. (TWG). 1999c. Industry and Literature Survey of Nutritive & Non-Nutritive Elements in Inorganic Fertilizer Materials. Prepared for The Fertilizer Institute, Washington, D.C.

Watson, A.P., Etnier, E.L. and McDowell-Boyner, L.M. 1983. Radium-226 in Drinking Water and Terrestrial Food Chains: A Review of Parameters and an Estimate of Potential Exposure and Dose. Oak Ridge National Library. US Department of Commerce.

## Glossário

<b>Abreviação</b>	<b>Termo em Português</b> <i>Termo em Inglês</i>	<b>Definição</b>
ABS	Fator de Absorção Dermal <i>Percent Dermal Absorption</i>	Estima a quantidade de MOPC que é absorvida através da pele no fluxo sanguíneo após a exposição dérmica. A ABS ajusta a contaminação estimada a uma "dose" real.
AF	Fator de Aderência <i>Adherence Factor</i>	Quantidade de solo estimada aderir à pele.
AR	Taxa de Aplicação <i>Application Rate</i>	Quantidade de fertilizante aplicada a uma área específica de solo por ano. A AR depende da necessidade de nutrientes pela planta, composição do produto e condições locais do solo.
As	Arsênio <i>Arsenic</i>	Símbolo para arsênio.
AT	Tempo Médio de exposição <i>Averaging Time</i>	Tempo no qual a contaminação média é medida. Para agentes não cancerígenos, a contaminação média é medida sobre a ED. Para agentes cancerígenos, a contaminação média é tomada ao longo do tempo de vida (70 anos).
BIO	Biodisponibilidade <i>Bioavailability</i>	Fração de um contaminante específico em um meio (e.g., fertilizante) que é absorvido na corrente sanguínea através de barreiras fisiológicas.
BW	Massa Corporal <i>Body Weight</i>	Massa corpórea média, a qual é recomendada para avaliações de cenários RME (71,8 kg para adulto e 15,5 kg para criança, segundo dados da USEPA; 66,6 kg para adulto e 15,4 kg para criança, estimados para o Brasil, a partir de estatísticas do IBGE).
BD	Densidade Global <i>Bulk Density</i>	A razão da massa de solo livre de água pelo seu volume total. É expressa em g cm <sup>-3</sup> (gravidade específica aparente).
Cd	Cádmio <i>Cadmium</i>	Símbolo para cádmio.
Co	Cobalto <i>Cobalt</i>	Símbolo para cobalto.
Cr	Cromo <i>Chromium</i>	Símbolo para cromo.
Cu	Cobre <i>Copper</i>	Símbolo para cobre
ED	Duração da Exposição <i>Exposure Duration</i>	Quantidade de tempo sobre o qual a exposição ocorre (tipicamente o tempo de residência). A ED para residentes rurais varia entre crianças (6 anos) e adultos (30 anos).
EF	Frequência de Exposição <i>Exposure Frequency</i>	Representa quão freqüente (dias/ano) o potencial para exposição ocorre. A EF é de 350 dias/ano para residentes rurais crianças e adultos.

## Glossário

Abreviação	Termo em Português <i>Termo em Inglês</i>	Definição
--	Via de Exposição <i>Exposure Pathway</i>	Um mecanismo único pelo qual um indivíduo ou população é exposto a uma substância. Uma via tem uma fonte, um mecanismo de liberação ao ambiente, um meio de transporte ambiental, um ponto de contato humano potencial e uma rota de exposição e contaminação de um humano receptor no ponto exposto.
--	Fertilizante <i>Fertilizer</i>	Uma substância que contém um ou mais nutrientes de plantas reconhecidos que é especialmente designado ao uso pelo seu valor nutricional para plantas.
FI	Fração Ingerida <i>Fraction Ingested</i>	Fração do solo ou cultura originada de uma fonte (i.e., solo após a aplicação de fertilizantes, ou culturas cultivadas neste solo). Assume-se nesta avaliação, ser de 100%.
FOL	Fração de Área <i>Fraction of Land</i>	Fração de área dedicada a cada tipo de cultura (e.g., vegetais, raízes e grãos); o total das frações é 1 (ou 100%).
FON	Fração de Nutrientes <i>Fraction of Nutrient</i>	Porção de fertilizantes que é compreendida por um nutriente específico. Usada para ajustar um produto particular (e.g., DAP tem 46% FON para fósforo).
Hg	Mercúrio <i>Mercury</i>	Símbolo para mercúrio.
IR	Taxa de Ingestão <i>Ingestion Rate</i>	Quantidade do meio de interesse (solo ou produto agrícola) ingerida por dia. A IR varia entre crianças e adultos e é diferente para solo e para cada cultura.
Kd	Coeficiente de Partição Solo-Água <i>Soil-Water Partitioning Coefficient</i>	Usado para se estimar quanto se espera que um MOPC se mova da fase sólida para a aquosa. É a razão da concentração total de metais no solo sobre a concentração de metais dissolvida.
--	Macronutriente <i>Macronutrient</i>	Nutrientes primários, os quais incluem nitrogênio, fósforo disponível e potássio e nutrientes secundários, os quais incluem cálcio, magnésio e enxofre.
--	Micronutriente <i>Micronutrient</i>	Nutrientes como boro, cloro, cobalto, cobre, ferro, manganês, molibdênio, sódio e zinco.
Mo	Molibdênio <i>Molybdenum</i>	Símbolo para molibdênio.

## Glossário

Abreviação	Termo em Português <i>Termo em Inglês</i>	Definição
MOPC	Metal Potencialmente Perigoso <i>Metal of Potential Concern</i>	Metais presentes em fertilizantes inorgânicos que foram selecionados para esta avaliação de risco à saúde.
–	Cenário com Vários Grupos de Culturas <i>Multi-Crop Scenario</i>	Propriedade agrícola onde mais de uma cultura é cultivada. Nesta avaliação, uma propriedade agrícola com vários grupos de culturas cultiva vegetais, raízes e grãos em 40%, 10% e 50% da porção da área da propriedade agrícola, respectivamente.
Ni	Níquel <i>Nickel</i>	Símbolo para níquel.
Pb	Chumbo <i>Lead</i>	Símbolo para chumbo.
–	Fosfato <i>Phosphate</i>	Um sal de ácido fosfórico com íons como amônio, cálcio, potássio ou sódio.
–	Fosfogesso <i>Phosphogypsum</i>	Um produto secundário do tratamento de rochas fosfáticas com ácido sulfúrico. É referido na Flórida simplesmente como gesso.
PUF	Fator de Absorção pela Planta <i>Plant-Uptake Factor</i>	Expressa a razão entre a concentração de metais nas partes das plantas usadas como alimento e a concentração de metal no solo. A razão estima como os metais no solo se acumulam em plantas. Também conhecido como coeficiente de transferência do solo para a planta.
Ra	Rádio <i>Radium</i>	Símbolo para rádio.
–	Radiação <i>Radiation</i>	Energia liberada pela desintegração (decaimento) de isótopos instáveis. Pode ser na forma de raios gama ou partículas alfa ou beta. A radiação referida neste documento resulta do decaimento natural de rádio 226 e de produtos radioativos.
RAF	Fator de Absorção Relativo <i>Relative Absorption Factor</i>	Biodisponibilidade de MOPCs em um meio de interesse dividido pelo percentual de absorção usado no estudo de toxicidade. A RAF ajusta a contaminação estimada a uma "dose" real.
RBC	Concentração Baseada em Risco <i>Risk Based Concentration</i>	Concentração de uma substância (e.g., MOPC) em um fertilizante que é considerada protetora da saúde em um nível de risco aceitável (não representa um potencial significativo para efeitos adversos) e para o cenário de exposição particular.
RfD	Dose de Referência <i>Reference Dose</i>	Nível de exposição (dosagem) abaixo da qual não é provável que ocorram efeitos adversos à saúde para agentes não cancerígenos. Eles são específicos para rotas de exposição e duração e são também referidos como "aporte ou entrada diária aceitável".

## Glossário

Abreviação	Termo em Português <i>Termo em Inglês</i>	Definição
RME	Exposição Máxima Razoável <i>Reasonable Maximum Exposure</i>	Refere-se à menor porção do limite superior plausível do verdadeiro valor da distribuição de exposição; um nível de exposição não provável de ser menor que a exposição verdadeira. Uma estimativa da exposição protetora da saúde.
SA	Área Superficial Exposta da Pele <i>Exposed Skin Surface Area</i>	A área de pele que está disponível para contato dérmico com solo/fertilizante.
SACF	Fator de Acumulação no Solo <i>Soil Accumulation Factor</i>	Taxa de acumulação de um MOPC no solo (g/m <sup>2</sup> -ano). Quando combinado a uma taxa de aplicação de fertilizantes e uma concentração de MOPC em produtos fertilizantes, resulta em uma concentração de MOPC no solo.
Se	Selênio <i>Selenium</i>	Símbolo para selênio.
--	Propriedade Agrícola onde se cultiva um grupo de culturas <i>Single Crop Farm</i>	Propriedade agrícola onde somente um dos três grupos de culturas é cultivado (i.e., vegetais, raízes ou grãos).
SF	Fator de Inclinação de Câncer <i>Cancer Slope Factor</i>	O limite de confiança acima de 95% do de inclinação representativo da potência de câncer do composto.
SIF	Fator de Aporte Sumário <i>Summary Intake Factor</i>	Combina parâmetros de exposição biológica e fatores de absorção para se estimar o aporte diário via ingestão involuntária de solo, contato dérmico e ingestão de produtos agrícolas.
THI	Índice de Perigo Aceitável <i>Target Hazard Index</i>	Nível de exposição aceitável para um agente não cancerígeno.
TR	Risco de Câncer <i>Target Risk</i>	Risco aceitável individual de câncer de 1 em 100.000 (1x10 <sup>-5</sup> ).
–	Ingestão não Intencional <i>Unintentional Ingestion</i>	Ingestão não intencional resultante tipicamente de se colocar a mão na boca ou da deposição de poeira.
Zn	Zinco <i>Zinc</i>	Símbolo para zinco.



## DESENVOLVIMENTO DO FATOR RELATIVO DE ABSORÇÃO (RAF) E DO FATOR DE ABSORÇÃO DERMAL (ABS)

### FATOR DE ABSORÇÃO RELATIVA (RAF)

O fator de absorção relativo (RAF) tem a intenção de garantir que o valor de toxicidade e a contaminação estimada sejam baseados em estimativas comparáveis de aporte (baseado em uma dose absorvida ou administrada e o mesmo meio ou similar). Em adição, a RAF garante que a toxicidade e o aporte não sejam superestimados. A RAF depende: (1) se o valor de toxicidade é uma dose "administrada" ou absorvida real e (2) da absorção do meio do estudo de toxicidade de interesse (i.e., solo ou cultura). A RAF é a porcentagem do MOPC que é absorvido de um meio de interesse [seguindo a ingestão e absorção através do trato gastrointestinal (GI)] dividida pela absorção potencial GI relatada no estudo de toxicidade oral. A informação que é usada para se determinar (1) a necessidade de desenvolver uma RAF e (2) se há informação suficiente disponível para desenvolver uma RAF para cada MOPC é apresentada na Tabela A-1. Como discutido neste relatório, as RAFs são desenvolvidas e incorporadas na RBC somente para arsênio e chumbo (como discutido a seguir). Assume-se que as RAFs para todos os outros MOPCs e rotas de exposição sejam de 100% (1).

Como pode ser observado na Tabela A-1, todos os valores de toxicidade oral que são baseados em uma dose administrada são derivados de estudos onde os meios de exposição são dieta, alimentos ou suplementos. Para a maioria dos MOPCs não foram encontrados dados suficientes de absorção gastrointestinal (GI ABS) para o meio de exposição do estudo de toxicidade ou para solos e culturas, portanto, a RAF para estes MOPCs não pode ser desenvolvida.

O valor de toxicidade oral para arsênio é baseado em uma dose administrada da exposição a arsênio em água potável. Um estudo aplicável e aceitável sobre a biodisponibilidade de arsênio foi utilizado. Este estudo determinou uma biodisponibilidade de arsênio em solo de 42% (Rodriquez et al., 1999). A absorção percentual de arsênio em água potável é de 95% (USEPA, 1999). Portanto, uma RAF para arsênio em solo de 44% (42 dividido por 95%) é incorporada à RBC.

Como pode ser visto na Tabela A-1, os valores de toxicidade de cádmio, chumbo e selênio são baseados na dose absorvida (i.e., a absorção no estudo de toxicidade é de 100%). Considerando o meio do estudo de toxicidade, as RAFs poderiam ser desenvolvidas para esses MOPCs. No mínimo, a contaminação poderia ser ajustada a uma dose absorvida.

A absorção de cádmio após a ingestão de cádmio em alimentos é 0,02 ou 2% (USEPA, 1999). Como o valor do estudo de toxicidade é baseado em uma dose absorvida, a absorção de cádmio ingerido com os alimentos poderia ser incorporada na RBC. Entretanto, esse valor de absorção não foi usado na RBC por causa do amplo grau de variabilidade da absorção de cádmio (como discutido na seção sobre as incertezas).

A absorção de chumbo via ingestão de solo e de culturas é de 0,41 e 0,50, respectivamente (USD-HHS, 1997b). Estes valores são usados na estimativa da contaminação (RAF de 0,41 para ingestão não intencional de solo e de 0,50 para ingestão de produtos agrícolas) para chumbo.

Não foi encontrada informação suficiente para selênio.

## **FATOR DE ABSORÇÃO DERMAL (ABS)**

O parâmetro fator de absorção dermal (ABS) estima a quantidade de MOPC que é absorvida através da pele seguindo o contato dérmico. Todos os ABS são padrões da USEPA (USEPA, 1998).



Rodriguez, R.R., Basta, N.T., Casteel, S.W., and Pace, L.W. 1999. An in vitro gastrointestinal method to estimate bioavailable arsenic in contaminated soils and solid media. *Environ. Sci. Technol.* 33:642-649.

United States Department of Health & Human Services (USDHHS). 1998. Toxicological Profile for Arsenic. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Department of Health & Human Services (USDHHS). 1997a. Toxicological Profile for Cadmium. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Department of Health & Human Services (USDHHS). 1997b. Toxicological Profile for Lead. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Department of Health & Human Services (USDHHS). 1997c. Toxicological Profile for Mercury. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Department of Health & Human Services (USDHHS). 1994a. Toxicological Profile for Selenium. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Department of Health & Human Services (USDHHS). 1994b. Toxicological Profile for Zinc. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Department of Health & Human Services (USDHHS). 1993. Toxicological Profile for Chromium. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1999. Integrated Risk Information System. December. <<http://www.epa.gov/iris/>>.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1998. Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I. Human Health Evaluation Manual. Supplemental Guidance. Dermal Risk Assessment. Washington, D.C.: Office of Emergency and Remedial Response. NCEA-W-0364.



**TABELA A-1**  
**DESENVOLVIMENTO DE AJUSTES DE DOSE ABSORVIDA:**  
**(FATORES DE ABSORÇÃO RELATIVA (RAFS) E FATOR DE ABSORÇÃO DERMAL**  
**(ABS)) PARA CADA METAL DE POTENCIALMENTE PERIGOSO (MOPC)**

MOPC	Valor de Toxicidade como uma Dose Administrada ou Absorvida (a)		Absorção Real ou Possível Absorção do Estudo de Toxicidade do Meio		Potencial de Absorção Gastrointestinal Percentual (GI ABS) do Meio de Interesse		RAF (b)		Absorção Dérmica (c)
	Meio	Percentagem	Referência	Solo	Referência	Cultura	Referência	Cultura	
Arsênio	DW	95	USDHHS, 1998	42	Rodriguez et al., 1999	-	0,44	-	0,03
Cádmio	Alimento	2,5	IRIS	baixo (d)	USDHHS, 1997a	2,5	-	0,025	0,01
Cromo	Dieta	2	USDHHS, 1993	-	-	2	-	-	0,01
Cobalto	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Cobre	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Chumbo	Vários	-	-	41 (f)	USDHHS, 1997b	50 (f)	-	-	-
Merúrio	DW (h)	7	IRIS	-	USDHHS, 1997c	baixo (j)	-	-	0,01
Molibdênio	Dieta	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Níquel	Dieta	0,7±0,4	IRIS	-	-	0,7±0,4	-	-	0,01
Selênio	Dieta	97	USDHHS, 1994b	-	-	-	-	-	0,01
Vanádio	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Zinco	Suplementos	81	USDHHS, 1994b	-	-	81	-	-	0,01

- Não Disponível ou Não Aplicável

= Sistema de Informação Integrado de Risco (USEPA 1999)

DW = Água Potável

USEPA = Agência de Proteção Ambiental dos EUA

(a) Determinada somente quando o valor de toxicidade é da IRIS. De outra forma, informações específicas sobre a toxicidade não estavam prontamente disponíveis e não foram avaliadas.

