

## Etrace Express: programa para análise de risco de elementos-traço em fertilizantes inorgânicos – manual e guia de referência



**Embrapa**

**UFV**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

# Etrace Express

© 2010. Todos os direitos reservados.

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Cerrados  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## ***Documentos 290***

# **Etrace Express: programa para análise de risco de elementos-traço em fertilizantes inorgânicos – manual e guia de referência**

*Giuliano Marchi  
Luiz Roberto Guimarães Guilherme  
Alexandre Beserra da Silva  
Veridiana Cardozo Gonçalves  
Paulo Jorge de Pinho  
Maria Aparecida Pereira Pierangeli  
Ozanival Dario Dantas*

Embrapa Cerrados  
Planaltina, DF  
2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

### **Embrapa Cerrados**

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

[sac@cpac.embrapa.br](mailto:sac@cpac.embrapa.br)

### **Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: *Fernando Antônio Macena da Silva*

Secretária-Executiva: *Marina de Fátima Vilela*

Secretária: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Jussara Flores de Oliveira Arbués*

Equipe de revisão: *Francisca Elijani do Nascimento*

*Jussara Flores de Oliveira Arbués*

Assistente de revisão: *Elizelva de Carvalho Menezes*

Normalização bibliográfica: *Paloma Guimarães Correa de Oliveira*

Editoração eletrônica: *Wellington Cavalcanti*

Capa: *Wellington Cavalcanti*

Foto(s) da capa: *Arquivo Embrapa Cerrados*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Sousa*

*Alexandre Moreira Veloso*

### **1ª edição**

1ª impressão (2010): tiragem 100 exemplares

Edição online (2010)

### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

#### **Embrapa Cerrados**

---

E85 Etrace Express: programa para análise de risco de elementos-traço em fertilizantes inorgânicos – manual e guia de referência / Giuliano Marchi [et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2010.

31 p.— (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111, ISSN online 2176-5081 ; 290).

1. Solo - contaminação. 2. Metal pesado. 3. Agricultura. I. Marchi, Giuliano. II. Série.

631.4 - CDD 21

---

© Embrapa 2010

# **Autores**

## **Giuliano Marchi**

Engenheiro Agrônomo, D.Sc.  
Pesquisador da Embrapa Cerrados  
giuliano.marchi@cpac.embrapa.br

## **Luiz Roberto Guimarães Guilherme**

Engenheiro Agrônomo, Ph.D.  
Professor Associado da Universidade Federal de  
Lavras (UFLA)  
Departamento de Ciência do Solos (DCS),  
Campus da UFLA, Caixa Postal 3037,  
37200-000, Lavras, MG  
guilherm@dcs.ufla.br

## **Alexandre Beserra da Silva**

Bolsista de Iniciação Científica do CNPq na  
Embrapa Cerrados  
Graduando na União Pioneira de Integração Social  
(UPIS)  
ale.beserra@gmail.com.br

**Veridiana Cardozo Gonçalves**

Engenheira Agrônoma, D.Sc.

Bolsista de Pós-doutorado da FAPEMIG

Universidade Federal de Lavras

Campus Universitário da UFLA – Departamento de  
Ciência do Solo

vericg79@yahoo.com.br

**Paulo Jorge de Pinho**

Engenheiro Agrônomo, D.Sc.

Bolsista de Pós-doutorado da FAPEMIG

Universidade Federal de Lavras

Campus Universitário da UFLA

pinhopj@yahoo.com.br

**Maria Aparecida Pereira Pierangeli**

Engenheira Agrônoma, D.Sc.

Professora Adjunta da Universidade do Estado  
de Mato Grosso (UNEMAT) – Departamento de

Zootecnia/Mestrado em Ciências Ambientais,

Doutora em Solos e Nutrição de Plantas

BR 174, KM 209, Pontes e Lacerda-MT

mappierangeli@gmail.com

**Ozanival Dario Dantas**

Cientista da Computação, M.Sc.

Analista da Embrapa Cerrados

dario@cpac.embrapa.br

# Apresentação

Os elementos-traço estão presentes em solos, sedimentos e sistemas aquáticos normalmente em baixas concentrações. Alguns insumos agrícolas ou subprodutos usados com finalidade corretiva ou nutricional na agricultura representam uma possível fonte desses elementos e podem levar, ao longo dos anos, a uma elevação perigosa da concentração de elementos-traço no ambiente, que podem chegar a níveis tóxicos. Mesmo que os teores desses elementos nos solos não alcancem valores alarmantes, podem permanecer em formas biodisponíveis e (ou) bioacessíveis por muitos anos. Dessa forma, alimentos produzidos em áreas com teores elevados de elementos-traço podem conter teores de cádmio, cromo, zinco, entre outros, acima dos recomendáveis para alimentação humana. Os efeitos toxicológicos relacionados à ingestão de alimentos contendo elementos-traço em humanos são conhecidos e, para evitar a contaminação de áreas de produção de alimentos pela adição de doses sucessivas de insumos agropecuários com teores elevados de elementos-traço, são necessárias que sejam seguidas normas baseadas em análises de risco no que diz respeito a limites aceitáveis de contaminantes nesses insumos.

A metodologia usada em Guilherme e Marchi (2007) para desenvolver concentrações baseadas em risco é baseada em um cálculo inverso dos riscos à saúde que é o padrão para avaliações de níveis orientadores

de risco. Esse cálculo busca estimar a concentração limite do elemento-traço no fertilizante para a qual os riscos à saúde são aceitáveis. O programa Etrace Express, desenvolvido pela Embrapa Cerrados e Universidade Federal de Lavras, realiza o cálculo de risco à saúde para 12 elementos-traço em fertilizantes fosfatados e fontes de zinco após sua aplicação em diversos cenários de exposição. A agilidade de cálculo e a possibilidade de personalização do programa tornam essa ferramenta de grande utilidade para técnicos envolvidos com a questão do conteúdo de elementos-traço presentes em fertilizantes.