(b) RAF é a absorção do meio de interesse dividido pela absorção do meio no estudo de toxicidade.

(c) Obitido de USEPA (1998).

(d) Estimativa qualitativa da percentagem de absorção (ou biodisponibilidade).

(e) A toxicidade de chumbo é baseada no nível aceitável de chumbo no sangue, o qual é um nível absorvido.

(f) Usado para ajustar o consumo.

(g) Estimativa de absorção no nível superior, baseado em crianças. É esperado que adultos tenham uma absorção gastrointestinal menor.

(h) Aporte calculado de maneira inversa, a partir de teor em água potável, e baseado em uma dose subcutânea.

(i) Espera-se que a biodisponibilidade de mercúrio em solos e culturas seja baixa, mas nenhuma estimativa quantitativa de absorção foi encontrada.



## AVALIAÇÃO DE RISCO DE METAIS EM FERTILIZANTES: UM PIONEIRO ENSAIO BRASILEIRO

Como as seções precedentes desta publicação tratam basicamente de um cenário adaptado à situação de uso de fertilizantes e padrões de exposição populacional dos Estados Unidos da América, procura-se então, nesta seção final, elaborar uma avaliação de risco para metais em fertilizantes dentro de um cenário considerado mais compatível com a realidade do Brasil. Neste contexto, procurou-se buscar junto aos órgãos oficiais ligados ao setor de fertilizantes brasileiros, bem como na literatura especializada, parâmetros a serem utilizados no cálculo do risco que retratem um cenário o mais próximo possível da realidade brasileira. O escopo do trabalho, porém, é o mesmo descrito na seção 1.0 desta publicação.

### **Parâmetros Utilizados na Geração de Concentrações Baseadas em Risco (RBCs) no Cenário Brasileiro**

Alguns parâmetros considerados não específicos da população brasileira ou do cenário brasileiro foram derivados de trabalhos clássicos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América sobre Avaliação de Risco à Saúde Humana, conforme o procedimento padrão descrito na seção 2.0 desta publicação. Dentre esses, incluem-se:

- Risco de Câncer Aceitável ou Índice de Perigo Aceitável
- Duração da Exposição
- Frequência da Exposição
- Fator de Absorção Relativa
- Fator de Absorção Dermal
- Tempo Médio de Exposição
- Taxa de Ingestão de Solo
- Fator Relativo de Absorção via Solo
- Área de Pele Exposta
- Fator de Aderência

Além dos parâmetros listados anteriormente, também o valor da fração de área ocupada com grãos, raízes e vegetais (FOL) foi o mesmo adotado no trabalho original do TFI (vide Seção 2.0), em virtude da inexistência de estatísticas adequadas ao cenário brasileiro.

Para os demais parâmetros, adotaram-se os critérios descritos a seguir:

### **Taxas de Aplicação**

No caso de fertilizantes fosfatados, os dados adotados de distribuição de consumo por região e culturas no Brasil são aqueles publicados pela FAO (2004). Baseando-se nessa publicação, os dados de consumo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha por região e por culturas foram agrupados em taxas de aplicação para grãos (arroz, feijão, milho, soja e trigo), raízes (somente a batata, neste caso, por ser a única cultura para a qual há estatísticas de consumo confiáveis) e vegetais (outras culturas e citrus<sup>39</sup>), conforme mostrado nas Tabelas

<sup>39</sup> Os dados relativos a citrus foram propositalmente avaliados junto com os dados de outras culturas e compilados na base de dados para vegetais, como uma tentativa de se estimar o consumo para esta classe de culturas no Brasil, visto não haver estatísticas específicas neste sentido.

26, 27 e 28. Os dados agrupados foram então submetidos a um tratamento estatístico para o cálculo do valor correspondente ao percentil 95%, o qual é considerado uma estimativa apropriada, porque está num limite suficientemente alto para garantir que as concentrações de MOPCs mais elevadas (perigosas) em fertilizantes fosfatados fossem incorporadas no cálculo das RBCs.

Os limites superiores de taxas de aplicação para fertilizantes fosfatados assim calculados são:

- Vegetais = 133 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (13,3 g/m<sup>2</sup>-ano);
- Raízes = 429 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (42,9 g/m<sup>2</sup>-ano); e,
- Grãos = 72 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (7,2 g/m<sup>2</sup>-ano).



**TABELA 26 - CONJUNTO DE DADOS COMPILADOS  
PARA TAXAS DE APLICAÇÃO (AR) DE FERTILIZANTES FOSFATADOS  
NO CENÁRIO BRASILEIRO: CULTURAS DE GRÃOS**

Cultura	Região	Taxa de Aplicação (kg/ha-ano)
Arroz	Norte	23
	Nordeste	25
	Centro-oeste	49
	Sudeste	47
	Sul	37
Feijão	Norte	10
	Nordeste	10
	Centro-oeste	20
	Sudeste	19
	Sul	15
Milho	Norte	22
	Nordeste	23
	Centro-oeste	46
	Sudeste	44
	Sul	35
Soja	Norte	36
	Nordeste	39
	Centro-oeste	76
	Sudeste	73
	Sul	58
Trigo	Norte	-
	Nordeste	-
	Centro-oeste	64
	Sudeste	62
	Sul	49
	Número	23
	Máximo	76
	Média	38
	Desvio Padrão	20
	95º Percentil	72

**TABELA 27 - CONJUNTO DE DADOS COMPILADOS PARA  
TAXAS DE APLICAÇÃO (AR) DE FERTILIZANTES FOSFATADOS  
NO CENÁRIO BRASILEIRO: CULTURAS DE RAÍZES**

Cultura	Região	Taxa de Aplicação (kg/ha-ano)
Batata	Norte	-
	Nordeste	215
	Centro-oeste	433
	Sudeste	407
	Sul	321
	Número	4
	Máximo	433
	Média	344
	Desvio Padrão	98
	95º Percentil	429

**TABELA 28 - CONJUNTO DE DADOS COMPILADOS PARA TAXAS DE APLICAÇÃO (AR) DE FERTILIZANTES FOSFATADOS NO CENÁRIO BRASILEIRO: CULTURAS DE VEGETAIS**

Cultura	Região	Taxa de Aplicação (kg/ha-ano)
Outras culturas	Norte	2
	Nordeste	5
	Centro-oeste	167
	Sudeste	92
	Sul	63
Citrus	Norte	13
	Nordeste	14
	Centro-oeste	27
	Sudeste	26
	Sul	20
	Número	10
	Máximo	167
	Média	43
	Desvio Padrão	52
	95º Percentil	133

Em função da inexistência de estatísticas de consumo de micronutrientes no Brasil, para o caso do zinco, foram usados os dados de recomendação de aplicação máxima – 6 kg/ha – da adubação de segurança proposta por Galvão (2002) para os Cerrados, considerando-se um efeito residual de 3 anos (2 kg/ha-ano), ao invés de 4 a 5 anos (o que também é mais protetor da saúde). Assim, a taxa de aplicação anual estimada utilizada no cálculo das RBCs foi de 0,2 g/m<sup>2</sup>-ano, a qual foi utilizada tanto para grãos quanto para raízes e vegetais.

#### Fração do Nutriente no Fertilizante

Este parâmetro é utilizado para se comparar a RBC unitária calculada para cada metal com aquela corrigida para a concentração do nutriente de interesse, ou seja, % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em fertilizantes fosfatados ou % de Zn em fertilizantes contendo este micronutriente. No cenário brasileiro, estes valores foram retirados diretamente das publicações consultadas ou dos dados fornecidos pelo setor de fertilizantes, sendo os valores das RBCs unitárias calculadas comparados diretamente com as concentrações dos MOPCs na base de dados da literatura e, ou, da indústria.

#### Fator de Acumulação no Solo

Os dados de fator de acumulação no solo (SACF, m<sup>2</sup>/ano-g) foram calculados a partir dos valores de K<sub>d</sub> (coeficientes de partição solo-água, L kg<sup>-1</sup>) obtidos na literatura brasileira (mediana, no caso de dados provenientes da literatura especializada, ou, média, no caso de utilização da base de dados da CETESB – Casarini et al., 2001), conforme mostrado na Tabela 29, à exceção dos dados de molibdênio, selênio e vanádio, para os quais não foram encontrados valores para solos tropicais. Nesses casos, optou-se por utilizar os mesmos valores do documento original do TFI (Tabela 7).

A mediana dos dados de K<sub>d</sub> para As (Campos et al., 2006), Cd, Cr, Co, Zn (Soares, 2004), Cu (Cornu et al., 2001; Soares, 2004; Martins, 2005), Pb e Ni (Cornu et al., 2001; Soares, 2004) foi de 158, 221, 100, 81, 129, 743, 2519 e 178, respectivamente. Para Hg, a média de 3300 L kg<sup>-1</sup> (CETESB – Casarini et al., 2001) foi utilizada (Tabela 29).

Além dos valores de K<sub>d</sub>, também os dados de precipitação média foram adequados a valores mais apropriados para condições tropicais, optando-se, neste caso, pela utilização da precipitação média da região dos Cerrados, a qual equivale a 1500 mm de chuva/ano (Klink e Ricardo, 2005), valor este respaldado por dados climáticos disponíveis em FAO (2004).

Os demais parâmetros das equações 4.0 e 5.0 usadas no cálculo do fator de acumulação no solo são os mesmos descritos na seção 2.0 desta publicação.

**TABELA 29 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO PARA CONJUNTOS DE DADOS DE Kd (L kg<sup>-1</sup>) PARA CADA METAL POTENCIALMENTE PERIGOSO (MOPC) NO CENÁRIO BRASILEIRO**

MOPC	n	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	UCL 95% (a)	Q75%	P90%	P95%	Fonte dos dados
Arsênio	68	1135,10	158	3193,59	6,31	25118,86	2498,33	1064,73	3162,28	3981,07	Campos et al. (2006)
Cádmio	29	683,79	221	861,42	7	3019	1074,84	1207	1756,2	2596,8	Soares (2004)
Cromo	28	934,07	100	2376,52	1	9990	4667,86	316,5	1953,4	6380,2	Soares (2004)
Cobalto	29	800,24	81	2369,93	2	11755	2504,36	289	941,8	4222,2	Soares (2004)
Cobre	40	1542,14	743	1745,24	105	8067	2386,98	1793,75	3557,6	4829,3	Cornu et al. (2001); Soares (2004); Martins (2005)
Chumbo	36	2826,58	2519	2291,15	121	9979	3689,02	3812,5	6027,5	6640,5	Cornu et al. (2001); Soares (2004)
Mercúrio		3300									Casarini et al. (2001)
Níquel	36	609,05	178	1121,04	6	5179	951,95	501	1455,5	2762,75	Cornu et al. (2001); Soares (2004)
Zinco	29	930,20	129	2012,17	5	8037	2954,58	569	2371,6	5599	Soares (2004)

a – valores obtidos segundo recomendação do programa proucl 3.0 (Singh et al., 2004).

### Massa Corporal

Adultos: O valor consolidado neste estudo considerou a faixa etária entre 20 e 70 anos, sendo o mesmo adotado por Couto (2006), segundo dados levantados pela autora junto ao IBGE (Indicadores Sociais Mínimos. Acesso ao endereço eletrônico: [http://www.ibge.gov.Br/home/estatistica/populacao/condicao-devida/indicadores\\_minimos](http://www.ibge.gov.Br/home/estatistica/populacao/condicao-devida/indicadores_minimos), em Setembro/2004a. 3 p.). Avaliando-se os dados gerais da população brasileira nessa faixa etária, e levando-se em conta que a expectativa média de vida do brasileiro é em torno de 70 anos, o peso médio é de 66,6 kg. O peso corpóreo médio adotado neste cenário é superior aos 60 kg usado no trabalho da CETESB (Casarini et al., 2001), porém inferior ao adotado no trabalho do TFI (71,8 kg) (Tabela 11).

Crianças: Adotou-se como peso médio para crianças de 0 a 6 anos, o valor de 15,4 kg, sendo este valor intermediário entre aquele utilizado pela CETESB – 15 kg (Casarini et al., 2001) – e o da USEPA – 15,5 kg – que é aquele adotado no documento do TFI (Tabela 11). O valor de 15,4 kg foi calculado a partir de dados disponíveis na Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002 – 2003 (IBGE, 2006) e trata-se da média dos valores observados para meninos e meninas, em sete faixas de idade: menos que 1 ano, 1, 2, 3, 4, 5 e 6 anos.

### Taxa de ingestão de plantas (grãos, raízes e vegetais)

Esta taxa foi baseada na quantidade anual (kg) per capita de alimentos adquiridos para consumo no domicílio (IBGE, 2004), considerando na classe de grãos o consumo de arroz polido, feijão, fubá de milho, farinha de trigo, macarrão e pão francês. Na classe de vegetais, utilizou-se a única estatística disponível, a qual é relativa ao consumo de abóbora comum. Finalmente, para a classe de raízes, foram

considerados os consumos de batata-inglesa e farinha de mandioca. Estes dados, assim agrupados, levaram a uma estimativa de ingestão (g/kg-dia) de 2,2 para grãos, 0,2 para vegetais e 0,4 para raízes para um adulto (peso médio de 66,6 kg) e de 9,7 para grãos, 0,8 para vegetais e 1,6 para raízes, para crianças (peso médio de 15,4 kg). Dados da CETESB (Casarini et al., 2001) consideram um consumo de tubérculos e vegetais igual a 0,040 kg/dia para adultos e de 0,030 kg/dia para crianças, o que representa um valor de 0,7 g/kg-dia de tubérculos e vegetais para um adulto (peso médio de 60 kg) e de 0,5 g/kg-dia de tubérculos e vegetais para uma criança (peso médio de 15 kg). Os dados da CETESB, entretanto, não contemplam o consumo de grãos, os quais são os componentes de maior peso na dieta.

### **Fator de Absorção pela Planta (grãos, raízes e vegetais)**

A coleta de dados da literatura para os cálculos de fatores de absorção pelas plantas (PUFs) seguiu a mesma metodologia e os mesmos critérios adotados pelo TFI, porém usando apenas estudos realizados no Brasil. Foram coletados 143 artigos selecionados pela relevância do título, entretanto apenas 6 trouxeram informações completas e adequadas para o cálculo de PUF (Tabela 30). Os dados de PUF-grãos para Cu, Ni e Zn foram compilados de Rangel (2003) e Oliveira et al. (2005a,b). Os dados de PUF-vegetais para Cu, Pb, Ni, Zn e Hg foram compilados de Ramalho et al. (1999), Egler et al. (2006) e Jordão et al. (2006). Os dados de PUF-raízes para Hg foram compilados de Egler et al. (2006). Os valores de PUF no limite de confiança superior (UCL) a 95% da média geométrica (o qual é considerado uma estimativa no limite superior), transformados para base úmida, foram utilizados no cálculo das RBCs para o cenário brasileiro (Tabela 30).

Para os demais metais, e tendo em vista que os dados encontrados na literatura nacional não se mostraram muito diferentes daqueles utilizados pelo TFI, foram adotados os valores do documento original (Tabela 13). Esta pequena diferença encontrada para os valores de fator de absorção pela plantas possivelmente se deve o fato da base de dados utilizada no documento original ter sido originada de uma exaustiva coleta de informações na literatura internacional e de ter coberto uma ampla gama de situações de uso e manejo de solo.

### **Valores de toxicidade oral e dérmica**

Com exceção do caso do chumbo (Pb), todos os demais parâmetros de toxicidade utilizados para o cálculo das concentrações baseadas em risco (RBCs) são os mesmos adotados no documento original do TFI (Tabela 10). Para o Pb, no caso do cenário brasileiro, optou-se pela utilização do valor da dose de referência (RfD) adotada pela Organização Mundial de Saúde (RfD oral ou dérmica de 0,0036 mg/kg-dia, calculada a partir de um valor de ingestão semanal aceitável de 0,025 mg de Pb/kg de massa corporal), por ser este um valor mais conservador e, portanto, considerado mais protetor da saúde (FAO/WHO, 2002). Ressalta-se que este valor de RfD de 0,0036 mg/kg-dia é o mesmo valor adotado pela CETESB para a ingestão diária aceitável deste MOPC no seu documento que estabelece valores orientadores para diferentes substâncias em solos e águas no estado de São Paulo (Casarini et al., 2001).

### **Apresentação das Concentrações Baseadas em Risco (RBCs) no Cenário Brasileiro e Comparação com os Valores do TFI**

Como descrito na Seção 3.0 desta publicação, as RBCs unitárias no cenário brasileiro foram calculadas também para uma propriedade agrícola com um grupo de culturas e uma com vários grupos de culturas, para crianças e adultos. A mais baixa RBC para cada MOPC foi selecionada para se examinar riscos à saúde humana e está apresentada nas últimas duas colunas da Tabela 31.