*José Robson Bezerra Sereno*  
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

# Sumário

Introdução.....	9
Avaliação de Risco à Saúde .....	10
Entrada de Dados.....	11
Equação de Concentração Baseada em Risco (RBC ) .....	23
Etrace Express .....	24
Referências .....	29
Abstract.....	30
Resumo .....	31

# Etrace Express: programa para análise de risco de elementos-traço em fertilizantes inorgânicos – manual e guia de referência<sup>1</sup>

*Giuliano Marchi; Luiz Roberto Guimarães Guilherme; Alexandre Beserra da Silva; Veridiana Cardozo Gonçalves; Paulo Jorge de Pinho; Maria Aparecida Pereira Pierangeli; Ozanival Dario Dantas*

## Introdução

Elementos-traço estão presentes como contaminantes. Entretanto, alguns elementos-traço (e.g., Zn, Cu, Fe e Mn) são nutrientes de plantas e são incluídos intencionalmente nas formulações de fertilizantes. Sabe-se que a exposição a altos níveis de elementos-traço (nutrientes ou não) pode colocar a saúde humana em risco. Esse risco pode ser estimado por modelos de avaliação. Este trabalho apresenta o programa Etrace Express, que é uma ferramenta para se calcular Concentrações Baseadas em Risco (RBCs) de elementos-traço em fertilizantes que sugere limites seguros para seu uso agrícola agrícola. Esse programa usa o modelo de cálculo apresentado no documento intitulado *Health Risk Evaluation of Selected Metals in Inorganic Fertilizers Post Application*, preparado pelo *The Fertilizer Institute* (TFI) para o cenário Norte Americano. O programa Etrace Express é a segunda geração entre as versões de um pacote que ainda está em desenvolvimento. Foi desenvolvido com o uso da plataforma DELPHI 2007 para sua programação, de forma que tem uma interface amigável e comandos simples de se entender. A principal proposta deste programa é a de calcular valores para a concentração

---

<sup>1</sup> Resultados dos projetos 578674/2008-4 e 578647/2008-7, CNPq.

de elementos-traço em fertilizantes inorgânicos que possam, com flexibilidade, sugerir limites a serem considerados pelos órgãos reguladores que visam a proteção da saúde humana nos cenários atuais do uso de fertilizantes, tanto no Brasil quanto no exterior.

Para validar os cálculos realizados pelo Etrace Express, foram realizados testes a partir dos dados publicados no documento do TFI. Os resultados foram idênticos aos originalmente publicados naquele documento, de forma que o programa faz todos os cálculos corretamente. Para o cenário brasileiro, o programa calculou RBCs com dados levantados por Guilherme e Marchi (2007), cujos resultados indicaram que os elementos-traço não representam riscos à saúde quando se considera o aporte ao solo por meio da adição de fertilizantes. Este manual traz informações de uso e dados organizados que visam facilitar a operação do programa. Além disso, estão incluídos dados recentes de uma nova revisão (atualizados em 2010) sobre os Fatores de Absorção por Plantas (PUF) para os diversos grupos de vegetais e de coeficientes de partição solo-água (Kd) para vários dos elementos-traço abordados neste manual. Acrescenta-se que o este documento não visa a explicação detalhada dos fundamentos e variáveis envolvidas nessa análise de risco, de forma que o leitor/ usuário deve buscar a publicação de Guilherme e Marchi (2007) para esse fim.

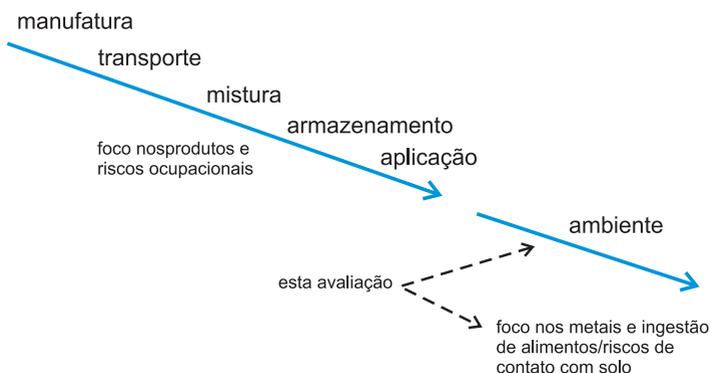
## **Avaliação de Risco à Saúde**

A avaliação de risco à saúde está relacionada à última parte do ciclo de vida dos fertilizantes, i.e., após sua aplicação (Figura 1). Portanto, essa avaliação considera a exposição via solo (absorção pela pele e ingestão não intencional) e ingestão de alimentos produzidos em solos fertilizados, mas não a exposição ao fertilizante (ingestão, absorção pela pele e inalação) durante seu manuseio (Figura 2). O escopo da avaliação tem foco nos fertilizantes, elementos-traço e cenários de exposição de maior preocupação (Figura 3). A avaliação considera como alvo um residente rural, não um morador urbano, pois os

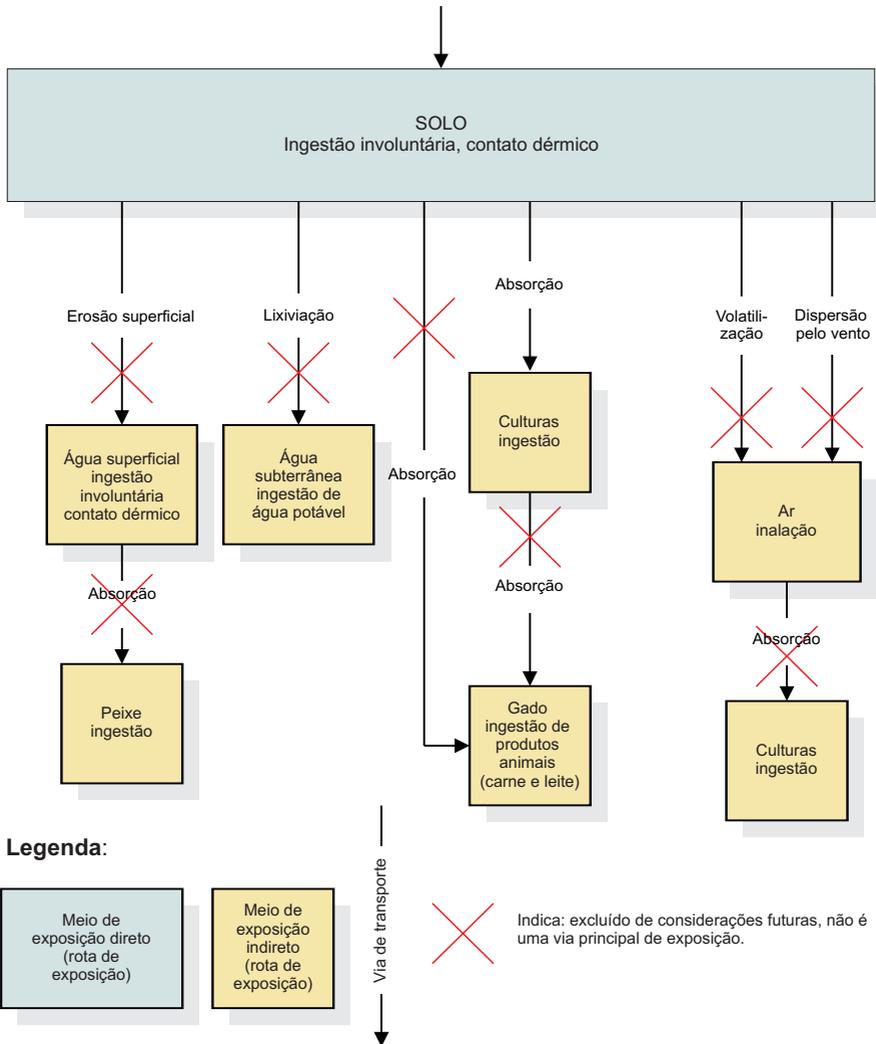
primeiros estão em maior risco (mais vias de exposição: ingestão não intencional de solo e contato dérmico), além da ingestão de produtos colhidos em solos fertilizados. A comparação da mais baixa RBC à máxima concentração de um elemento-traço fornece a estimativa mais protetora da saúde. Se a concentração de um elemento-traço no fertilizante está abaixo da RBC, não há risco à saúde. Se a concentração de um elemento-traço está acima da RBC, então uma avaliação mais detalhada é necessária.

## Entrada de Dados

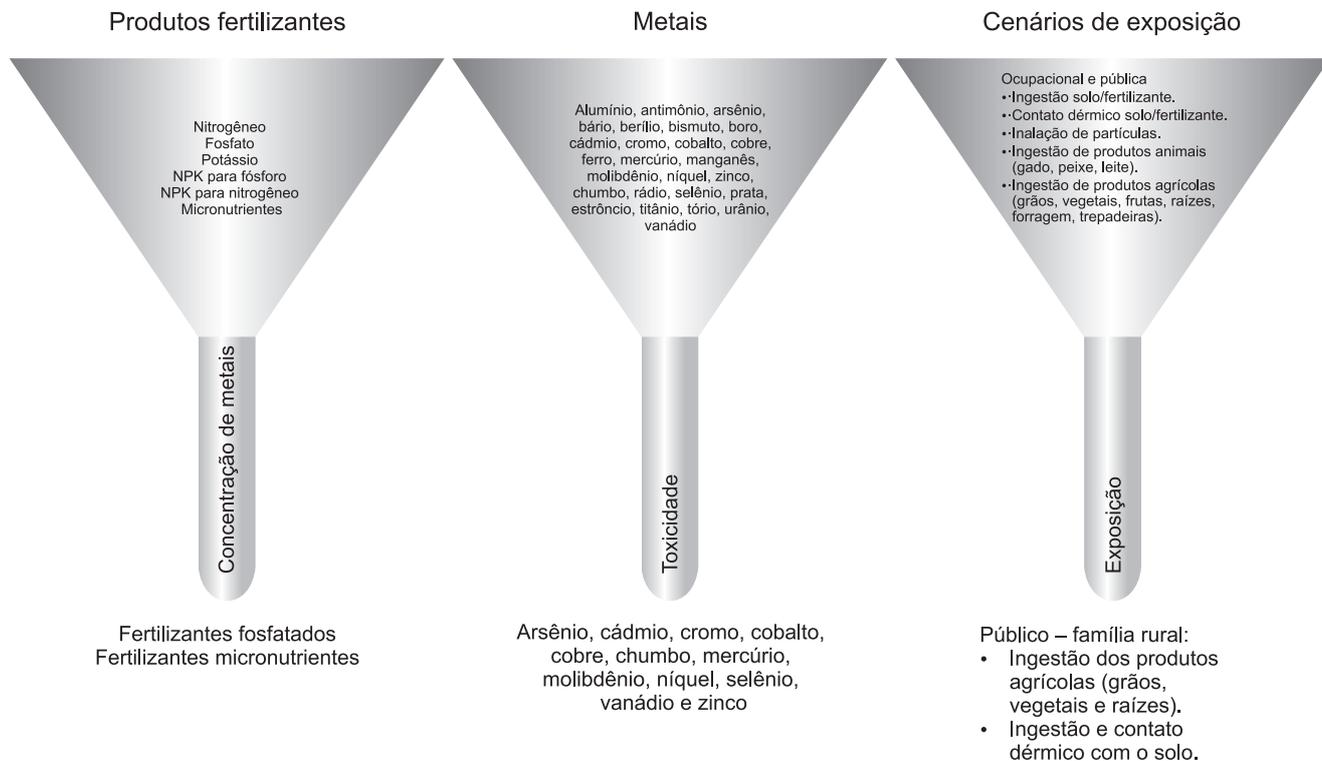
Para a correta entrada desses dados no programa, é necessário que o operador entenda com clareza o que significam as siglas que aparecem nas abas, quais suas unidades e como adicionar conjuntos de dados (Tabela 1). Os conjuntos de dados se referem a valores de massa corporal, taxa de ingestão de solo, fator de absorção pela planta e coeficiente de partição solo-água, que têm sua entrada como médias, medianas e com limites de confiança superiores a 95%, a partir de resultados compilados da literatura internacional e nacional. A descrição do significado de cada parâmetro é apresentada por Guilherme e Marchi (2007).



**Figura 1.** Avaliação de risco para o ciclo de vida de um fertilizante inorgânico (TFI, 2000).



**Figura 2.** Esquema representativo das vias potenciais de exposição a elementos-traço em fertilizantes inorgânicos após a aplicação: vias de transporte, potenciais meios de exposição e rotas de exposição associadas (TFI, 2000).