Conforme observado também nos dados do levantamento feito pelo TFI, na Seção 3.0 desta publicação, pode-se notar que para arsênio, o residente adulto na propriedade agrícola tem a mais baixa RBC porque arsênio é um agente carcinogênico e a duração da exposição é muito mais longa para um adulto. As mais baixas RBCs para os outros MOPCs são para as crianças residentes rurais. Adicionalmente, o cenário para várias culturas também foi o que apresentou o mais baixo valor da RBC (com exceção apenas do vanádio), porque a exposição vem de todos os tipos de cultura e não apenas de um só tipo.

**TABELA 30 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO PARA CONJUNTOS DE DADOS DE FATOR DE ABSORÇÃO PELA PLANTA (PUF) PARA CADA GRUPO DE CULTURAS E METAL POTENCIALMENTE PERIGOSO (MOPC) NO CENÁRIO BRASILEIRO**

MOPC	Grupo	n	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	UCL 95% (a)	Q75%	P90%	P95%	Fonte dos dados
Cobre	Grãos	5	0,122	0,106	0,109	0,018	0,237	0,226 (0,226)	0,234	0,236	0,236	Rangel (2003); Oliveira et al. (2005b)
Cobre	Vegetais	21	0,017	0,011	0,026	0,004	0,132	0,043 (0,0043)	0,0133	0,020	0,021	Ramalho et al. (1999); Jordão et al. (2006)
Chumbo	Vegetais	20	0,0049	0,0045	0,0010	0,0035	0,0064	0,0053 (0,00053)	0,0061	0,0063	0,0064	Ramalho et al. (1999)
Mercúrio	Vegetais	26	1,029	0,27	1,495	0,041	5,296	3,946 (0,3946)	1,622	3,389	4,040	Egler et al. (2006)
	Raízes	12	0,399	0,065	0,719	0,007	2,463	3,946 (0,3946)	0,417	0,963	1,658	Egler et al.(2006)
Níquel	Grãos	3	0,074	0,102	0,054	0,012	0,109	-	0,105	0,107	0,108	Rangel (2003); Oliveira et al. (2005b)
	Vegetais	21	0,0115	0,01	0,0051	0,006	0,019	0,0134 (0,00134)	0,017	0,018	0,019	Ramalho et al. (1999); Jordão et al. (2006)
Zinco	Grãos	9	1,176	1,331	0,527	0,296	1,798	1,503 (1,503)	1,491	1,593	1,695	Rangel (2003); Oliveira et al. (2005a,b)
Zinco	Vegetais	21	0,086	0,038	0,203	0,012	0,972	0,280 (0,028)	0,063	0,066	0,066	Ramalho et al. (1999); Jordão et al. (2006)

a - valores obtidos segundo recomendação do programa proucl 3.0 (Singh et al., 2004). Dados entre parênteses representam os valores convertidos para base úmida, conforme descrito na Tabela 9, os quais foram usados nos cálculos da RBCs.

**TABELA 31 - CONCENTRAÇÕES BASEADAS EM RISCO (RBCs)  
UNITÁRIAS (a) PARA O CENÁRIO BRASILEIRO**

MOPC	RBCs para Residente Rural – Adulto				RBCs para Residente Rural - Criança				Mais Baixas Unidades da RBC (b)	
	Vegetais	Raízes	Grãos	Vários grupos de culturas	Vegetais	Raízes	Grãos	Vários grupos de culturas	Notação Científica	Notação Padrão
<b>Fertilizante Fosfatado</b>										
Arsênio (c)	2,5E+01	1,6E+01	4,0E+00	<b>2,9E+00</b>	2,4E+01	1,3E+01	4,5E+00	3,3E+00	2,9E+00	2,9
Cádmio	2,5E+02	5,8E+01	5,4E+01	2,5E+01	5,4E+01	1,3E+01	1,2E+01	<b>5,8E+00</b>	5,8E+00	5,8
Cromo (III)	4,6E+06	1,4E+06	4,1E+05	3,9E+05	4,7E+05	1,4E+05	8,9E+04	<b>8,1E+04</b>	8,1E+04	81470
Cobalto	5,1E+05	1,2E+05	3,7E+04	3,0E+04	5,0E+04	1,4E+04	8,1E+03	<b>6,4E+03</b>	6,4E+03	6389
Cobre	1,4E+05	6,2E+03	8,0E+02	7,2E+02	1,3E+04	1,2E+03	1,8E+02	<b>1,6E+02</b>	1,6E+02	165
Chumbo	2,5E+03	6,6E+02	5,2E+02	4,3E+02	2,9E+02	8,3E+01	1,1E+02	<b>8,5E+01</b>	8,5E+01	85
Mercúrio	2,0E+01	7,5E+00	4,6E+00	2,5E+00	4,5E+00	1,6E+00	1,1E+00	<b>0,6E+00</b>	0,6E+00	0,6
Molibdênio	1,4E+04	1,2E+04	1,1E+03	9,4E+02	3,0E+03	2,1E+03	2,5E+02	<b>2,2E+02</b>	2,2E+02	216
Níquel	1,6E+04	3,9E+03	2,6E+03	2,1E+03	1,8E+03	5,0E+02	5,6E+02	<b>4,3E+02</b>	4,3E+02	435
Selênio	1,3E+05	1,8E+04	3,0E+03	2,5E+03	2,5E+04	3,9E+03	6,9E+02	<b>5,8E+02</b>	5,8E+02	582
Vanádio	2,3E+05	6,8E+04	7,3E+04	5,8E+04	2,3E+04	<b>6,9E+03</b>	1,4E+04	1,0E+04	6,9E+03	6902
Zinco	5,5E+05	4,5E+04	1,7E+03	1,7E+03	9,0E+04	9,4E+03	4,0E+02	<b>3,9E+02</b>	3,9E+02	388
<b>Fertilizante com Zinco como Micronutriente</b>										
Arsênio (c)	1,6E+03	3,4E+03	1,4E+02	<b>1,3E+02</b>	1,6E+03	2,8E+03	1,6E+02	1,5E+02	1,3E+02	128
Cádmio	1,7E+04	1,2E+04	1,9E+03	1,5E+03	3,6E+03	2,7E+03	4,4E+02	<b>3,5E+02</b>	3,5E+02	351
Cromo (III) (d)	3,1E+08	3,0E+08	1,5E+07	1,5E+07	3,1E+07	3,1E+07	<b>3,2E+06</b>	<b>3,2E+06</b>	3,2E+06	3195903
Cobalto	3,4E+07	2,6E+07	1,3E+06	1,3E+06	3,3E+06	3,0E+06	2,9E+05	<b>2,8E+05</b>	2,8E+05	277481
Cobre	9,3E+06	1,3E+06	2,9E+04	2,8E+04	8,7E+05	2,6E+05	6,7E+03	<b>6,5E+03</b>	6,5E+03	6531
Chumbo	1,6E+05	1,4E+05	1,9E+04	1,8E+04	1,9E+04	1,8E+04	3,9E+03	<b>3,8E+03</b>	3,8E+03	3818
Mercúrio	1,3E+03	1,6E+03	1,7E+02	1,4E+02	3,0E+02	3,5E+02	3,8E+01	<b>3,1E+01</b>	3,1E+01	31
Molibdênio	9,5E+05	2,6E+06	3,9E+04	3,7E+04	2,0E+05	4,5E+05	9,0E+03	<b>8,6E+03</b>	8,6E+03	8575
Níquel	1,1E+06	8,4E+05	9,5E+04	9,2E+04	1,2E+05	1,1E+05	<b>2,0E+04</b>	<b>2,0E+04</b>	2,0E+04	19556
Selênio	8,3E+06	3,8E+06	1,1E+05	1,0E+05	1,7E+06	8,4E+05	2,5E+04	<b>2,4E+04</b>	2,4E+04	23919
Vanádio	1,6E+07	1,5E+07	2,6E+06	2,6E+06	1,5E+06	1,5E+06	4,9E+05	<b>4,8E+05</b>	4,8E+05	483249
Zinco	3,6E+07	9,7E+06	6,3E+04	6,2E+04	6,0E+06	2,0E+06	1,5E+04	<b>1,4E+04</b>	1,4E+04	14418

Notas:

Negrito = RBC Mais Baixo

MOPC = Metal Potencialmente Perigoso

- As unidades para todos os RBCs são mg MOPC/kg produto (i.e., ppm). A unidade mais baixa da RBC para cada metal está nas duas últimas colunas. Este é o valor usado para orientação (apresentado na Seção 4.0).
- A unidade mais baixa da RBC é a mais baixa para crianças e adultos residentes rurais.
- As RBCs apresentadas para arsênio foram baseadas em cancerígeno. Todas as outras RBCs foram baseadas em não cancerígeno.
- Um valor de RBC unitária maior que 1.000.000 mg de Cr/kg de produto é, na prática, impossível, já que neste limite máximo, todo o produto seria constituído apenas de cromo. Este valor maior que 1.000.000 revela, porém, que o limite de segurança para Cr (III) é bastante elevado.

As RBCs calculadas para adubos fosfatados no cenário brasileiro são menores que aquelas do cenário do TFI nos casos de arsênio, cádmio, mercúrio e zinco. Os menores valores para cádmio, arsênio e mercúrio devem-se basicamente ao fato dos valores de coeficiente de partição (Kd, L/kg) utilizados no cenário brasileiro (Tabela 29) serem maiores cerca de 30 vezes para Cd, 20 para As e 10 vezes para Hg, quando comparados com os valores adotados no cenário do TFI (Tabela 7). Isso faz com que mais Cd, As e Hg sejam passíveis de maior acumulação comparativa nos solos brasileiros e, conseqüentemente, mais susceptíveis a serem transferidos para as plantas (e futuramente para os seres humanos) ou serem absorvidos via ingestão de solo ou deposição dermal. Para Zn, além dos valores de Kd para o cenário

brasileiro serem cerca de 10 vezes maiores que aqueles do documento original do TFI, vale destacar também a maior absorção por plantas verificada para grãos (compare Tabela 30 com Tabela 9), componente importante da dieta. Ressalta-se, porém, no caso do Zn, que antes de se tornar tóxico para os seres humanos, a tendência deste metal, quando em grandes concentrações no solo, é de causar toxicidade para as plantas, dificultando o seu adequado desenvolvimento e produção.

No caso dos adubos fosfatados, destaca-se, adicionalmente, que a taxa de aplicação usada para cultura de raízes no cenário brasileiro é cerca de 2,5 vezes maior que aquela do TFI (429 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha-ano no cenário brasileiro contra 170 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha-ano no cenário norte-americano). Essa maior taxa de aplicação afeta o cálculo das RBCs para todos os MOPCs analisados nos fertilizantes fosfatados, no sentido de tornar estas RBCs menores no estudo de caso brasileiro, mesmo no cenário de multiculturas, onde a fração de área ocupada com raízes (FOL) é de 10%. Ainda com relação aos adubos fosfatados, não foi considerada, no cenário brasileiro (seguindo o mesmo escopo do estudo original do TFI), a possibilidade de duas safras no mesmo ano agrícola, o que acontece em muitas regiões brasileiras. Nestes casos, entretanto, dificilmente a taxa de aplicação anual excederia o valor de 429 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha-ano contabilizado para cultura de raízes, que é o cenário de maior segurança para o cálculo das RBCs<sup>40</sup>.

As RBCs calculadas para adubos com Zn no cenário brasileiro são bem maiores (menor risco) que aquelas do cenário do TFI, basicamente em função das doses de Zn usadas serem 5,5 vezes menores no cenário brasileiro. Os casos em que a diferença entre os dois cenários foi menor ocorreram para As, Cd, Hg e Zn, em função dos valores de K<sub>d</sub> e, ou, absorção pelas plantas serem maiores para o cenário brasileiro, conforme exposto no caso dos fertilizantes fosfatados.

#### **Comparação das Concentrações Baseadas em Risco com as Concentrações dos Metais Potencialmente Perigosos em Fertilizantes no Cenário Brasileiro**

À semelhança do que foi feito na Seção 4.0 desta publicação, também para o cenário brasileiro procedeu-se à comparação da concentração medida dos diferentes MOPCs em fertilizantes comercializados no Brasil com as suas respectivas RBCs, mostradas na Tabela 31.

As concentrações de As, Cd, Pb, Hg, Cr e Ni nos fertilizantes fosfatados (fosfato diamônio, fosfato monoamônio, superfosfato triplo e superfosfato simples) foram obtidas a partir de dados fornecidos pela indústria. A esses dados, foram adicionados os resultados de pesquisa de Gabe e Rodella (1999) e, aos dados de superfosfato triplo, os resultados de Campos et al. (2005) para Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn. A concentração destes 6 últimos MOPCs foi também avaliada e adicionada à base de dados para os seguintes produtos: fosfato de rocha (Gabe e Rodella 1999; Campos et al., 2005), fosfato fundido, ácido fosfórico (Gabe e Rodella 1999), termofosfato yoorin (Campos et al., 2005) e misturas de nutrientes (Amaral Sobrinho et al., 1992; Gabe e Rodella, 1999; Alcarde e Vale, 2003).

A concentração de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em fertilizantes micronutrientes contendo Zn foi adicionada à base de dados a partir dos resultados de pesquisa de 20 tipos de fritas, por Vale e Alcarde (2003), e de óxidos de Zn, sulfato de Zn, e as formulações BR5, BR10 e BR12, por Gabe e Rodella (1999).

Diferentemente do que é apresentado na Seção 4.0 desta publicação, onde as RBCs unitárias foram ajustadas pela FON (fração do nutriente no fertilizante) às concentrações máximas medidas de MOPCs em produtos (por tipo de fertilizante ou categoria de produto), no cenário brasileiro optou-se, por simplificação, pela comparação direta das RBCs unitárias (i.e., RBCs geradas para 1% de nutriente em um produto; relatadas na Tabela 31) com a concentração dos diferentes MOPCs já dividida pela percentagem da FON relatada na literatura ou pela indústria. As comparações são apresentadas nas Tabelas 32 e 33 para fertilizantes fosfatados e com micronutrientes, respectivamente.

---

<sup>40</sup> Nos casos onde uma cultura de grãos é plantada após o cultivo de batata, por exemplo (cultura de raízes), no mesmo ano agrícola, normalmente e adubação fosfatada é suprimida no segundo cultivo, devido ao grande efeito residual proveniente do fertilizante aplicado na cultura de raízes (batata).

**TABELA 32 – COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM FERTILIZANTES FOSFATADOS COM A CONCENTRAÇÃO BASEADA EM RISCO (RBC) UNITÁRIA - CENÁRIO BRASILEIRO**

Categoria de Produto	Sumário Estatístico dos Dados de Concentração (a)					RBC Unitária (c)	Excedeu?		
	N	Mínimo	Máximo	GM	GSD		95% UCL (b)	Sim ou Não (d)	N (e)
<b>Misturas Agrícolas</b>									
Cádmio	7	0,09	8	1,33	2,95	6,18	5,8	Sim	1
Cromo	6	0,01	1,36	0,46	0,54	0,91	81470	Não	-
Cobre	25	0,67	83	13,18	16,64	19,78	165	Não	-
Chumbo	4	1,85	12,07	6,41	5,32	12,67	85	Não	-
Níquel	6	0,37	2,14	0,92	0,64	1,45	435	Não	-
Zinco	25	0,93	361,14	151,71	114,35	190,84	388	Não	-
<b>Termofosfato Yoorin</b>									
Cádmio	3	0,19	0,72	0,46	0,26	-	5,8	Não	-
Cromo	3	27,17	32,12	30,46	2,85	-	81470	Não	-
Cobre	3	4,31	7,21	6,18	1,62	-	165	Não	-
Chumbo	3	3,45	4,02	3,77	0,29	-	85	Não	-
Níquel	3	14,65	16,14	15,42	0,75	-	435	Não	-
Zinco	3	34,11	60,72	45,65	13,65	-	388	Não	-
<b>Fosfato de Rocha</b>									
Cádmio	18	0,07	4,69	1,42	1,40	2,45	5,8	Não	-
Cromo	16	0,25	12,56	4,52	3,82	6,19	81470	Não	-
Cobre	18	0,31	6,12	1,55	1,82	3,41	165	Não	-
Chumbo	15	0,5	19,49	4,41	7,03	15,74	85	Não	-
Níquel	16	0,65	19,49	4,26	6,77	14,83	435	Não	-
Zinco	18	0,28	84,44	16,23	21,62	28,45	388	Não	-

As notas de rodapé são apresentadas no fim da tabela.