**Figura 3.** Escopo desta avaliação com foco nos fertilizantes, elementos-traço e cenários de exposição de maior preocupação considerados no presente programa (TFI, 2000).

**Tabela 1.** Parâmetros, respectivas siglas, unidades e origem dos dados utilizados para os cálculos.

Nome do parâmetro	Sigla	Unidade	Origem
Taxa de aplicação	AR	$\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$	UCL 95% <sup>(1)</sup>
Fração do nutriente no fertilizante	FON	Adimensional	-
Duração da exposição	ED	anos	-
Frequência da exposição	EF	$\text{dias ano}^{-1}$	-
Massa corporal	BW	kg	Média
Taxa de ingestão de solo	IRs	$\text{mg dia}^{-1}$	Média
Fator de absorção relativa via solo	RAFs	Adimensional	-
Área de pele exposta	AS	$\text{cm}^2 \text{evento}^{-1} \text{dia}^{-1}$	-
Fator de aderência	AF	$\text{mg cm}^{-2} \text{evento}^{-1}$	-
Taxa de ingestão de plantas	IR	$\text{kg dia}^{-1}$	-
Fator de absorção relativa	RAF	Adimensional	-
Fator de absorção dermal	ABS	Adimensional	-
Fator de absorção pela planta	PUF	Adimensional	UCL 95% <sup>(1)</sup>
Valor de toxicidade oral	TOXo	$\text{mg kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ou $\text{mg kg}^{-1} \text{dia}$	-
Valor de toxicidade dermal	TOXd	$\text{mg kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ou $\text{mg kg}^{-1} \text{dia}$	-
Fração de terra	FOL	Adimensional	-
Tempo de aplicação	T	anos	-
Profundidade de mistura com o solo	Z	cm	-
Densidade global do solo	BD	$\text{g cm}^{-3}$	-
Precipitação média anual	P	$\text{cm ano}^{-1}$	-
Irrigação média anual	I	$\text{cm ano}^{-1}$	-
Evapotranspiração média anual	EV	$\text{cm ano}^{-1}$	-
Coefficiente de partição solo-água	Kd	$\text{mL g}^{-1}$	Mediana

<sup>(1)</sup> Limite de confiança superior (UCL) 95%: são os limites de confiança superiores a 95% da média geométrica, os quais são considerados uma estimativa no limite superior.

## Dados comuns a todos os elemento-traço

A apresentação de dados de entrada comuns para todos os elementos-traço (Tabelas 2 e 3) visa facilitar o preenchimento dos parâmetros e o uso do programa. Alguns desses dados – considerados não específicos da população brasileira ou do cenário brasileiro, como 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 e Fator de Aderência –, foram derivados de trabalhos clássicos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América sobre Avaliação de Risco à Saúde Humana (GUILHERME; MARCHI, 2007). Não obstante, o operador poderá personalizar sua entrada de dados de acordo com suas necessidades.

**Tabela 2.** Dados de entrada comuns para todos os elementos-traço conforme TFI (2000) e Guilherme e Marchi (2007).

Parâmetro	Adulto	Criança
ED (anos)	30	6
IRs (mg dia <sup>-1</sup> )	50	200
AS (cm <sup>2</sup> evento <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	5700	2900
AF (mg cm <sup>-2</sup> evento <sup>-1</sup> )	0,08	0,3
FON	0,01	0,01
EF (dias ano <sup>-1</sup> )	350	350
RAFs <sup>(1)</sup>	1	1
RAF <sup>(2)</sup>	1	1
ABS <sup>(3)</sup>	0,01	0,01
FOLg <sup>(4)</sup>	0,5	0,5
FOLv	0,4	0,4
FOLr	0,1	0,1
T (anos)	50	50
Z (cm)	20	20
BD (g cm <sup>-3</sup> )	1,5	1,5
I (cm ano <sup>-1</sup> )	0	0
EV (cm ano <sup>-1</sup> )	0	0

<sup>(1)</sup> RAFs para arsênio considerar 0,42 para adulto e criança, para chumbo considerar 0,41 para adulto e criança.

<sup>(2)</sup> RAF para chumbo considerar 0,5 para adulto e criança.

<sup>(3)</sup> ABS para arsênio considerar 0,03 para adulto e criança; para chumbo considerar 1 para adulto e criança.

<sup>(4)</sup> As letras “g”, “v” e “r” que aparecem após FOL significam grãos, vegetais e raízes, respectivamente.

**Tabela 3.** Dados de entrada comuns para todos os elementos-traço conforme TFI (2000) e Guilherme e Marchi (2007) divididos entre fertilizantes fosfatados e micronutrientes contendo zinco.

Parâmetros	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes contendo Zinco	
	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
ARg (kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	69	72	11	2
ARv (kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	130	133	11	2
ARr (kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	170	429	11	2
BW adulto (kg)	71,8	66,6	71,8	66,6
BW criança (kg)	15,5	15,4	15,5	15,4
IRg (kg dia <sup>-1</sup> )	0,244	0,149	0,244	0,149
IRv (kg dia <sup>-1</sup> )	0,122	0,012	0,122	0,012
IRr (kg dia <sup>-1</sup> )	0,079	0,025	0,079	0,025
P (cm ano <sup>-1</sup> )	28	150	28	150

<sup>(1)</sup> As letras “g”, “v” e “r” que aparecem após AR e IR significam grãos, vegetais e raízes, respectivamente.

## Dados individuais para cada elemento-traço

A apresentação dos dados que diferem para cada elemento-traço também visa facilitar a entrada de dados pelo operador (Tabelas 4 a 15). Para cada um dos parâmetros foram atribuídos valores específicos de acordo com informações existentes ou compiladas a partir de dados da literatura nacional e internacional, conforme descrito por Guilherme e Marchi (2007). Detalhes adicionais acerca da obtenção de cada um desses parâmetros podem ser obtidos no trabalho desses autores, que se encontra disponível para consulta no site <http://www.anda.org.br/publicacoes.aspx>.

**Tabela 4.** Parâmetros para entrada de dados no programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados e os micronutrientes contendo zinco para o cálculo da concentração baseada em risco de arsênio.

<b>As</b>	<b>Fertilizantes</b>			
	<b>Fosfatados</b>		<b>Micronutrientes contendo Zinco</b>	
<b>Parâmetros</b>	<b>TFI (2000)</b>	<b>Guilherme e Marchi (2007)</b>	<b>TFI (2000)</b>	<b>Guilherme e Marchi (2007)</b>
PUFg	0,03	0,03	0,03	0,03
PUFv	0,03	0,03	0,03	0,03
PUFr	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061
TOXo (mg kg <sup>-1</sup> dia)	1,5	1,5	1,5	1,5
TOXd (mg kg <sup>-1</sup> dia)	1,5	1,5	1,5	1,5
Kd (mL g <sup>-1</sup> )	6,7	158	6,7	158
Kd (mL g <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>		158,5		158,5

<sup>(1)</sup> Valores de Coeficientes de Partição (Kd) atualizados.

**Tabela 5.** Parâmetros para entrada de dados no programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados e os micronutrientes contendo zinco para o cálculo da concentração baseada em risco de cádmio.

<b>Cd</b>	<b>Fertilizantes</b>			
	<b>Fosfatados</b>		<b>Micronutrientes contendo Zinco</b>	
<b>Parâmetros</b>	<b>TFI (2000)</b>	<b>Guilherme e Marchi (2007)</b>	<b>TFI (2000)</b>	<b>Guilherme e Marchi (2007)</b>
PUFg	0,12	0,12	0,12	0,12
PUFg <sup>(1)</sup>		0,942		0,942
PUFv	0,17	0,17	0,17	0,17
PUFr	0,11	0,11	0,11	0,11
TOXo (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,001	0,001	0,001	0,001
TOXd (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,001	0,001	0,001	0,001
Kd (mL g <sup>-1</sup> )	6,7	221	6,7	221
Kd (mL g <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>		142,5		142,5

<sup>(1)</sup> Valores de Fator de Absorção por Plantas (PUF) e de Coeficientes de Partição (Kd) atualizados.

**Tabela 6.** Parâmetros para entrada de dados no programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados e os micronutrientes contendo zinco para o cálculo da concentração baseada em risco de cromo.

Cr	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes contendo Zinco	
Parâmetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,037	0,037	0,037	0,037
PUFr	0,00018	0,00018	0,00018	0,00018
PUFv	0,00014	0,00014	0,00014	0,00014
TOXo (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	1,5	1,5	1,5	1,5
TOXd (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,03	0,03	0,03	0,03
Kd (mL g <sup>-1</sup> )	2200	100	2200	100
Kd (mL g <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>		86		86

<sup>(1)</sup> Valores de Coeficientes de Partição (Kd) atualizados.

**Tabela 7.** Parâmetros para entrada de dados no programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados e os micronutrientes contendo zinco para o cálculo da concentração baseada em risco de cobalto.

Co	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes contendo Zinco	
Parâmetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,002	0,002	0,002	0,002
PUFv	0,005	0,005	0,005	0,005
PUFr	0,00037	0,00037	0,00037	0,00037
TOXo (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,06	0,06	0,06	0,06
TOXd (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,026	0,026	0,026	0,026
Kd (mL g <sup>-1</sup> )	55	81	55	81
Kd (mL g <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>		85,5		85,5

<sup>(1)</sup> Valores de Coeficientes de Partição (Kd) atualizados.

**Tabela 8.** Parâmetros para entrada de dados no programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados e os micronutrientes contendo zinco para o cálculo da concentração baseada em risco de cobre.

Cu	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes contendo Zinco	
Parâmetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,31	0,226	0,31	0,226
PUFg <sup>(1)</sup>		0,314		0,314
PUFv	0,0034	0,0043	0,0034	0,0043
PUFv <sup>(1)</sup>		0,0429		0,0429
PUFr	0,027	0,027	0,027	0,027
TOXo (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,04	0,04	0,04	0,04
TOXd (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,039	0,039	0,039	0,039
Kd (mL g <sup>-1</sup> )	22	744	22	744
Kd (mL g <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>		471,5		471,5

<sup>(1)</sup> Valores de Fator de Absorção por Plantas (PUF) e de Coeficientes de Partição (Kd) atualizados.

**Tabela 9.** Parâmetros para entrada de dados no programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados e os micronutrientes contendo zinco para o cálculo da concentração baseada em risco de chumbo.

Pb	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes contendo Zinco	
Parâmetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,05	0,05	0,05	0,05
PUFg <sup>(1)</sup>		0,0357		0,0357
PUFv	0,008	0,00053	0,008	0,00053
PUFv <sup>(1)</sup>		0,0054		0,0054
PUFr	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061
TOXo (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,0036	0,0036	0,0036	0,0036
TOXd (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,0036	0,0036	0,0036	0,0036
Kd (mL g <sup>-1</sup> )	99	2520	99	2520
Kd (mL g <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>		1190		1190

<sup>(1)</sup> Valores de Fator de Absorção por Plantas (PUF) e de Coeficientes de Partição (Kd) atualizados.

**Tabela 10.** Parâmetros para entrada de dados no programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados e os micronutrientes contendo zinco para o cálculo da concentração baseada em risco de mercúrio.

<b>Hg</b>	<b>Fertilizantes</b>			
	<b>Fosfatados</b>		<b>Micronutrientes contendo Zinco</b>	
<b>Parâmetros</b>	<b>TFI (2000)</b>	<b>Guilherme e Marchi (2007)</b>	<b>TFI (2000)</b>	<b>Guilherme e Marchi (2007)</b>
PUFg	0,26	0,26	0,26	0,26
PUFv	0,061	0,3946	0,061	0,3946
PUFv <sup>(1)</sup>		3,946		3,946
PUFr	0,082	0,1573	0,082	0,1573
PUFr <sup>(1)</sup>		1,291		1,291
TOXo (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
TOXd (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,000021	0,000021	0,000021	0,000021
Kd (mL g <sup>-1</sup> )	330	3300	330	3300
Kd (mL g <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>		118515		118515

<sup>(1)</sup>Valores de Fator de Absorção por Plantas (PUF) e de Coeficientes de Partição (Kd) atualizados.

**Tabela 11.** Parâmetros para entrada de dados no programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados e fontes de micronutrientes contendo zinco para o cálculo da concentração baseada em risco de molibdênio.