TABELA 32 (continuação)

Categoria de Produto	Sumário Estatístico dos Dados de Concentração (a)					RBC Unitária (c)	Excedeu?		
	N	Mínimo	Máximo	GM	GSD		95% UCL (b)	Sim ou Não (d)	N (e)
<b>Fosfato Diamônio</b>									
Cádmio	2	0,02	0,06	0,04	0,028	-	5,8	Não	-
Cromo	2	0,04	1,85	0,28	1,02	-	81470	Não	-
Cobre	1	0,59	0,59	-	-	-	165	Não	-
Chumbo	1	0,28	0,28	-	-	-	85	Não	-
Níquel	2	0,56	0,59	0,575	0,02	-	435	Não	-
Zinco	1	1,29	1,29	-	-	-	388	Não	-
<b>Fosfato Monoamônio</b>									
Arsênio	17	0,04	0,77	0,26	0,19	0,37	2,9	Não	-
Cádmio	22	0	1,59	0,06	0,43	0,65	5,8	Não	-
Cromo	12	0,21	7,07	1,02	1,98	6,73	81470	Não	-
Cobre	2	0,23	0,46	0,34	0,16	-	165	Não	-
Chumbo	13	0,13	0,79	0,33	0,16	0,42	85	Não	-
Níquel	12	0,13	1,25	0,59	0,27	0,74	435	Não	-
Zinco	2	0,31	1,03	0,67	0,51	-	388	Não	-
<b>Ácido Fosfórico</b>									
Cádmio	5	0,05	0,16	-	0,05	0,15	5,8	Não	-
Cromo	5	0,45	1,13	-	0,26	0,93	81470	Não	-
Cobre	5	0,17	7,01	-	2,94	4,87	165	Não	-
Chumbo	1	2,81	2,81	-	-	-	85	Não	-
Níquel	2	0,65	2,22	-	1,11	-	435	Não	-
Zinco	5	0,25	4,75	-	1,81	5,69	388	Não	-

As notas de rodapé são apresentadas no fim da tabela.

TABELA 32 (continuação)

Categoria de Produto	Sumário Estatístico dos Dados de Concentração (a)				RBC Unitária (c)	Excedeu?		
	N	Mínimo	Máximo	GM		GSD	95% UCL (b)	Sim ou Não (d)
<b>Superfosfato Simples</b>								
Cádmio	13	0,04	1,89	0,53	0,55	0,99	Não	-
Cromo	12	0	6,89	2,32	2,36	5,29	Não	-
Cobre	5	0,48	2,54	1,09	0,88	1,93	Não	-
Chumbo	11	1,61	5,56	3,02	1,37	3,77	Não	-
Mercúrio	4	0	0,01	0,005	0,006	-	Não	-
Níquel	12	0	10,94	2,78	2,78	6,28	Não	-
Zinco	5	0,18	8,44	4,28	3,14	7,28	Não	-
<b>Superfosfato Triplo</b>								
Arsênio	2	0,31	0,31	0,31	0	-	Não	-
Cádmio	13	0,01	1,84	0,63	0,68	1,43	Não	-
Cromo	11	0,25	5,62	2,68	2,03	3,79	Não	-
Cobre	4	0,1	1,47	0,25	0,17	0,45	Não	-
Chumbo	10	0,13	2	0,79	0,50	1,18	Não	-
Níquel	10	0,29	1,91	0,88	0,50	1,16	Não	-
Zinco	4	0,45	5,43	3,36	2,33	6,10	Não	-
<b>Fosfato Fundido</b>								
Cádmio	3	0,17	0,22	0,19	0,02	-	Não	-
Cromo	3	53,91	60,45	56,20	3,69	-	Não	-
Cobre	3	0,4	3,14	1,88	1,38	-	Não	-
Chumbo	1	4,8	4,8	4,8	--	-	Não	-
Níquel	3	3,16	20,57	13,01	8,93	-	Não	-
Zinco	3	2,07	27,14	16,40	12,92	-	Não	-

Notas:

- = Não Aplicável

N = Número de Amostras (ou Excedidos) 95%

GM = Média Geométrica

UCL = Acima de 95% do Limite de Confiança

GSD = Desvio Padrão Geométrico

(a) Todas as concentrações estão em mg MOPC/kg de produto (ou ppm) por % de fertilizante. Os dados são da indústria e da literatura.

(b) Um UCL de 95% é fornecido quando o número de amostras para o MOPC é maior que cinco. Um UCL de 95% é considerado uma boa estimativa da média.

(c) A RBC unitária é baseada em uma fração de 1% de nutrientes (FON)..

(d) Se a concentração máxima do MOPC por unidade do nutriente é maior que a RBC unitária, há um excesso.

(e) O número de excessos é o número de amostras (dentro de cada categoria de produtos) com uma concentração maior que a RBC unitária.

**TABELA 33 – COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM FERTILIZANTES CONTENDO MICRONUTRIENTES COM A CONCENTRAÇÃO BASEADA EM RISCO (RBC) UNITÁRIA - CENÁRIO BRASILEIRO**

Categoria de Produto	Sumário Estatístico dos Dados de Concentração (a)					RBC Unitária (c)		Excedeu?	
	N	Mínimo	Máximo	GM	GSD	95% UCL (b)	Sim ou Não (d)	N (e)	
<b>Zinco Micronutriente</b>									
Cádmio	28	0	51,88	6,19	10,38	14,75	351	Não	–
Cromo	5	1,27	30,45	11,71	13,76	24,83	3195903	Não	–
<b>Cobre</b>	<b>28</b>	<b>0</b>	<b>12439</b>	<b>1527,32</b>	<b>2641,83</b>	<b>3703,54</b>	<b>6531</b>	<b>Não</b>	<b>–</b>
Chumbo	28	0	0	350,30	568,90	818,94	3818	Não	–
Níquel	26	0	0	20,48	26,66	43,28	19556	Não	–

- = Não Aplicável
- GM = Média Geométrica
- GSD = Desvio Padrão Geométrico
- N = Número de Amostras (ou Excedentes)
- 95% UCL = Acima de 95% do Limite de Confiança

- (a) Todas as concentrações estão em mg MOPC/kg de produto (ou ppm) por % de fertilizante. Os dados são da indústria e da literatura.
- (b) Um UCL de 95% é fornecido quando o número de amostras para o MOPC é maior que cinco. Um UCL de 95% é considerado uma boa estimativa da média.
- (c) A RBC unitária é baseada em uma fração de 1% de nutrientes (FON)..
- (d) Se a concentração máxima do MOPC por unidade do nutriente é maior que a RBC unitária, há um excesso.
- (e) O número de excessos é o número de amostras (dentro de cada categoria de produtos) com uma concentração maior que a RBC unitária

Para o caso do Brasil, e considerando-se a base de dados analisadas para fertilizantes fosfatados, houve excedentes às RBCs apenas para cádmio em uma mistura de nutrientes (4-14-8) analisada por Gabe e Rodella (1999), em que a quantidade em 1% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi de 8 mg de Cd/kg do produto. Para os demais 7 MOPCs avaliados (arsênio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, níquel e zinco), não houve nenhum caso de excedente (veja a Tabela 32). Há comparações feitas para 9 categorias de fertilizantes fosfatados (incluindo as misturas agrícolas) e para um total de 111 amostras de fertilizantes individuais (Tabela 34).

No caso dos micronutrientes (Zn), houve excedentes às RBCs para cobre em fertilizantes contendo Zn como micronutriente para dois produtos tipo “fritas” em que a quantidade em 1% de Zn foi de 12439 e de 8293 mg de Cu (Tabela 33). Um total de 28 amostras de fertilizantes individuais foi avaliado para os MOPCs cádmio, cromo, cobre, chumbo e níquel (Tabela 35).

Da mesma forma como sugerido nos resultados da Seção 4.0 desta publicação, uma avaliação mais aprofundada dos excedentes para determinar se esses fertilizantes representam riscos à saúde poderia envolver o seguinte: (1) confirmar se o produto ainda está no mercado, e (2) determinar o uso exato (incluindo a taxa de aplicação, tipo de culturas, etc.) para um produto de interesse, e, então, ajustar o valor da RBC ao que mais reflete as condições desse novo cenário de exposição.

**TABELA 34 – CONCENTRAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM FERTILIZANTES FOSFATADOS - CENÁRIO BRASILEIRO**

Fertilizante	Concentração de Contaminantes (mg/kg por 1% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )										Origem dos dados	
	Arsênio	Cádmio	Cromo	Cobre	Chumbo	Mercúrio	Níquel	Zinco				
<b>Misturas Agrícolas</b>												
4-14-8				18,07							329,71	Alcarde e Vale (2003)
4-20-20				9							175	Alcarde e Vale (2003)
4-12-8				23,83							292,67	Alcarde e Vale (2003)
4-14-8				12,71							76,43	Alcarde e Vale (2003)
2-20-20				19,20							174,6	Alcarde e Vale (2003)
2-20-20				8,65							85,6	Alcarde e Vale (2003)
4-14-8				22							199,79	Alcarde e Vale (2003)
4-14-8				24,86							302,79	Alcarde e Vale (2003)
4-14-8				2,79							13,14	Alcarde e Vale (2003)
4-14-7				3,93							11,36	Alcarde e Vale (2003)
4-14-8				22,79							324,79	Alcarde e Vale (2003)
4-30-16				7,20							127,67	Alcarde e Vale (2003)
4-14-6				14,71							110,93	Alcarde e Vale (2003)
4-12-8				3,92							6,92	Alcarde e Vale (2003)
4-20-20				16,20							185,45	Alcarde e Vale (2003)
4-14-8				11,71							272,86	Alcarde e Vale (2003)
4-14-8				12,43							152,64	Alcarde e Vale (2003)
2-20-20				4,9							158,95	Alcarde e Vale (2003)
0-30-15 + 2% Zn		0,18	0,01	1,09	1,85					0,69	74	Amaral Sobrinho et al. (1992)
0-20-20 + 0,4% Zn		0,14	0,03	1,68	1,89					0,69	155,75	Amaral Sobrinho et al. (1992)
2-28-8 + 0,5% Zn		0,52	0,06	2,6	9,82					1,08	192,32	Amaral Sobrinho et al. (1992)
4-20-20		0,12	0,7	0,9						0,55	3,25	Gabe e Rodella (1999)
4-30-10		0,24	0,63	0,67						0,37	4,10	Gabe e Rodella (1999)
4-14-8		8	1,36	83	12,07					2,14	361,14	Gabe e Rodella (1999)
15-15-16		0,09		0,73							0,93	Gabe e Rodella (1999)
<b>Termofosfato yoorin</b>												
		0,19	27,17	4,31	3,45					14,65	42,12	Campos et al. (2005)
		0,46	32,12	7,01	3,85					16,14	60,72	Campos et al. (2005)
		0,72	32,1	7,21	4,02					15,48	34,11	Campos et al. (2005)

TABELA 34 – COTINUAÇÃO

Fertilizante	Concentração de Contaminantes (mg/kg por 1% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )										Origem dos dados
	Arsênio	Cádmio	Cromo	Cobre	Chumbo	Mercurício	Níquel	Zinco			
<b>Fosfato de Rocha</b>											
Araxá		0,59	7,23	3,91	16,31		17,71	53,51			Campos et al. (2005)
Arad		1,05	3	0,83	0,98		0,98	14,03			Campos et al. (2005)
Gafsa		1,41	3,01	0,57	0,72		0,72	9,69			Campos et al. (2005)
Marrocos		2,47	6,56	0,92	0,96		0,96	16,59			Campos et al. (2005)
Araxá		1,11	11,79	5,71	17,91		19,49	84,44			Campos et al. (2005)
Arad		1,67	2,59	0,5	0,68		1,25	10,85			Campos et al. (2005)
Gafsa		2,67	2,75	1,39	0,73		0,85	9,35			Campos et al. (2005)
Marrocos		4,69	5,81	0,61	0,94		1,48	18,39			Campos et al. (2005)
Araxá		1,36	12,56	6,12	19,49		16,34	36,18			Campos et al. (2005)
Arad		1,79	3,64	0,52	0,5		1,17	6,79			Campos et al. (2005)
Gafsa		1,99	3,79	1,43	0,72		0,71	4,96			Campos et al. (2005)
Marrocos		4,28	7,67	0,31	0,92		0,91	9,63			Campos et al. (2005)
		0,08	0,25	0,59			0,65	1,13			Gabe e Rodella (1999)
		0,07	0,35	2,41	1,08		0,83	1,52			Gabe e Rodella (1999)
		0,08		0,32				0,40			Gabe e Rodella (1999)
		0,11		0,33				0,28			Gabe e Rodella (1999)
Apatita concentrada fina		0,14	0,87	0,83	2,5		1,87	8,74			Gabe e Rodella (1999)
Apatita concentrada grossa		0,08	0,5	0,54	1,7		1,22	5,6			Gabe e Rodella (1999)
<b>Fosfato Diamônio</b>											
		0,06	0,4	0,59			0,56	1,29			Gabe e Rodella (1999)
		0,02	1,85		0,28		0,59				Indústria
<b>Fosfato Monoamônio</b>											
		0,05	0,23	0,23	0,23			0,31			Gabe e Rodella (1999)
		0,07	0,33	0,46	0,34		0,46	1,03			Gabe e Rodella (1999)
	0,33	0,07									Indústria
			0,21		0,31		0,47				Indústria
	0,04										Indústria
		0,02	0,31		0,23		0,65				Indústria
	0,15	0,01									Indústria

TABELA 34 – COTINUAÇÃO

Fertilizante	Concentração de Contaminantes (mg/kg por 1% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )										Origem dos dados	
	Arsênio	Cádmio	Cromo	Cobre	Chumbo	Mercurício	Níquel	Zinco				
<b>Fosfato Monoamônico (continuação)</b>												
		0,09	0,39			0,37				0,86		Indústria
	0,38	1,59										Indústria
		0,04				0,37				0,39		Indústria
	0,16	0,61				0,13						Indústria
	0,06	0,04	0,41			0,39				1,25		Indústria
			0,29			0,29				0,43		Indústria
			0,26			0,26				0,52		Indústria
	0,06											Indústria
	0,47											Indústria
	0,19	0,15										Indústria
		1,26										Indústria
	0,18	0,07										Indústria
		0,14	2,25			0,43				0,65		Indústria
	0,2	0,01										Indústria
	0,24	0,62										Indústria
	0,56	0,58	7,07			0,79				0,13		Indústria
	0,2	0,01										Indústria
	0,19	0,01										Indústria
	0,3	0										Indústria
	0,77											Indústria
		0,01	0,26			0,21				0,64		Indústria
		0,01	0,27			0,20				0,67		Indústria
<b>Acido Fosfórico</b>												
		0,15	0,6	0,5							0,75	Gabe e Rodella (1999)
(clarificado)		0,1	0,66	0,51							0,76	Gabe e Rodella (1999)
		0,16	1,13	7,01	2,81					2,22	4,75	Gabe e Rodella (1999)
		0,05	0,54	0,62						0,65	1,44	Gabe e Rodella (1999)
		0,05	0,45	0,17							0,25	Gabe e Rodella (1999)

TABELA 34 – COTINUAÇÃO

Fertilizante	Concentração de Contaminantes (mg/kg por 1% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )										Origem dos dados	
	Arsênio	Cádmio	Cromo	Cobre	Chumbo	Mercúrio	Níquel	Zinco				
<b>Superfosfato Simples</b>												
1-18-00		0,15	1,41	1,32	4,2		2,29	8,44				Gabe e Rodella (1999)
3-17-00		0,05	0,48	0,48	1,7		0,81	5,5				Gabe e Rodella (1999)
Granulado		0,08	0,63	0,63	1,62		0,9	4,88				Gabe e Rodella (1999)
Pó		0,08	2,54	2,54			1,21	2,41				Gabe e Rodella (1999)
Pó		0,04	0,5	0,5				0,18				Gabe e Rodella (1999)
GSSP20		0,75	0		2,8		0					Indústria
GSSP		1,89	2,78		1,61	0,01	3,5					Indústria
GSSP		1	3,39		4,33	0	2,56					Indústria
GSSP		0,78	6,89		1,78	0	2,67					Indústria
GSSP		0,83	6,67		2,33	0,01	2,67					Indústria
GSSP		0,28	1,17		3,11		10,94					Indústria
GSSP		0,15	3,16		4,18		3,06					Indústria
SSP		0,83	0,78		5,56		2,78					Indústria
<b>Superfosfato Triplo</b>												
		1,03	4,66	0,3	0,48		0,46	5,04				Campos et al. (2005)
		1,84	4,03	0,13	0,54		0,42	5,43				Campos et al. (2005)
		1,77	4,64	0,1	0,13		0,29	2,54				Campos et al. (2005)
Granulado		0,07	0,37	0,47				0,45				Gabe e Rodella (1999)
	0,31	0,59										Indústria
		1,13	4,13		0,57		1,91					Indústria
		0,23	0,25		2		0,52					Indústria
	0,31	0,01										Indústria
		0,02	0,95		0,68		0,79					Indústria
		0,01	0,93		0,76		0,98					Indústria
		1,16	5,62		1,13		1,42					Indústria
		0,27	3,11		0,78		1					Indústria
		0,03	0,8		0,8		1					Indústria
<b>Fosfato Fundido</b>												
Pó		0,17	53,91	0,40			3,16	2,07				Gabe e Rodella (1999)
Semi Processado		0,19	60,45	2,09			15,31	20				Gabe e Rodella (1999)
		0,22	54,23	3,14	4,8		20,57	27,14				Gabe e Rodella (1999)