<b>Mo</b>	<b>Fertilizantes</b>			
	<b>Fosfatados</b>		<b>Micronutrientes contendo Zinco</b>	
<b>Parâmetros</b>	<b>TFI (2000)</b>	<b>Guilherme e Marchi (2007)</b>	<b>TFI (2000)</b>	<b>Guilherme e Marchi (2007)</b>
PUFg	0,22	0,22	0,22	0,22
PUFr	0,018	0,018	0,018	0,018
PUFv	0,11	0,11	0,11	0,11
TOXo (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,005	0,005	0,005	0,005
TOXd (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,005	0,005	0,005	0,005
Kd (mL g <sup>-1</sup> )	20	20	20	20

**Tabela 12.** Parâmetros para entrada de dados no programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados e os micronutrientes contendo zinco para o cálculo da concentração baseada em risco de níquel.

Ni	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes contendo Zinco	
Parâmetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,05	0,05	0,05	0,05
PUFv	0,015	0,00134	0,015	0,00134
PUFv <sup>(1)</sup>		0,0135		0,0135
PUFr	0,0086	0,0086	0,0086	0,0086
TOXo (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,02	0,02	0,02	0,02
TOXd (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,00014	0,00014	0,00014	0,00014
Kd (mL g <sup>-1</sup> )	63	179	63	179
Kd (mL g <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>		110		110

<sup>(1)</sup>Valores de Fator de Absorção por Plantas (PUF) e de Coeficientes de Partição (Kd) atualizados.

**Tabela 13.** Parâmetros para entrada de dados no programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados e os micronutrientes contendo zinco para o cálculo da concentração baseada em risco de selênio.

Se	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes contendo Zinco	
Parâmetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,57	0,57	0,57	0,57
PUFr	0,093	0,093	0,093	0,093
PUFv	0,088	0,088	0,088	0,088
TOXo (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,005	0,005	0,005	0,005
TOXd (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,005	0,005	0,005	0,005
Kd (mL g <sup>-1</sup> )	2,7	2,7	2,7	2,7
Kd (mL g <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>		54,35		54,35

<sup>(1)</sup>Valores de Coeficientes de Partição (Kd) atualizados.

**Tabela 14.** Parâmetros para entrada de dados no programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados e os micronutrientes contendo zinco para o cálculo da concentração baseada em risco de vanádio.

V	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes contendo Zinco	
Parâmetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,007	0,007	0,007	0,007
PUFv	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
PUFr	0,00086	0,00086	0,00086	0,00086
TOXo (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,007	0,007	0,007	0,007
TOXd (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,00021	0,00021	0,00021	0,00021
Kd (mL g <sup>-1</sup> )	11	11	11	11

**Tabela 15.** Parâmetros para entrada de dados no programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados e os micronutrientes contendo zinco para o cálculo da concentração baseada em risco de zinco.

Zn	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes contendo Zinco	
Parâmetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,58	1,503	0,58	1,503
PUFg <sup>(1)</sup>		1,91		1,91
PUFv	0,17	0,028	0,17	0,028
PUFv <sup>(1)</sup>		0,281		0,281
PUFr	0,056	0,056	0,056	0,056
TOXo (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,3	0,3	0,3	0,3
TOXd (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,24	0,24	0,24	0,24
Kd (mL g <sup>-1</sup> )	16	129	16	129
Kd (mL g <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>		105,2		105,2

<sup>(1)</sup> Valores de Fator de Absorção por Plantas (PUF) e de Coeficientes de Partição (Kd) atualizados.

## Equação de Concentração Baseada em Risco (RBC)

A equação de RBC foi estabelecida a partir de práticas de risco e parâmetros de exposição. A equação padrão para se calcular o risco combina 3 fatores: a estimativa do contato pela exposição, após a aplicação; a toxicidade do elemento de interesse; e a concentração de elemento-traço no meio de interesse (i.e. fertilizante). 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. Com o cálculo inverso do risco, é possível estimar a concentração limite do elemento-traço no fertilizante para a qual os riscos à saúde são aceitáveis. Um nível aceitável de risco é, nesse caso, relativo a uma concentração de elementos-traço limite, cujo potencial de causar efeitos adversos é mínimo.

A equação para uma propriedade agrícola com um grupo de culturas (grãos, vegetais ou raiz) integra as 3 rotas potenciais de exposição, conforme demonstrado na Equação 1.

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

Em que:

$$\frac{ED * EF * SA * AF * ABS * CF}{BW * AT} = \text{Fator de contaminação sumário (SIFd) contato do solo contamina com a pele/fertilizante}$$

$$\frac{ED * EF * IRs * RAFs * CF}{BW * AT} = \text{Fator de contaminação sumário (SIFsi) ingestão involuntária de solo/fertilizante}$$

$$\frac{ED * EF * IRc * RAFc}{AT} = \text{Fator de contaminação sumário (SIFc) ingestão de produtos agrícolas}$$

*TR ou THI é o risco de câncer ou índice aceitável de perigo (adimensional). Os outros parâmetros foram definidos conforme Tabela 1.*

**Equação 1.** RBC de elementos-traço em fertilizantes para uma propriedade agrícola com um grupo de cultura.

A equação da RBC para cenários de propriedades agrícolas com vários grupos de culturas é mais complexa que para aquelas com um grupo de culturas, porque todos os 3 grupos de culturas estão integrados em uma equação (Equação 2). Entretanto, cada grupo tem um AR e um PUF diferente. A equação RBC para o cenário de propriedades agrícolas com vários grupos de cultura é apresentada a seguir. Note, na equação 2, a adição de um novo fator, a Fração de Área (FOL). A FOL é usada para fracionar a adição de MOPC ao solo pelas diferentes taxas de aplicação para diferentes grupos de cultura. Note também o uso de Fatores de Aporte Sumários (SIFs). Os SIFs foram gerados para uma propriedade agrícola com um grupo de cultura na Equação 1.

$$RBC = \frac{\text{TR ou THI}}{SACF * \{AR_v * 1 / FON * [(SIF_s * TOX + SIF_d * TOXd) * FOL_v] + PUF_v * SIF_v * TOX\} + \frac{\text{TR ou THI}}{\{AR_r * 1 / FON * [(SIF_s * TOX + SIF_d * TOXd) * FOL_r] + PUF_r * SIF_r * TOX\} + \frac{\text{TR ou THI}}{\{AR_g * 1 / FON * [(SIF_s * TOX + SIF_d * TOXd) * FOL_g] + PUF_g * SIF_g * TOX\}}$$

**Equação 2.** A RBC para propriedades agrícolas com vários grupos de culturas.

## Etrace Express

A apresentação do programa é composta de quatro abas, nas quais as duas primeiras são dedicadas à entrada de dados; a terceira, aos resultados dos cálculos das RBCs; e a quarta, aos créditos da equipe que desenvolveu o programa (Figuras 4 a 6). Na primeira guia, intitulada configuração, são escolhidos os parâmetros que definem os cenários, os principais fertilizantes e culturas que serão utilizados no cálculo da RBC e um dentre os 12 elementos-traço passíveis de estudo por este programa.