**TABELA 35 – CONCENTRAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE PERIGOSOS (MOPCs) EM FERTILIZANTES MICRONUTRIENTES PARA ZINCO - CENÁRIO BRASILEIRO**

Fertilizante	Concentração de Contaminantes (mg/kg por 1% de Zn)					Origem dos dados
	Cádmio	Cromo	Cobre	Chumbo	Níquel	
<b>Zinco Micronutriente</b>						
FTE	13,3		439,0	152,2	45,9	Vale e Alcarde (2003)
FTE	0,0		12439,0	0,0	9,8	Vale e Alcarde (2003)
FTE	7,1		892,9	630,6	10,9	Vale e Alcarde (2003)
FTE	7,4		0,0	751,2	21,1	Vale e Alcarde (2003)
FTE	0,8		1785,7	27,9	1,9	Vale e Alcarde (2003)
FTE	15,7		250,0	349,3	5,9	Vale e Alcarde (2003)
FTE	6,6		1396,6	225,4	14,2	Vale e Alcarde (2003)
FTE	5,7		1704,5	680,7	64,3	Vale e Alcarde (2003)
FTE	4,9		8292,7	548,8	53,2	Vale e Alcarde (2003)
FTE	0,6		290,7	47,1	2,4	Vale e Alcarde (2003)
FTE	6,8		909,1	2863,6	86,1	Vale e Alcarde (2003)
FTE	2,3		98,7	52,6	3,7	Vale e Alcarde (2003)
FTE	0,0		965,5	0,0	2,3	Vale e Alcarde (2003)
FTE	2,3		1149,4	572,4	97,5	Vale e Alcarde (2003)
FTE	3,3		1491,7	224,0	2,0	Vale e Alcarde (2003)
FTE	16,7		1296,3	995,1	17,5	Vale e Alcarde (2003)
FTE	11,7		1825,4	465,5	14,0	Vale e Alcarde (2003)
FTE	0,0		405,9	75,6	6,1	Vale e Alcarde (2003)
FTE	1,0		1050,0	403,5	10,2	Vale e Alcarde (2003)
Sais	0,0		502,8	0,0	0,0	Vale e Alcarde (2003)
Sais	0,0		0,0	0,0	4,5	Vale e Alcarde (2003)
Óxido de Zn + Óxido de Cu	1,13	1,60	2325,19	48	2,62	Gabe e Rodella (1999)
Óxido de Zn	0,31	1,27	16,29	7	5,71	Gabe e Rodella (1999)
Óxido de Zn	0,29		0,51	2		Gabe e Rodella (1999)
Sulfato de Zinco	0,17		0,4	4		Gabe e Rodella (1999)
BR10	0,08	22,45	1398,77	44	28,28	Gabe e Rodella (1999)
BR5	51,88	2,76	621,23	113	9,49	Gabe e Rodella (1999)
BR12	13,34	30,45	1216,60	525	13,00	Gabe e Rodella (1999)

## **Comparação das Concentrações Baseadas em Risco do Cenário Brasileiro com a Legislação Vigente (Instrução Normativa Nº 27, de 05/06/2006)<sup>41</sup>**

Em 09 de setembro de 2006, foi publicada no Diário Oficial da União (Seção 1, Página 15), a Instrução Normativa Nº 27, de 05 de junho de 2006, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (doravante denominada IN 27), a qual se trata da mais recente legislação brasileira regulamentando a concentração de MOPCs em fertilizantes.

A IN 27 dispõe que os fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender a certos limites (estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V da Norma) no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas.

O caso específico dos fertilizantes fosfatados e contendo micronutrientes, conforme tratado neste contexto do cenário brasileiro, é contemplado pelo Anexo I da Norma que estabelece “limites máximos de metais pesados tóxicos admitidos em fertilizantes minerais que contenham o nutriente fósforo, micronutrientes ou com fósforo e micronutrientes em mistura com os demais nutrientes”. Os MOPCs contemplados nesse anexo são arsênio, cádmio, chumbo, cromo e mercúrio. Esse anexo estabelece valores máximos (em mg/kg) na massa total do fertilizante e limites, em mg/kg, por ponto percentual (%) de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ou da somatória de micronutrientes contidos no fertilizante.

Os limites por ponto percentual (os quais podem ser comparados com os valores das RBCs mostrados na Tabela 31), ficaram assim estabelecidos no Anexo I da IN 27:

- Miligrama por quilograma (mg/kg) por ponto percentual (%) de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: arsênio = 2,00; cádmio = 4,00; chumbo = 20,00; cromo = 40,00; mercúrio = 0,05.
- Miligrama por quilograma (mg/kg) por ponto percentual (%) da somatória de micronutrientes: arsênio = 500,00; cádmio = 15,00; chumbo = 750,00; cromo = 500,00; mercúrio = 10,00.

Comparando-se os valores das RBCs da Tabela 31 para As, Cd, Cr, Pb e Hg com os limites supracitados, nota-se que, no caso dos fertilizantes fosfatados, todos os valores das RBCs baseados na avaliação de risco para o cenário brasileiro foram maiores que os limites da IN 27. As menores diferenças ocorreram para arsênio e cádmio, onde as RBCs da Tabela 31 foram 1,45 vezes maiores que os limites da IN 27. A maior discrepância de valores entre as RBCs e os limites da IN 27 para fertilizantes fosfatados ocorre para cromo, onde a RBC estimada para Cr (III) é cerca de 2.000 vezes maior que o limite da IN 27 (a qual não faz distinção entre as formas de cromo, se III, menos tóxica, ou VI, mais tóxica). Para chumbo, o valor da RBC estimada no cenário brasileiro é 4,25 vezes maior que o limite da IN 27 para este MOPC. Finalmente, no caso do mercúrio, a RBC da Tabela 31 é 12 vezes maior que o limite da IN 27.

No caso dos micronutrientes, a comparação dos limites da IN 27 com as RBCs da Tabela 31 somente tem sentido se for considerada apenas a presença de Zn no fertilizante, visto que a IN 27 contempla a somatória de micronutrientes em fertilizantes minerais fornecedores de micronutrientes, o que não foi o caso da presente avaliação de risco, onde somente a adição de zinco foi avaliada. Assim, se for considerada somente a presença de Zn nos fertilizantes contendo micronutrientes, nota-se que, para arsênio (um MOPC carcinogênico), o valor da RBC estimado pela avaliação de risco no cenário brasileiro (Tabela 31) é menor que o limite estabelecido na IN 27. Para os demais MOPCs, as RBCs da Tabela 31 foram todas maiores que os limites da IN 27. Novamente, no caso do cromo, os valores foram bastante discrepantes tendo em vista que o enfoque da RBC estimada na Tabela 31 é para Cr (III), o qual é bem menos tóxico para a saúde humana que o Cr (VI). A IN 27 também não faz distinção entre estas duas formas de cromo em fertilizantes contendo micronutrientes.

---

<sup>41</sup> Disponível em [extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=16951](http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=16951). Acesso em 25 de fevereiro de 2007.

Finalmente, cabe enfatizar novamente que a comparação das RBCs calculadas nesta avaliação de risco do cenário brasileiro com os limites da IN 27 somente é pertinente no caso dos valores estabelecidos por ponto percentual do nutriente (particularmente de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, no caso dos fertilizantes contendo fósforo, já que, em se tratando de fertilizantes fornecedores de micronutrientes, a IN 27 trata da somatória de micronutrientes e não somente do Zn – caso deste estudo). Entendemos que o estabelecimento de limites por ponto percentual de nutriente (conforme é o princípio do cálculo das concentrações baseadas em risco – RBCs) é de maior relevância quando comparado com o estabelecimento de valores máximos (em mg/kg) na massa total do fertilizante, já que o aporte dos MOPCs ao solo decorrente da aplicação de fertilizantes será sempre relacionado com a concentração do nutriente de interesse agrícola, o que, em última análise, determina a taxa de aplicação do adubo ao solo.

### **Considerações Finais**

O propósito maior desta primeira tentativa de estabelecimento de valores orientadores (concentrações baseadas em risco – RBCs) para concentração de metais em fertilizantes inorgânicos no Brasil é o de sugerir limites (baseados em uma avaliação de risco à saúde) que possam ser utilizados como orientação inicial para fins reguladores visando à proteção da saúde humana no cenário atual de uso de fertilizantes no Brasil.

Os resultados apresentados, levando-se em consideração os dados levantados e disponíveis até o momento para a avaliação de risco, indicam que os metais não causam danos à saúde humana após a aplicação de fertilizantes inorgânicos no Brasil (baseado em estudo realizado para fertilizantes minerais que contenham o nutriente fósforo e fertilizantes com micronutrientes visando o fornecimento de zinco). Sugerem ainda que os limites equivalentes às RBCs (por ponto percentual do nutriente) atualmente estabelecidos pela legislação brasileira são seguros do ponto de vista da avaliação de risco à saúde.

Há que se destacar a necessidade de se incrementar a base de dados para a construção do cenário brasileiro, sobretudo de mais informações acerca da concentração dos MOPCs avaliados em fertilizantes comercializados no Brasil. No entanto, à medida que mais dados forem sendo coletados, uma nova comparação com as RBCs sugeridas neste estudo poderá ser feita, a fim de tornar este cenário cada vez mais próximo da realidade brasileira.

Da mesma forma, na medida em que mais dados forem gerados sobre os parâmetros que compõem a fórmula usada no cálculo das RBCs no cenário brasileiro, então, uma revisão dos valores das RBCs atualmente estimadas poderá ser feita. Entendemos, porém, que o escopo desta avaliação de risco deve ser mantido, por se tratar de uma metodologia com base científica e de grande valia em termos de gerência de riscos e estabelecimento de padrões de regulamentação considerados seguros e protetores da saúde no cenário de pós-aplicação de fertilizantes inorgânicos.

## Referências (literatura citada para o estudo do cenário brasileiro)

- Alcarde, J.C. e Vale, F. 2003. Solubilidade de micronutrientes contidos em formulações de fertilizantes, em extratores químicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27:363-372.
- Amaral Sobrinho, N.M.B.; Costa, L.M.; Oliveira, C.; Velloso, A.C.X. 1992. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 16:271-276.
- Campos, M.L.; Silva, F.N.; Furtini Neto, A.e.; Guilherme, L.R.G.; Marques, J.J. e Antunes, A.S. 2005. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40:361-367.
- Campos, M.L.; Guilherme, L.R.G.; Visioli, E.; Antunes, A.S.; Curi, N.; Marques, J.J. e Silva, M.L.N. 2006. Força iônica da solução de equilíbrio na adsorção de arsênio em latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41:457-460.
- Casarini et al. (coord.). 2001. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. São Paulo, CETESB, 73 p. (Relatório completo disponível em [http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/aguas\\_final.zip](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/aguas_final.zip)).
- Cornu, S.; Neal, C.; Ambrosi, J.; Whitehead, P; Neal, M.; Sigolo, J. e Vachier P. 2001. The environmental impact of heavy metals from sewage sludge in ferralsols (São Paulo, Brazil). *The Science of the Total Environment* 271:27-48.
- Couto, M.L.T. 2006. Atualização dos fatores de exposição e sua influência nos valores de intervenção para solo do Estado de São Paulo. Campinas, SP: [s.n.], 269 p. (Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências) (disponível em <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000384010>, acesso 31/01/2007).
- Egler, S.G.; Rodrigues-Filho, S.; Villas-Boas, R.C. e Beinhoff, C. 2006. Evaluation of mercury pollution in cultivated and wild plants from two small communities of the Tapajós gold mining reserve, Pará State, Brazil. *Science of the Total Environment* 368:424-433.
- FAO/WHO. 2002. Summary of Evaluations Performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives - LEAD Latest evaluation 1999. (disponível em [http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecval/jec\\_1260.htm](http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecval/jec_1260.htm)).
- FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2004. Fertilizer use by crop in Brazil. FAO, Rome, 64 p. (disponível em <ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertusebrazil.pdf>).
- Gabe, U. e Rodella, A. 1999. Trace elements in Brazilian agricultural limestones and mineral fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 30:605-620.
- Galvão, E.Z. 2002. Micronutrientes. In Sousa, D.M.G.; Lobato, E. (eds.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. Planaltina: Embrapa Cerrados 185-226.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002 - 2003. 2006. Antropometria e análise do estado nutricional de crianças e adolescentes no Brasil. IBGE, Rio de Janeiro, 140 p. (disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2003medidas/pof2003medidas.pdf>).

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.. Pesquisa de orçamentos familiares 2002 -2003: primeiros resultados: Brasil e grandes regiões. 2004. IBGE, Rio de Janeiro, 276 p. (disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pof/2002/pof2002.pdf>).

Jordão, C.P.; Fialho, L.L.; Cecon, P.R.; Matos, A.T.; Neves, J.C.L.; Mendonça, E.S. e Fontes, R.L.F. 2006. Effects of Cu, Ni and Zn on lettuce grown in metal-enriched vermicompost amended soil. *Water, Air, and Soil Pollution* 172:21-38.

Klink, C.A. e Ricardo, R.B. 2005. A conservação do Cerrado brasileiro, *Megadiversidade* 1(1):47-155.

Martins, S.C. 2005. Adsorção e dessorção de cobre em solos sob aplicação de lodo de esgoto e calda bordalesa. Piracicaba, SP: [s.n.], 100p. (Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz) (disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-09092005-154045/publico/SusianMartins.pdf>) (acesso em 15/2/2007).

Oliveira, C.; Amaral Sobrinho, N.M.B.; Marques, V.S. e Mazur, N. 2005a. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto enriquecido com cádmio e zinco na cultura do arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29:109-116.

Oliveira, K.W.; Melo, W.J.; Pereira, G.T.; Melo, V.P. e Melo, G.M.P. 2005b. Heavy metals in Oxisols amended with biosolids and cropped with maize in a long-term experiment. *Scientia Agricola* 62:381-388.

Ramalho, J.F.G.P.; Amaral Sobrinho N.M.B. e Velloso, A.C.X. 1999. Contaminação da microbacia de caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35:1289-1303.

Rangel, O.J.P. 2003. Disponibilidade de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolo cultivado com milho após a aplicação de lodo de esgoto. Lavras, MG.: [s.n.], 88p. (Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras) (disponível em <http://www.dcs.ufla.br/Lemos/pdf/Disponibilidade%20de%20Cu,%20Mn,%20Ni,%20Pb%20e%20Zn%20em%20Latosolo%20Cultivado%20com%20Milho%20apos%20a%20Aplicacao%20de%20Lodo%20.pdf>) (acesso em 15/2/2007).

Singh, A.; Singh A.K.; Maichle, R.W. 2004. ProUCL Versão 3.0, Guia do Usuário. United States Environmental Protection Agency – USEPA, EPA/600/R04/079. (disponível em <http://www.epa.gov/esd/tsc/download.htm>) (acesso em 23/2/2007).

Soares, M.R. 2004. Coeficiente de distribuição (Kd) de metais pesados em solos de estado de São Paulo. Piracicaba, SP: [s.n.], 214p. (Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz) (disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-31052005-170719/publico/marcio.pdf>) (acesso em 15/2/2007).

Vale, F. e Alcarde, J.C. 2003. Avaliação química de fertilizantes com micronutrientes tipo fritas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27:165-170.



---

**BASE DE DADOS DA TAXA DE APLICAÇÃO COMPILADA DA USEPA  
(1999) E CÁLCULO DAS TAXAS DE APLICAÇÃO PARA FERTILIZANTES  
FOSFATADOS E ZINCO**

**FATOR DE ABSORÇÃO RELATIVA (RAF)**

Os conjuntos de dados usados para calcular as taxas de aplicação (ARs) para fertilizantes fosfatados e fertilizantes contendo zinco, para cada grupo de culturas, são apresentados nas Tabelas B.1 - B.3. Todos os dados foram compilados de USEPA (1999). Todos os dados disponíveis para culturas apropriadas e aplicáveis foram incluídos. Em adição, dados relatados de todos os estados foram incluídos. A estatística usada para calcular a concentração baseada em risco (RBC) é o limite de confiança acima de 95% (UCL) da média (assumindo uma distribuição normal).

**Referências**

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1999. Background Report on Fertilizer Use, Contaminants and Regulations. Columbus, OH: Battelle Memorial Institute.



**TABELA B-1 – CONJUNTO DE DADOS COMPILADOS PARA TAXAS DE APLICAÇÃO (AR) DE FERTILIZANTES FOSFATADOS E CÁLCULOS DO LIMITE DE CONFIANÇA SUPERIOR (UCL) A 95% DA MÉDIA: CULTURA DE VEGETAIS**

Cultura	Estado	Taxa de Aplicação (lb/acre-ano)	
Feijões, vagens (fresco)	CA	100	
	FL	99	
	GA	66	
	MI	64	
	NJ	68	
	NY	47	
	NC	69	
Feijões, vagens (processamento)	CA	96	
	IL	52	
	MI	40	
	NJ	40	
	NY	75	
	NC	100	
	OR	130	
	WA	49	
	WI	48	
Brócolis	AZ	200	
	CA	88	
	OR	160	
TX	TX	88	
	Repolho (fresco)	CA	97
		FL	94
GA		120	
MI		100	
NJ		120	
NY		110	
NC		150	
TX		86	
WI		110	
Repolho (processamento)		NY	96
	WI	93	
Couve-flor	AZ	240	
	CA	85	
	MI	92	
	NY	100	
	OR	130	
	TX	96	
Aipo	CA	230	
	FL	160	
	MI	130	
	TX	NA	
Pepino (fresco)	CA	61	
	FL	140	
	GA	89	
	MI	69	
	NJ	84	
	NY	93	
	NC	91	
	TX	47	
Pepino (processamento)	CA	56	
	FL	40	
	GA	55	
	MI	48	
	NC	47	
	OR	120	
	TX	100	
	WA	150	
WI	54		

**TABELA B-1 – (CONTINUAÇÃO)**

Cultura	Estado	Taxa de Aplicação (lb/acre-ano)
Berinjela	FL	120
	NJ	140
Alface, cabeça	AZ	250
	CA	150
	FL	NA
	NJ	99
	NY	84
Alface, outra	AZ	240
	CA	110
	FL	34
Pimentão	CA	410
	FL	140
	MI	73
	NJ	150
	NC	69
Espinafre (fresco)	TX	120
	CA	92
	NJ	90
	TX	110
Espinafre (processamento)	TX	97
Tomate (fresco)	CA	120
	FL	200
	GA	110
	MI	64
	NJ	120
	NY	170
	NC	120
	TX	78
Tomate (processamento)	CA	100
	MI	110
	Número	86
	Máximo	410
	Média	110
	Desvio Padrão	57
	95% Confiança	12
	<b>95 UCL</b>	<b>120</b>
	95º Percentil	220

Nota:

NA = Não Aplicável

**TABELA B-2**  
**CONJUNTO DE DADOS COMPILADOS PARA TAXAS DE APLICAÇÃO (AR)**  
**DE FERTILIZANTES FOSFATADOS E CÁLCULOS DO LIMITE DE CONFIANÇA**  
**SUPERIOR (UCL) A 95% DA MÉDIA: CULTURA DE RAÍZES**

Cultura	Estado	Taxa de Aplicação (lb/acre-ano)
Cenoura	AZ	NA
	CA	200
	FL	31
	MI	97
	NY	95
	OR	120
	TX	55
	WA	130
Batatas de Outono	WI	150
	ID	200
	ME	170
	WA	200
	RR (ND)	78
Cebolas (secas)	AZ	190
	CA	160
	GA	220
	MI	150
	NY	130
	OR	150
	TX	73
	WA	140
	WI	110
	Número	21
	Máximo	220
	Média	140
	Desvio Padrão	52
	95% Confiança	22
	<b>95 UCL</b>	<b>160</b>
	95° Percentil	200

Nota:

NA = Não Aplicável

**TABELA B-3**  
**CONJUNTO DE DADOS COMPILADOS PARA TAXAS DE APLICAÇÃO (AR)**  
**DE FERTILIZANTES FOSFATADOS E CÁLCULOS DO LIMITE DE CONFIANÇA**  
**SUPERIOR (UCL) A 95% DA MÉDIA: CULTURA DE GRÃOS**

Cultura	Estado	Taxa de Aplicação (lb/acre-ano)
Trigo de inverno	CO	21
	ID	53
	KS	28
	MT	30
	NE	32
	OK	32
	OR	30
	SD	28
	TX	44
	WA	20
Trigo Duro	ND	23
Outro trigo de primavera	MN	37
	MT	27
	ND	30
Milho (grão)	IL	85
	IN	64
	IA	60
	KS	38
	KY	78
	MI	47
	MN	53
	MO	55
	NE	34
	NC	59
	OH	87
	PA	58
	SC	57
	SD	34
	TX	37
	WI	39
Milho, Doce (fresco)	CA	130
	FL	78
	GA	50
	IL	68
	MI	65
	NJ	100
	NY	76
	NC	68
	OR	100
	TX	83
	WA	71
WI	40	
Milho, Doce (processamento)	IL	60
	MI	47
	MN	48
	NY	68
	OR	130
	WA	68
WI	49	
	Número	49
	Máximo	130
	Média	55
	Desvio Padrão	26
	95% Confiança	7,2
	<b>95 UCL</b>	<b>63</b>
	95° Percentil	100



---

## COLEÇÃO DE DADOS E SUMÁRIO DA ESTATÍSTICA PARA FATORES DE ABSORÇÃO PELA PLANTA (PUFs)

Os fatores de absorção pela planta (PUFs) foram desenvolvidos com a ajuda de um especialista em química do solo, Dr. Ronald Hauck, um professor aposentado da Universidade do Alabama (Hauck, 1999; Hauck e Bystrom, 1999). O Dr. Hauck identificou e selecionou estudos relevantes e aplicáveis sobre absorção pelas plantas e então compilou os dados em uma grande base de dados de PUF. A seguir, o Dr. Hauck organizou a base de dados em conjuntos de dados por tipo de cultura para cada metal potencialmente perigoso (MOPC). Apresenta-se a seguir: (1) o procedimento do Dr. Hauck para identificar e selecionar os estudos sobre absorção pelas plantas para incluir na base de dados; (2) como a base de dados é separada em conjuntos de dados apropriados; e, (3) os cálculos da estimativa no limite superior de PUF para cada grupo de culturas.

### Identificação e Seleção de Estudos usados no Desenvolvimento da Base de Dados de Fatores de Absorção pelas Plantas (PUFs)

A Figura C-1 apresenta como o Dr. Hauck identificou, avaliou e selecionou os estudos para incluir na base de dados de PUF.

O Dr. Hauck fez uma revisão extensiva na literatura, baseando-se nas bibliotecas da Agro-law, do Tennessee Valley Authority (TVA) e da University of Alabama. Inicialmente, 11.700 artigos (incluindo duplicatas) foram identificados através de artigos de revisão, referência de livros e listas bibliográficas. Os artigos foram eliminados quando os títulos não continham informações relevantes. Especificamente, os artigos que pareciam avaliar culturas forrageiras, não alimentares ou alimentares colhidas antes da produção de alimentos foram excluídos da lista inicial. Aproximadamente 1.150 citações permaneceram para posterior exame como segue.

Em particular, os estudos que avaliaram a absorção pela planta em áreas que receberam adição de um resíduo (e.g., lodo de esgoto) foram considerados aplicáveis somente se eles atingissem critérios específicos.

1. O experimento incluiu uma parcela não tratada (controle) com rendimentos típicos de plantas. Parcelas controle com rendimento de plantas atipicamente baixos foram entendidos como inadequadamente fertilizados e, portanto, inapropriados para avaliar PUFs.
2. O lodo de esgoto tenha sido adicionado há muitos anos atrás e as concentrações de MOPC no solo tenham alcançado o equilíbrio.
3. No caso de aplicação de cinzas, estas foram adicionadas ao solo em níveis não tóxicos e, como no caso do lodo de esgoto, em situação em que já havia o equilíbrio com o solo.

Em adição, estudos foram excluídos da base de dados de PUF se fossem apresentadas quantidades insuficientes de informações úteis. Em particular, os estudos que não relataram concentrações totais de metal (ou, no mínimo dados suficientes para calcular a concentração total de metais no solo) foram excluídos da base de dados. Estes estudos tipicamente relatam concentrações extraíveis (ou

disponíveis para plantas) do solo. A concentração de MOPC disponível para plantas (i.e., extraível) no solo não se correlaciona bem com a concentração total de MOPC no solo, por causa do uso de diferentes métodos de extração e não é considerado um valor confiável para se estimar PUFs. Em geral, os PUFs desenvolvidos usando concentrações extraíveis de MOPCs são menores que as PUFs usando concentrações totais de MOPCs.

Em adição, estudos onde os métodos foram julgados inapropriados ou não aplicáveis para este cenário foram excluídos. Por exemplo, os estudos onde as taxas de aplicação de fertilizantes foram exageradas, em comparação com taxas de aplicação usadas na prática, foram excluídos da base de dados.

Pelo uso destes critérios de exame, a lista de estudos potencialmente úteis foi reduzida a 178 estudos e consiste de dados de estudos em casa de vegetação, lisímetro e campo dos EUA, Austrália, Europa e Canadá. Tipicamente, os dados de estudo de campo são preferidos porque a absorção pelas plantas de estudos de campo reflete melhor a absorção em culturas agrícolas. Geralmente, a absorção pelas plantas em estudos em casa de vegetação ou em vasos é maior que em estudos de campo. Geralmente estudos desse tipo foram incluídos na base de dados somente se as informações de estudos de campo foram consideradas limitadas a um MOPC em particular.

As condições de solo nesses estudos também cobrem uma ampla faixa de propriedades químicas e físicas, tais como coeficiente de partição solo-água (Kd), capacidade de troca de cátions e pH. Entretanto, acredita-se que a base de dados seja suficientemente grande (razão pela qual os estudos em casa de vegetação foram incluídos) para representar as médias nacionais. Finalmente, os estudos consistiram tanto de solos não adubados quanto de solos adubados, os quais parecem ter PUFs similares.

Para fins de consistência, todos os pontos de dados individuais de PUF são apresentados como peso seco. Para aqueles dados apresentados nos estudos que aparecessem como peso úmido, o Dr. Hauck usou informações do estudo para convertê-los de peso úmido para seco.

#### **Separação de Dados de PUF por Grupo de Culturas e Metal Potencialmente Perigoso (MOPC)**

Os dados de PUF foram separados por MOPC bem como por grupo de culturas. O Dr. Hauck agrupou os dados em conjuntos de informações para vegetais folhosos, vegetais com cabeça/talo, frutas, raízes/tubérculos/bulbos, legumes, frutos doces, milho e pequenos grãos. Entretanto, para permanecer consistente com os grupos de culturas identificados na análise de exposição, vários subgrupos de culturas foram combinados em um conjunto de dados. A Figura C-2 apresenta o agrupamento de dados de PUF em conjuntos de dados para cada grupo de culturas.

#### **Estimativa no Limite Superior para Cada Grupo de Culturas**

Um sumário estatístico de cada conjunto de dados é apresentado na Tabela C-1. Geralmente, os dados tiveram uma distribuição log-normal. A estatística básica e a forma da distribuição para cada um desses parâmetros é obtida usando-se um protocolo desenvolvido de acordo com as recomendações da USEPA (1992), as quais aderem a procedimentos estatísticos simples descritos em Gilbert (1987). O pacote de software Statistica® foi usado para fazer toda a estatística. O limite de confiança acima de 90% (UCL) da média geométrica é considerado o limite superior da estimativa de PUF e é usado no cálculo da RBC. Esses PUFs na Tabela C-1 estão em peso seco.

## REFERÊNCIAS (citadas no texto ou tabela)

Gilbert, R.O. 1987. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Hauck, R.D. PhD. 1999. Personal Communications with Dr. Hauck, a retired soil science expert.

Hauck, R.D. and Bystrom, M. 1999. *Soil-to-Plant Transfer Coefficients for 12 Chemical Elements of Concern and Radionuclides*. Prepared for The Weinberg Group Inc.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1992. *Framework for Ecological Risk Assessment*. EPA/630/R-92/001.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1999. *Estimating Risks from Contaminants Contained in Agricultural Fertilizers*. Washington, D.C.: Office of Solid Waste and Center for Environmental Analysis.

**REFERÊNCIAS** (referências de dados brutos de PUF. Os dados brutos não são apresentados neste apêndice, portanto, todas as referências não estão citadas neste apêndice. Entretanto, todas as referências foram usadas no desenvolvimento da base de dados de PUF).

Abdel-Sabour, M.F., Mortvedt, J.J., and Kelsoe, J.J. 1988. Cadmium-zinc interactions in plants and extractable cadmium and zinc fractions in soil. *Soil Science* 145:424-431.

Alloway, B.J. and Davies, B.E. 1971. Heavy metal content of plants growing on soils contaminated by lead mining. *Journal of Agricultural Science Cambridge* 76:321-323.

Andersson, A. and Hahlin, M. 1981. Cadmium effects from phosphorus fertilization in field experiments. *Swedish Journal of Agricultural Research* 11:3-10.

Andersson, A. and Nilsson, K.O. 1976. Influence on the levels of heavy metals in soil and plant from sewage sludge used as fertilizer. *Swedish Journal of Agricultural Research* 6:151-159.

Andersson, A. and Pettersson, O. 1981. Cadmium in Swedish winter wheat. Regional differences and their origin. *Swedish Journal of Agricultural Research* 11:49-55.

Arthur, M.A., Rubin, G., Schneider, R.E., and Weinstein, L.H. 1992. Uptake and accumulation of selenium by terrestrial plants growing on a coal fly ash landfill. Part I: Corn. *Environmental Toxicology and Chemistry* 11:541-547.

Arthur, M.A., Rubin, G., Woodbury, P.B., Schneider, R.E., and Weinstein, L. 1992. Uptake and accumulation of selenium by terrestrial plants growing on a coal fly ash landfill. Part 2. Forage and root crops. *Environmental Toxicology and Chemistry* 11:1289-1299.

Baerug, R. and Martinsen, J.H. 1977. The influence of sewage sludge on the content of heavy metals in potatoes and on tuber yield. *Plant and Soil* 47:407-418.

Barghigiani, C. and Ristori, T. 1994. Mercury levels in agricultural products of Mt. Amiata (Tuscany, Italy). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 26:329-334.

Baumhardt, G.R. and Welch, L.F. 1972. Lead uptake and corn growth with soil-applied lead. *Journal of Environmental Quality* 1:92-94.

Bassuk, N.L. 1986. Reducing lead uptake in lettuce. *Horticultural Science* 21:993-995. Bear, F.E. 1954. Progress report on research with particular reference to New Jersey soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2:244-251.

Bell, J.N.B., Minski, M.J., and Grogan, H.A. 1988. Plant uptake of radionuclides. *Soil Use and Management* 4:76-84

Bidwell, A.M. and Dowdy, R.H. 1987. Cadmium and zinc availability to corn following termination of sewage sludge applications. *Journal of Environmental Quality* 16:438-442.

Bingham, F.T., Sposito, G., and Strong, J.E. 1984. The effect of chloride on the availability of cadmium. *Journal of Environmental Quality* 13:71-74.

Bingham, F.T., Sposito, G., and Strong, J.E. 1986. The effect of sulfate on the availability of cadmium. *Soil Science* 141:172-177.

- Bingham, F.T. Strong, J.E., and Sposito, G. 1983. Influence of chloride salinity on cadmium uptake by Swiss chard. *Soil Science* 135:160-165.
- Bisbjerg, B. and Gissel-Nielsen, G. 1969. The uptake of applied selenium by plants. I. The influence of soil type and plant species. *Plant and Soil* 31:287-298.
- Bjerre, G.K. and Schierup, H. 1985. Uptake of six heavy metals by oat as influenced by soil type and additions of cadmium, lead, zinc, and copper. *Plant and Soil* 88:57-69.
- Brennan, R.F. 1994. The residual effectiveness of previously applied copper fertilizer for grain yield of wheat grown on soils of south-west. Australia. *Fertilizer Research* 39:11-18.
- CAST Report #64. 1976. Appendix Table 11: Zinc and Cd content of soil and corn grain with different applications of sewage sludge in field experiments by various investigators.
- Chang, A.C., Page, A.L., and Bingham, F.T. 1982. Heavy metal absorption by winter wheat following termination of cropland sludge applications. *Journal of Environmental Quality* 11:705-708.
- Chang, A.C., Page, A.L., Foster, K.W., and Jones, T.E. 1982. A comparison of cadmium and zinc accumulation by four cultivars of barley grown in sludge-amended soils. *Journal of Environmental Quality* 11:409-12.
- Chang, A.C., Page, A.L., Warneke, J.E., and Johanson, J.B. 1982. Effects of sludge application on the Cd, Pb and Zn levels of selected vegetable plants. *Hilgardia* 50(7):3-13.
- Chisholm, D. 1972. Lead, arsenic, and copper content of crops grown on lead arsenate- treated and untreated soils. *Canadian Journal of Plant Science* 5:583-588.
- Chlopecka, A. 1993. Forms of trace metals from inorganic sources in soils and amounts found in spring barley. *Water, Air, and Soil Pollution* 69:127.
- Chlopecka, A. 1996. Forms of Cd, Cu, Pb, and Zn in soil and their uptake by cereal crops when applied jointly as carbonates. *Water, Air, and Soil Pollution* 87:297-309.
- Cieslinski, G. and Mercik, S. 1993. Lead uptake and accumulation by strawberry plants. *Acta Horticulturae* No. 348:278-286.
- Cox, W.J. and Rains, D.W. 1972. Effect of lime on lead uptake by five plant species. *Journal of Environmental Quality* 1:167-169.
- Crews, H.M. and Davies, B.D. 1985. Heavy metal uptake from contaminated soils by six varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 105:591-595.
- Czuba, M. and Hutchinson, T.C. 1985. Copper and lead levels in crops and soils of the Holland Marsh area--Ontario. *Journal of Environmental Quality* 9:566-575.
- Dalenberg, J.W., and Van Driel, W. 1990. Contribution of atmospheric deposition to heavy-metal concentrations in field crops. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 38:369-379.
- Davies, B.E. and Ginnever, R.C. 1979. Trace metal contamination of soils and vegetables in Shipham, Somerset. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 93:753-756.