Etrace Express

Cálculo da Concentração Baseada em Risco

Configuração | Entrada de Dados | Resultado | Créditos

**Fertilizante:**

Fosfatados

Com micronutrientes contendo Zinco

**Cenário de propriedades agrícolas:**

Um grupo de cultura

Vários grupos de culturas

**Categoria:**

Adulto

Criança

**Culturas:**

Grãos

Vegetais

Raízes

**Metais:**

Arsênio

Cádmio

Cromo

Cobalto

Cobre

Chumbo

Mercúrio

Molibdênio

Níquel

Selênio

Vanádio

Zinco

Figura 4. Guia de configuração do programa Etrace Express.

Etrace Express

Cálculo da Concentração Baseada em Risco

Configuração | Entrada de Dados | Resultado | Créditos

Taxa de Aplicação (kg/ha-ano):

Fração do Nutriente no Fertilizante (Adimensional):

Duração da Exposição (anos):

Frequência da Exposição (dias/ano):

Massa Corporal (kg):

Taxa de Ingestão do Solo (mg/dia):

Área da Pele Exposta (cm<sup>2</sup>/evento-dia):

Fator de Aderência (mg/cm<sup>2</sup>):

Fator de Absorção Relativa Via Solo (Adimensional):

Fator de Absorção Relativa (Adimensional):

Ingestão de Produtos Agrícolas (kg/dia):

Fator de Absorção Dermal (Adimensional):

Fator de Absorção pela Planta (Adimensional):

Toxicidade Oral (mg/kg-dia):

Toxicidade Dermal (mg/kg-dia ou mg/kg-dia<sup>-1</sup>):

Profundidade de Cultivo do Solo (cm):

Densidade Global do Solo (g/cm<sup>3</sup>):

Irrigação Média Anual (cm/ano):

Precipitação (cm/ano):

Evapotranspiração Média Anual (cm/ano):

Tempo de Aplicação (anos):

Coefficiente de Partição solo-água (mL/g):

Figura 5. Guia de entrada de dados do programa Etrace Express.

The screenshot shows the 'Etrace Express' application window. At the top, the title bar reads 'Etrace Express'. Below it, a navigation bar contains four tabs: 'Configuração', 'Entrada de Dados', 'Resultado', and 'Créditos'. The main content area is titled 'Cálculo da Concentração Baseada em Risco'. It features several input fields with dropdown menus:

- Fertilizante : Fosfatados
- Cenário de Propriedade Agrícola : Um grupo de cultura
- Categoria : Adulto
- Metal : Arsênio
- Cultura : Grãos
- RBC (mg do Metal/kg do Produto) : [Empty field]

**Figura 6.** Guia de resultados do programa Etrace Express.

Na guia entrada de dados (Figura 5), são adicionados os valores que foram apresentados nas Tabelas 2 a 15 e que serão utilizados no cálculo da concentração baseada em risco, conforme as Equações 1 ou 2.

A guia de resultados (Figura 6) apresenta um resumo das configurações escolhidas e o resultado do cálculo da RBC, relacionado aos dados aportados nas guias configuração e entrada de dados.

Após o preenchimento das guias – caso forem seguidas as sugestões de valores conforme as Tabelas 2 a 15, que são os valores utilizados nos estudos de caso apresentados pelo TFI (2000) ou caso brasileiro (GUILHERME; MARCHI, 2007) –, as RBCs unitárias para fertilizantes fosfatados ou micronutrientes contendo zinco devem ser as apresentadas na Tabela 16, para fertilizantes fosfatados, e na Tabela 17, para micronutrientes.

**Tabela 16.** Concentrações baseadas em risco unitárias<sup>(1)</sup> para fertilizantes fosfatados considerando-se aplicações anuais durante 30 anos e as doses de fósforo apresentadas na Tabela 3.

Cenário	Arsênio, carcinogênico	Cádmio	Cromo	Cobalto	Cobre	Chumbo	Mercurio	Molibdênio	Níquel	Selênio	Vanádio	Zinco
	Adulto	Criança										
Brasil <sup>(2)</sup>	2,9	5,8	81470	6389	165	85	0,6	216	435	582	10064	388
Brasil <sup>(3)</sup>	2,9	1,8	91602	6105	132	110	0,1	216	579	31	10064	350
TFI	4,5	23	34000	3100	280	73	0,9	42	350	120	2200	1200

<sup>(1)</sup> RBCs unitárias (mg kg<sup>-1</sup>).

<sup>(2)</sup> Dados provenientes de Guilherme e Marchi (2007).

<sup>(3)</sup> Dados atualizados.

**Tabela 17.** Concentrações baseadas em risco unitárias<sup>(1)</sup> para fertilizantes contendo zinco como micronutriente considerando-se aplicações anuais durante 30 anos e as doses de zinco apresentadas na Tabela 3.

Cenário	Arsênio, carcinogênico	Cádmio	Cromo	Cobalto	Cobre	Chumbo	Mercurio	Molibdênio	Níquel	Selênio	Vanádio	Zinco
	Adulto	Criança										
Brasil <sup>(2)</sup>	128	351	3195903 <sup>(3)</sup>	277481	6531	3818	31	8575	19556	23919	483249	14418
Brasil <sup>(4)</sup>	128	70	3593365	265141	5133	5194	12	8575	26231	1257	483249	13013
TFI	38	210	220000	23000	1800	500	6,5	300	2600	800	17000	8600

<sup>(1)</sup> RBCs unitárias (mg kg<sup>-1</sup>).