- Dedolph, R., Ter Haar, G., Holtzman, R., and Lucas, H., Jr. 1970. Sources of lead in perennial ryegrass and radishes. *Environmental Science & Technology* 4:217-223.
- Dixon, F.M., Preer, J.R., and Abdi, A.N. 1995. Metal levels in garden vegetables raised on biosolids amended soil. *Compost Science & Utilization* 3(2):55-63.
- Dudka, S., Piotrowska, M., and Chlopecka, A. 1994. Effect of elevated concentrations of Cd and Zn in soil on spring wheat yield and the metal contents of the plants. *Water, Air, and Soil Pollution* 76:333-341.
- Elfving, D.C., Bache, C.A., and Lisk, D.J. 1979. Lead content of vegetables, millet, and apple trees grown on soils amended with colored newsprint. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 27:138-140.
- Evans, E.J., and Dekker, A.J. 1963. The effect of potassium fertilization on the Sr-90 content of crops. *Canadian Journal of Soil Science* 43:309-315.
- Fleming, G.A. 1962. Selenium in Irish soils and plants. *Soil Science* 94:28-35. Fujimoto, G. and Sherman, G.D. 1951. Molybdenum content of typical soils and plants of the Hawaiian Islands. *Agronomy Journal* 43:424-429.
- Furr, A.K., Kelley, W.C., Bache, C.A., Gutenmann, W.H., and Lisk, D.J. 1976. Multielement uptake by vegetables and millet grown in pots on flyash-amended soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 24:885-888.
- Furr, A.K., Kelley, W.C., Bache, C.A., Gutenmann, W.H., and Lisk, D.J. 1976. Multielement absorption by crops grown in pots on municipal sludge-amended soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 24:889-892.
- Furr, A.K., Parkinson, T.F., Elfving, D.C., Gutenmann, W.H., Pakkala, I.S., and Lisk, D.J. 1979. Elemental content of apple, millet, and vegetables grown in pots of neutral soil amended with fly ash. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 27(1):135-138.
- Furr, A.K., Parkinson, T.F., Gutenmann, W.H., Pakkala, I.S., and Lisk, D.J. 1978. Elemental content of vegetables, grains, and forages field-grown on fly ash amended soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 26:357-359.
- Furr, A.K., Parkinson, T.F., Hinrichs, R.A., Van Campen, D.R., Bache, C.A., Gutenmann, W.H., Leigh, J.E., St., Jr., Pakkala, I.S., and Lisk, D.J. 1977. National survey of elements and radioactivity in fly ashes. Absorption of elements by cabbage grown in fly ash-soil mixtures. *Environmental Science & Technology* 11(13):1194-1201. Garcia, W.J.,
- Blessin, C.W., Inglett, G.E., and Carlson, R.O. 1974. Physical-chemical characteristics and heavy metal content of corn grown on sludge-treated strip-mine soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 22:810-815.
- Gavi, F., Basta, N.T., and Raun, W.R. 1997. Wheat grain cadmium as affected by long-term fertilization and soil acidity. *Journal of Environmental Quality* 26:265-271.
- Gaynor, J.D., Halstead, R.L. 1976. Chemical and plant extractability of metals and plant growth on soils amended with sludge. *Canadian Journal of Soil Science* 56:1-8.
- Giordano, P.M., Mays, D.A., and Behel, A.D., Jr. 1979. Soil temperature effect on uptake of cadmium and zinc by vegetables grown on sludge-amended soil. *Journal of Environmental Quality* 8(2):233-236.

- Gissel-Nielsen, G. 1973. Uptake and distribution of added selenite and selenate by barley and red clover as influenced by sulphur. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 24:649-655.
- Gissel-Nielsen, G. and Bisbjerg, B. 1970. The uptake of applied selenium by agricultural plants. 2. The utilization of various selenium compounds. *Plant and Soil* 32:382-396.
- Gladstones J.S. and Loneragan, J.F. 1967. Mineral elements in temperate crop and pasture plants. I. Zinc. *Australian Journal of Agricultural Research* 18:427-446.
- Gracey, H.J. and Stewart, J.W.B. 1974. Distribution of mercury in Saskatchewan soils and crops. *Canadian Journal of Soil Science* 54:105-108.
- Guns, M.F. 1987. Uptake of heavy metals by plants from urban refuse compost. In Wetz, E. and Szaboles, I. (eds.). *Agricultural Waste Management and Environmental Protection*, 4th International Symposium of CIEC Proceedings, vol. 1, p. 421-428.
- Gupta, U.C. 1970. Molybdenum requirement of crops grown on a sandy clay loam soil in the greenhouse. *Soil Science* 110:280-282.
- Gupta, U.C. 1971. Boron and molybdenum nutrition of wheat, barley and oats grown in Prince Edward Island soils. *Canadian Journal of Soil Science* 51:415-422.
- Gupta, U.C. and MacLeod, L.B. 1970. Response to copper and optimum levels in wheat, barley and oats under greenhouse and field conditions. *Canadian Journal of Soil Science* 50:373-378.
- Gupta, U.C., McRae, K.B., and Winter, K.A. 1982. Effect of applied selenium on the selenium content of barley and forages and soil selenium depletion rates. *Canadian Journal of Soil Science* 62:145-154.
- Gupta, U.C. and Winter, K.A. 1981. Long term residual effects of applied selenium on the selenium uptake by plants. *Journal of Plant Nutrition* 3:493-502.
- Gupta, U.C., Winter, K.A. 1975. Selenium content of soils and crops and the effects of lime and sulfur on plant selenium. *Canadian Journal of Soil Science* 55:161-166.
- Haghiri, F. 1973. Cadmium uptake by plants. *Journal of Environmental Quality* 2(1):93-96.
- Han, D.H., and Lee, J.H. 1996. Effects of liming on uptake of lead and cadmium by *Raphanus sativa*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 31:488-493.
- Harrison, H.C., Staub, J.E., and Simon, P.W. 1982. Lettuce, carrot and cucumber response to mineral stress environments. In Scaife, A. (ed.). *Plant Nutrition. Proceedings of the Ninth International Plant Nutrition Colloquium*. Warwick Univ., England. 1:215-220.
- He, Q.B. and Singh, B.R. 1994. Crop uptake of cadmium from phosphorus fertilizers: I. Yield and cadmium content. *Water, Air, and Soil Pollution* 74:251-265.
- Hill, A.C., Toth, S., and Bear, F.E. 1953. Cobalt status of New Jersey soils and forage plants and factors affecting the cobalt content of plants. *Soil Science* 76:273-284.
- Hinesly, T.D., Alexander, D.E., Redborg, K.E., and Ziegler, E.L. 1982. Differential accumulations of cadmium and zinc by corn hybrids grown on soil amended with sewage sludge. *Agronomy Journal* 74:469-474.

Hinesly, T.D., Alexander, D.E., Ziegler, E.L., and Barrett, G.L. 1978. Zinc and Cd accumulation by corn inbreds grown on sludge amended soil. *Agronomy Journal* 70:425-428.

Hinesly, T.D., Jones, R.L., Tyler, J.J., and Ziegler, E.L. 1976. Soybean yield responses and assimilation of Zn and Cd from sewage sludge-amended soil. *Journal of the WPCF* 48:2137-2152.

Hinesly, T.D., Jones, R.L., and Ziegler, E.L. 1972. Effects on corn by applications of heated anaerobically digested sludge. *Compost Science* 13(3):26-30.

Hinesly, T.D., Jones, R.L., Ziegler, E.L. and Tyler, J.J. 1977. Effects of annual and accumulative applications of sewage sludge on assimilation of zinc and cadmium by corn (*Zea mays* L.). *Environmental Science & Technology* 11(2):182-188.

Hinesly, T.D., Ziegler, E.L. and Barrett, G.L. 1979. Residual effects of irrigating corn with digested sewage sludge. *Journal of Environmental Quality* 8:35-38.

Hooda, P.S., McNulty, D., Alloway, B.J., and Aitken, M.N. 1997. Plant availability of heavy metals in soils previously amended with heavy applications of sewage sludge. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 73:446-454.

Hutchinson, T.C., Czuba, M., and Cunningham, L. 1974. Lead, cadmium, zinc, copper and nickel distributions in vegetables and soils of an intensely cultivated area and levels of copper, lead and zinc in the growers. In Hemphill, D.D. (ed.). *Trace Substances in Environmental Health-VIII. Proceedings of University of Missouri 8th Annual Conference on Trace Substances in Environmental Health.*

Hyde, H.C., Page, A.L. Bingham, F.T., and Mahler, R.J. 1979. Effect of heavy metals in sludge on agricultural crops. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 51:2475-2486.

Jacobs, L.W., Keeney, D.R., and Walsh, L.M. 1970. Arsenic residue toxicity to vegetable crops grown on Plainfield sand. *Agronomy Journal* 62:588-591.

Jinadasa, K.B.P.N., Milham, P.F., Hawkins, C.A., Cornish, P.S., Williams, P.A., Kaldor, C.J., and Conroy, J.P. 1997. Survey of cadmium levels in vegetables and soils of Greater Sydney, Australia. *Journal of Environmental Quality* 26:924-933.

John, M.K. 1972. Uptake of soil-applied cadmium and its distribution in radishes. *Canadian Journal of Plant Science* 52:715-719.

John, M.K. 1973. Cadmium uptake by eight food crops as influenced by various soil levels of cadmium. *Environmental Pollution* 4:7-15.

Johnsson, L. 1991. Selenium uptake by plants as a function of soil type, organic matter content and pH. *Plant and Soil* 133:57-64.

Jones, J.S., Hatch, M.B. 1945. Spray residues and crop assimilation of arsenic and lead. *Soil Science* 59:277-288.

Jones, R.L., Hinesly, T.D., Ziegler, E.L., and Tyler, J.J. 1975. Cadmium and zinc contents of corn leaf and grain produced by sludge-amended soil. *Journal of Environmental Quality* 4:509-514.

Khan, D.H. and Frankland, B. 1983. Effects of cadmium and lead on radish plants with particular reference to movement of metals through soil profile and plant. *Plant and Soil* 70:335-345.

- Kirkham, M.B. 1975. Trace elements in corn grown on long-term sludge disposal site. *Environmental Science & Technology* 9:765-768.
- Kofoed, A.D. 1980. Copper and its utilization in Danish agriculture. *Fertilizer Research* 1:63-71.
- Kornegay, E.T., Hedges, J.D., Martens, D.C. and Kramer, C.Y. 1976. Effect on soil and plant mineral levels following application of manures of different copper contents. *Plant and Soil* 48:151-162.
- LaConde, K.V., Lofy, R.J., and Stearns, R.P. 1978. Municipal sludge agricultural utilization practices; an environmental assessment. Vol. I. U. S. EPA Office of Solid Waste Management Report SW-709. *Plant Physiology* 75-76, 84-85, 94, 96, 110-111, 115-116, 120, 123.
- Lagerwerff, J.V. 1971. Uptake of cadmium, lead and zinc by radish from soil and air. *Soil Science* 111:129-133.
- Larsen, K.E. 1983. Cadmium content in soil and crops after use of sewage sludge. In Berglund, S., Davis, R.D., and L'Hermito, P. (eds.). *Utilisation of Sewage Sludge on Land: Rates of Application and Long-Term Effects of Metals*. Proceedings of a Seminar Held at Uppsala Boston: D. Reidel Publishing Company 157-165.
- Latterell, J.J., Dowdy, R.H. Larson, W.E. 1978. Correlation of extractable metals and metal uptake of snap beans grown on soil amended with sewage sludge. *Journal of Environmental Quality* 7:435-440.
- Logan, T.J., Goins, L.E., and Lindsay, B.J. 1997. Field assessment of trace element uptake by six vegetables from N-Viro soil. *Water Environment Research* 69:28-33.
- Lönsjö, H. 1983. Isotope-aided studies on crop uptake of cadmium under Swedish field conditions. In *Utilisation of Sewage Sludge on Land: Rates of Application and Long-Term Effects of Metals*. 135-145.
- Lucas, R.E. 1945. The effect of the addition of sulfates of copper, zinc, and manganese on the absorption of these elements by plants grown on organic soils. *Soil Science Society Proceedings* 10: 269-274.
- Lund, L.J. Betty, E.E., Page, A.L., and Elliott, R.A. 1981. Occurrence of naturally high cadmium levels in soils and its accumulation by vegetation. *Journal of Environmental Quality* 10:551-556.
- MacKay, D.C., Chipman, E.W., Gupta, U.C. 1966. Copper and molybdenum nutrition of crops grown on acid sphagnum peat soil. *Soil Science Society of America, Proceedings* 30:755-759.
- MacLean, A.J. 1976. Cadmium in different plant species and its availability in soils as influenced by organic matter and additions of lime, P, Cd, and Zn. *Canadian Journal of Soil Science* 56:129-138.
- MacLean, A.J., Halstead, R.L., Finn, B.J. 1969. Extractability of added lead in soils and its concentration in plants. *Canadian Journal of Soil Science* 49:327-334.
- MacLean, K.S., Langille, W.M. 1973. Heavy metal studies of crops and soils in Nova Scotia. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 4:495-505.
- Mbagwu, S.C. 1983. Selenium concentration in crops grown on low-selenium soils as affected by fly-ash amendment. *Plant and Soil* 74:75-81.
- McGrath, S.P. 1985. The effects of increasing yields on the macro- and microelement concentrations and offtakes in the grain of winter wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36:1073-1083.

- McIntyre, D.R.; Silver, W.J.; and Griggs, K.S. 1977. Trace element uptake by field-grown food plants fertilized with wastewater sewage sludge. *Compost Science* 18(3):22-29.
- Mikkelsen, R.L., Mikkelsen, D.S., and Abshahi, A. 1989. Effects of soil flooding on selenium transformations and accumulation by rice. *Soil Science Society of America Journal* 53:122-127.
- Million, J.B., Sartain, J.B., Gonzalez, R.X., and Carrier, W.D., III. 1994. Radium-226 and calcium uptake by crops grown in mixtures of sand and clay tailings from phosphate mining. *Journal of Environmental Quality* 23:671-676.
- Mortvedt, J.J. 1987. Cadmium levels in soils and plants from some long-term soil fertility experiments in the United States of America. *Journal of Environmental Quality* 16, 137-142.
- Mortvedt, J.J., Mays, D.A., and Osborn, G. 1981. Uptake by wheat of cadmium and other heavy metal contaminants in phosphate fertilizers. *Journal of Environmental Quality* 10: 193-197.
- Mortvedt, J.J. and Osborn, G. 1982. Studies on the chemical form of cadmium contaminants in phosphate fertilizers. *Soil Science* 134:185-192.
- Motto, H.L.K., Daines, R.H., Chilko, D.M., and Motto, C.K. 1970. Lead in soils and plants: Its relationship to traffic volume and proximity to highways. *Environmental Science & Technology* 4:231-237.
- Mulla, D.J., Page, A.L., and Ganje, T.J. 1980. Cadmium accumulations and bioavailability in soils from long-term phosphate fertilization. *Journal of Environmental Quality* 9:408-412.
- Munshower, F.F. 1977. Cadmium accumulation in plants and animals of polluted and nonpolluted grasslands. *Journal of Environmental Quality* 6:411-413.
- Myhre, D.L., Menzel, R.G., Roberts, H.Jr., Frere, M.H., Amemiya, M., Beale, O.W., Timmons, D.R., and Wood, E.H. 1964. Reduction of strontium-90 uptake by corn and soybeans with deep placement, irrigation, and soil amendments. *Agronomy Journal* 56:463-467.
- Naylor, L.M., Barmasse, M., Loehr, R.C. 1987. Uptake of cadmium and zinc by corn on sludge-treated soils. *Biocycle* 28:37-41.
- Nelson, L.G., Berger, K.C. and Andries, H.J. 1956. Copper requirements and deficiency symptoms of a number of field and vegetable crops. *Soil Science Society of America, Proceedings* 20:69-72.
- Nicklow, C.W., Comas-Haezebrouck, P.H., and Feder, W.A. 1983. Influence of varying soil lead levels on lead uptake of leafy and root vegetables. *Journal of the American Horticultural Society* 108:193-195.
- Nwosu, J.U., Harding, A.K., and Linder, G. 1995. Cadmium and lead uptake by edible crops grown in a silt loam soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 54:570-578.
- Page, A.L., Chang, A.C., and El-Amamy, M. 1987. Cadmium levels in soils and crops in the United States. In Hutchinson, T.C. and Meema, K.M. (eds.). *Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment*. SCOPE. New York: John Wiley & Sons. 119-146.
- Pasricha, N.C., Randhawa, N.S. 1972. Interaction effect of sulphur and molybdenum on the uptake and utilization of these elements by raya (*Brassica juncea* L.). *Plant and Soil* 37:215-220.

- Pietz, R.I., Vetter, R.J., Masarik, D., and McFee, W.W. 1978. Zinc and cadmium contents of agricultural soils and corn in northwestern Indiana. *Journal of Environmental Quality* 7(3):381-385.
- Preer, J.R., Sekhon, H.S., Stephens, B.R., and Collins, M.S. 1980. Factors affecting heavy metal content of garden vegetables. *Environmental Pollution (Series B)* 1:95-104.
- Reed, J., Fielding and Sturgis, M.B. 1936. Toxicity from arsenic compounds to rice on flooded soils. *Journal of the American Society of Agronomy* 28:432-436.
- Reuss, J.O., Dooley, H.L., and Griffis, W. 1978. Uptake of cadmium from phosphate fertilizers by peas, radishes, and lettuce. *Journal of Environmental Quality* 7: 128-133.
- Robinson, W.O. and Edgington, G. Availability of soil molybdenum as shown by the molybdenum content of many different plants. *Soil Science* 77: 237-251.
- Romney, E.M., Ehrler, W.L., Lange, A.H., and Larson, K.H. 1960. Some environmental factors influencing radiostrontium uptake by plants. *Plant and Soil* 12:41-48.
- Sabey, B.R. and Hart, W.E. 1975. Land application of sewage sludge: I. Effect on growth and chemical composition of plants. *Journal of Environmental Quality* 4:252-256.
- Saha, J.F., Lee, Y.W., Tinline, R.D., Chinn, S.H.F., and Austenson, H.M. 1970. Mercury residues in cereal grains from seeds or soil treated with organomercury compounds. *Canadian Journal of Plant Science* 50:597-599.
- Semu, E., Sing, B.R., Selmer-Olsen, A.R., and Steenberg, K. 1985. Uptake of Hg from <sup>203</sup>Hg-labeled mercury compounds by wheat and beans grown on an oxisol. *Plant and Soil* 87:347-355.
- Shane, B.S., Littman, C.B., Essick, L.A., Gutenmann, W.H., Doss, G.J., and Lisk, D.J. 1988. Uptake of selenium and mutagens by vegetables grown in fly ash containing greenhouse media. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 36:328-333.
- Sharma, B.D., Takkar, P.N., and Sadana, U.S. 1982. Evaluation of levels and methods of zinc application to rice in sodic soils. *Fertilizer Research* 3:161-167.
- Sharma, B.D., Yadvinder, S., and Bijay, S. 1988. Effect of time of application on the effectiveness of zinc sulphate and zinc oxide as sources of zinc for wheat. *Fertilizer Research* 17:147-151.
- Sheppard, S.C. and Evenden, W.G. 1992. Response of some vegetable crops to soil- applied halides. *Canadian Journal of Soil Science* 72:555-567.
- Sheppard, S.C., Evenden, W.G., and Pollock, R.J. 1989. Uptake of natural radionuclides by field and garden crops. *Canadian Journal of Soil Science* 69:751-767.
- Shukla, U.C. and Singh, N. 1979. Phosphorus-copper relationship in wheat. *Plant and Soil* 53:399-402.
- Sims, J. Thomas. 1986. Soil pH effect on the distribution and plant availability of manganese, copper, and zinc. *Soil Science Society of America Journal* 50:367-373.
- Singh, B.R. 1994. Effect of selenium-enriched calcium nitrate, top-dressed at different growth stages, on the selenium concentration in wheat. *Fertilizer Research* 38:199-203.

- Singh, B.R., Narwal, R.P., Jeng, A.S., and Almas, A. 1995. Crop uptake and extractability of cadmium in soils naturally high in metals at different pH levels. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26(13&14):2123-2142.
- Singh, M.V. and Abrol, I.P. 1985. Direct and residual effect of fertilizer zinc application on the yield and chemical composition of rice-wheat crops in an alkali soil. *Fertilizer Research* 8:179-191.
- Singh, M. and Kumar, V. 1979. Sulfur, phosphorus, and molybdenum interactions on the concentration and uptake of molybdenum in soy-bean plants (*Glycine max*). *Soil Science* 127:307-312.
- Singh, S. Shah. Uptake of cadmium by lettuce (*Lactuca sativa*) as influenced by its addition to a soil as inorganic forms or in sewage sludge. *Canadian Journal of Soil Science* 61: 19-28.
- Sloan, J.J., Dowdy, R.H., Dolan, M.S., and Linden, D.R. 1997. Long-term effects of biosolids applications on heavy metal bioavailability in agricultural soils. *Journal of Environmental Quality* 26:966-974.
- Smilde, K.W., Van Luit, B., and Van Driel, W. 1992. The extraction by soil and absorption by plants of applied zinc and cadmium. *Plant and Soil* 143:233-238.
- Spittler, T.M. and Feder, W.A. 1979. A study of soil contamination and plant lead uptake in Boston urban gardens. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 10:1195-1210.
- Staker, E.V. and Cummings, R.W. 1941. The influence of zinc on the productivity of certain New York peat soils. *Soil Science Society Proceedings* 6:207-214.
- Subcommittee on Zinc, Committee on Medical and Biologic Effects of Environmental Pollutants. 1979. Division of Medical Sciences, Assembly of Life Science, National Research Council. University Park Press, Baltimore 78-86.
- Takijima, Y. and Katsumi, F. 1973. Cadmium contamination of soils and rice plants caused by zinc mining. IV. Use of soil amendment materials for the control of Cd uptake by plants. *Soil Science and Plant Nutrition* 19: 235-244.
- Ter Haar, G. 1970. Air as source of lead in edible crops. *Environmental Science & Technology* 4:226-229.
- Valdares, J.M.A.S., Gal, M., Mingelgrin, U., and Page, A.L. 1983. Some heavy metals in soils treated with sewage sludge, their effects on yield, and their uptake by plants. *Journal of Environmental Quality* 12:49-57.
- Wan, H.F., Mikkelsen, R.L., and Page, A.L. 1988. Selenium uptake by some agricultural crops from central California soils. *Journal of Environmental Quality* 17:269-272.
- Warren, H.V., Delavault, R.E., Fletcher, K., and Wilks, E. 1970. Variations in the copper, zinc, lead, and molybdenum content of some British Columbia vegetables. In Hemphill, D.D. (ed.). *Trace Substances in Environmental Health – IV. Proceedings of University of Missouri's 4th Annual Conference on Trace Substances in Environmental Health*.
- Wells, K.L., Henson, G., and Kelley, G. 1993. Content of some heavy metals in soil and corn grain. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 24:2617-2628.
- Wiersma, D., vanGoor, B.J., van der Veen, and Nicholaas G. 1986. Cadmium, lead, mercury, and arsenic concentrations in crops and corresponding soils in the Netherlands. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 34:1067-1074.

Wijesundara, C., Reed, S.T., McKenna, J.R., Martens, D.C., and Donohue, S.J. 1991. Response of corn to long-term copper and zinc applications on diverse soils. *Journal of Fertilizer Issues* 8:63-68.

Williams, C.H. and David, D.J. 1976. The accumulation in soil of cadmium residues from phosphate fertilizers and their effect on the cadmium content of plants. *Soil Science* 121:86-93.

Williams, C.H. and David, D.J. 1973. The effect of superphosphate on the cadmium content of soils and plants. *Australian Journal of Soil Research* 11:43-56.

Williams, R.J.B., Stojkovska, A., Cooke, G.W., and Widdowson, F.V. 1960. Effects of fertilizers and farmyard manure on the copper, manganese, molybdenum and zinc removed by arable crops at Rothamsted. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 11:570-575.

Xian, X. 1989. Effect of chemical forms of cadmium, zinc, and lead in polluted soils on their uptake by cabbage plants. *Plant and Soil* 113:257-264.

Yuran, G.T. and Harrison, H.C. 1986. Effects of genotype and sewage sludge on cadmium concentration in lettuce leaf tissue. *Journal of the American Horticultural Society* 111:491-494.



**TABELA C-1**  
**SUMÁRIO ESTATÍSTICO PARA CONJUNTOS DE DADOS DE FATOR**  
**DE ABSORÇÃO PELA PLANTA (PUF) (a) PARA CADA GRUPO DE CULTURAS**  
**E METAL DE POTENCIALMENTE PERIGOSO (MOPC)**

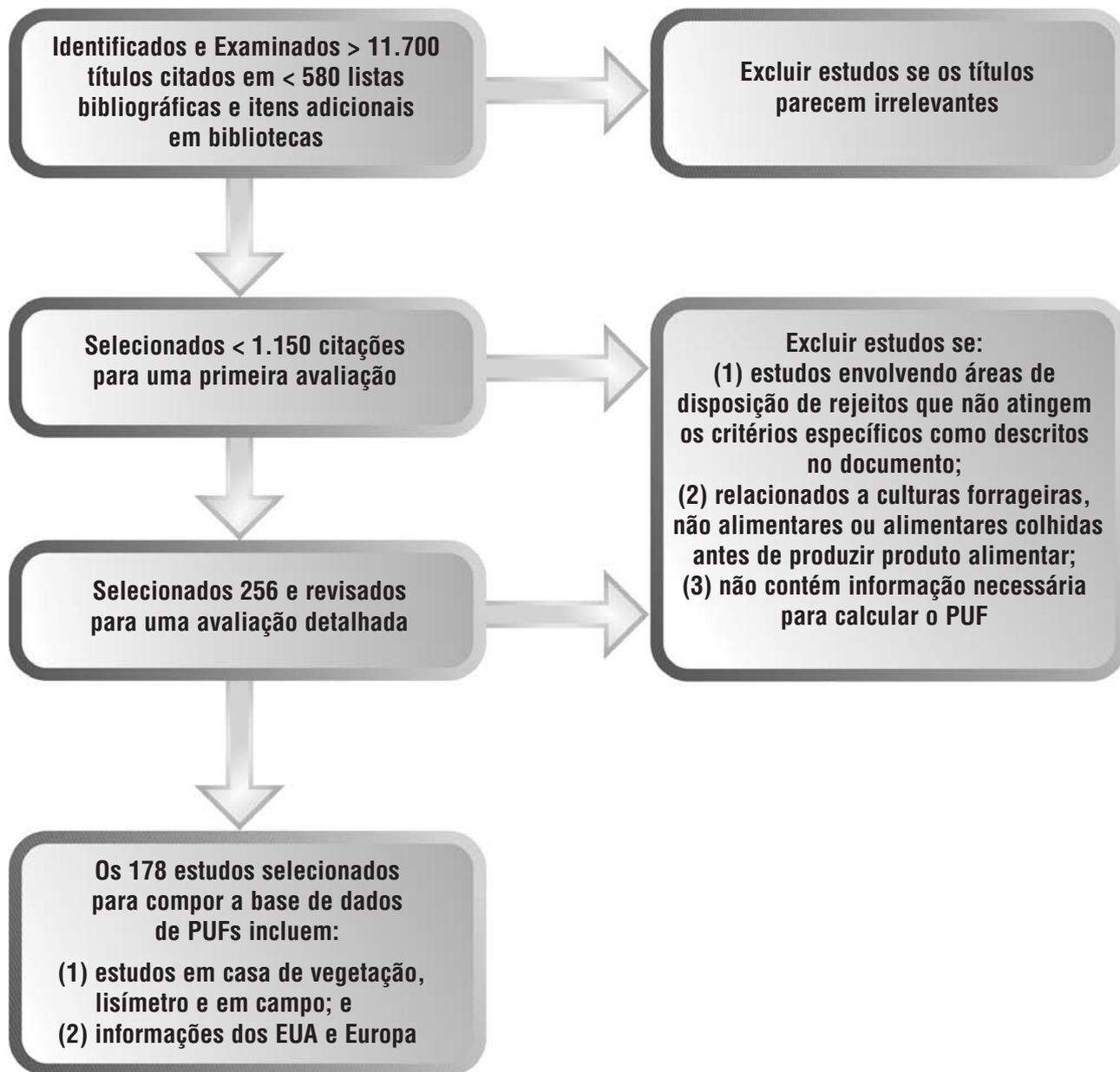
<b>Grupo de Culturas e MOPC</b>	<b>Número de Dados</b>	<b>Média Geométrica dw</b>	<b>Desvio Padrão Geométrico dw</b>	<b>Valor Mínimo dw</b>	<b>Valor máximo dw</b>	<b>Limite de Confiança superior (UCL) a 90% dw (b)</b>
<b>Vegetais</b>						
Arsênio	28	0,14	11	0,00086	3	0,3
Cádmio	174	1,32	7,8	0,0012	75	1,7
Cromo (c)	95	0,001	11	0,000012	0,069	0,0014
Cobalto	11	0,028	3,3	0,0093	0,45	0,05
Cobre	69	0,26	3,8	0,014	6,6	0,034
Chumbo	93	0,055	6,2	0,00018	6	0,08
Mercurio	10	0,18	8,1	0,0071	2,3	0,61
Molibdênio	50	0,73	5,7	0,02	19	1,1
Níquel	27	0,1	3,8	0,015	0,86	0,15
Selênio	59	0,56	7,9	0,0067	120	0,88
Vanádio (d)	21	0,0048	3,2	0,0017	0,014	0,007
Zinco	135	1,3	6,8	0,067	58	1,7
<b>Raízes</b>						
Arsênio	22	0,024	6,4	0,018	30,56	0,05
Cádmio	96	0,68	6,2	0,0046	23	0,93
Cromo (c)	6	0,00066	3,7	0,000076	0,0023	0,0014
Cobalto	12	0,016	3,2	0,0026	0,13	0,03
Cobre	107	0,18	3,9	0,0095	6	0,22
Chumbo	142	0,039	4,3	0,00071	2,6	0,05
Mercurio	14	0,23	9,6	0,003	3	0,67
Molibdênio	33	0,1	3,8	0,011	3,2	0,15
Níquel	31	0,049	3,4	0,0042	0,67	0,07
Selênio	58	0,43	13	0,0093	110	0,76
Vanádio (d)	21	0,0048	3,2	0,0017	0,014	0,007
Zinco	83	0,35	4,8	0,0093	70	0,46
<b>Grãos</b>						
Arsênio	11	0,015	3,7	0,002	0,069	0,03
Cádmio	162	0,093	9,2	0,00013	22	0,12
Cromo (c)	39	0,03	2,2	0,00046	0,083	0,037
Cobalto	9	0,0087	3,9	0,0013	0,093	0,02
Cobre	57	0,23	3,7	0,015	16	0,31
Chumbo	73	0,043	3,3	0,00065	1,6	0,05
Mercurio	7	0,078	5,1	0,0044	0,48	0,26
Molibdênio	13	0,14	2,5	0,025	0,48	0,22
Níquel	65	0,041	2,7	0,0017	1,4	0,05
Selênio	137	0,43	7,2	0,013	25	0,57
Vanádio (d)	21	0,0048	3,2	0,0017	0,014	0,007
Zinco	124	0,5	2,8	0,021	6,4	0,58

Notas:

dw = peso seco

- (a) Cada conjunto de dados é geralmente distribuído de forma log-normal. A distribuição e a estatística são baseadas em um protocolo desenvolvido de acordo com as recomendações da USEPA (1992), as quais aderem a procedimentos estatísticos simples descritos em Gilbert (1987). O software Statistica foi usado.
- (b) O limite de confiança (UCL) acima de 90% da média geométrica é considerado uma estimativa no limite superior de PUF.
- (c) Os dados de PUF de cromo para vegetais e raízes são baseados em dados da USEPA (1999).
- (d) Dados aplicáveis limitados estão disponíveis para PUFs de vanádio, portanto, os dados são baseados em culturas forrageiras da USEPA (1999).

**FIGURA C-1**  
**PROCEDIMENTO PARA IDENTIFICAR E SELECIONAR ESTUDOS PARA**  
**O DESENVOLVIMENTO DE FATORES DE ABSORÇÃO PELAS PLANTAS (PUFs)**



Nota: todos os dados usados para calcular os PUFs estão em peso seco (convertido a peso seco se o estudo relata em peso úmido).

**FIGURA C-2**  
**REAGRUPAMENTO DE CULTURAS PARA CALCULAR**  
**OS FATORES DE ABSORÇÃO PELAS CULTURAS (PUFs)**