<sup>(2)</sup> Dados provenientes de Guilherme e Marchi (2007).

<sup>(3)</sup> Um valor de RBC unitária maior que 1.000.000 mg de Cr kg<sup>-1</sup> de fertilizante é, na prática, impossível. Esse valor revela, porém, que o limite de segurança para Cr (III) é bastante elevado.

<sup>(4)</sup> Dados atualizados.

Concentrações baseadas em risco unitárias representam 1% da fração de nutrientes (FON). As concentrações dos elementos-traço nos fertilizantes devem estar na mesma unidade das RBCs para que se possa fazer uma comparação direta. As RBCs e a base de dados de metais em fertilizantes são relatadas em mg de elemento-traço por

quilograma de fertilizante (i.e., parte por milhão ou ppm). Porém, antes que se possa comparar a concentração de um elemento-traço em um fertilizante à uma RBC unitária, a concentração de elementos-traço no fertilizante deve ser ajustada para a mesma fração de nutrientes (FON) da RBC (1%). A concentração de elementos-traço em fertilizante é ajustada pela sua divisão pela concentração porcentual de  $P_2O_5$ , para fertilizantes fosfatados ou de Zn, para fontes de Zn.

Como exemplo, toma-se a análise de um fertilizante fosfatado (4-14-8) publicado por Alcarde e Vale (2003), em que seu teor total de Zn e de Cu eram, respectivamente,  $4.616 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $253 \text{ mg kg}^{-1}$ . Como o fertilizante (4-14-8) possui 14% de  $P_2O_5$ , dividindo-se as concentrações de Zn e de Cu por 14, teremos  $329,71 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $18,07 \text{ mg kg}^{-1}$  a cada 1% de  $P_2O_5$ . Comparando-se os valores do fertilizante 4-14-8 ajustado para 1% de  $P_2O_5$  às RBCs unitárias para Zn e Cu para o caso brasileiro  $388 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $165 \text{ mg kg}^{-1}$  a cada 1% de  $P_2O_5$  para Zn e Cu, respectivamente (Tabela 16) (GUILHERME; MARCHI, 2007) verifica-se que os valores presentes no fertilizante são menores que a RBC unitária, portanto, o fertilizante é seguro para utilização agrícola.

## Requisitos do sistema

Microsoft Windows a partir da versão 98.

## Onde encontrar o programa ?

[www.cpac.embrapa.br/publico/usuarios/uploads/Downloads/Softwares/Etrace/Etrace.zip](http://www.cpac.embrapa.br/publico/usuarios/uploads/Downloads/Softwares/Etrace/Etrace.zip)

## Referências

ALCARDE, J.C. VALE, F. Solubilidade de micronutrientes contidos em formulações de fertilizantes, em extratores químicos. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:363-372, 2003.

GUILHERME, L.R.G.; MARCHI, G. **Metais em fertilizantes inorgânicos**: Avaliação de risco à saúde após a aplicação. São Paulo: ANDA, 2007. 154 p. Disponível em <http://www.anda.org.br/publicacoes.aspx>. Acesso em 02 de fevereiro de 2010.

THE FERTILIZER INSTITUTE – TFI. **Health risk evaluation of select metals in inorganic fertilizers post application**, Prepared for The Fertilizer Institute, The Weinberg Group, January 16, 2000. Disponível em: <http://aapfco.org/tfiRiskStd.pdf>. Acesso em 02 de fevereiro de 2010.

# Etrace Express: software for risk analysis of trace elements in inorganic fertilizers – user’s manual and reference guide

---

## Abstract

*Trace Elements are generally present in inorganic fertilizers as contaminants. There are however some trace elements that are plant nutrients and are intentionally included in fertilizer formulations. It is acknowledged that exposure to high levels of trace elements (nutrients or not) might pose a health risk to humans. This risk may be estimated by assessment models. Thus, this work presents a tool, the software Etrace Express, for easy calculation of Risk Based Concentrations of trace elements in inorganic fertilizers, which suggest safe limits for agricultural use. The main purpose of this software was to calculate values of trace element concentrations in inorganic fertilizers that may, flexibly, be used by regulators aiming to protect the human health. Etrace Express follows the same approach shown in the document prepared by The Fertilizer Institute (TFI, United States) for the US scenario, entitled “Health Risk Evaluation of Selected Metals in Inorganic Fertilizers Post Application”. RBCs calculated by Etrace Express using data from the TFI and from a Brazilian scenario reports were identical to the original. Additionally, the software allows customization of parameters for specific scenarios, very rapidly.*

*Index terms: heavy metals, soil contamination, food safety.*

# Etrace Express: programa para análise de risco de elementos-traço em fertilizantes inorgânicos – manual e guia de referência

---

## Resumo

*Elementos-traço estão presentes geralmente em fertilizantes inorgânicos como produtos secundários ou contaminantes. Há, entretanto, alguns elementos-traço que são nutrientes de plantas e são incluídos em formulações de fertilizantes intencionalmente. Sabe-se que a exposição a altos níveis de elementos-traço (nutrientes ou não) podem causar risco à saúde para humanos. Este risco pode ser estimado por modelos de avaliação. Desta forma, este trabalho apresenta uma ferramenta, o programa Etrace Express, para fácil cálculo de Concentrações Baseadas em Risco de elementos-traço em fertilizantes inorgânicos, os quais sugerem limites seguros para uso agrícola. A principal proposta desta versão é a de calcular valores de concentrações de elementos-traço em fertilizantes inorgânicos que possam, com flexibilidade, ser usadas por órgãos reguladores com objetivo de proteger a saúde humana. O programa Etrace Express segue a mesma metodologia do documento preparado para o The Fertilizer Institute (TFI, United States) para o cenário norte-americano, intitulado “Health Risk Evaluation of Selected Metals in Inorganic Fertilizers Post Application”. Concentrações baseadas em risco calculadas pelo Etrace Express usando dados provindos dos documentos do TFI e do cenário brasileiro foram idênticos aos originalmente publicados. Adicionalmente, o programa permite personalizar parâmetros para cenários específicos com muita rapidez.*

*Termos de indexação: metais pesados, contaminação do solo, segurança alimentar, plataforma Delphi.*

**Embrapa**

---

*Cerrados*

Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento

