



## GAMAESPECTROMETRIA APLICADA AO PROJETO RIO PRETO (GO)

Duarte, Cynthia Romariz<sup>1,\*</sup> e Bonotto, Daniel Marcos<sup>2,\*\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geologia, UFRN

Caixa Postal 1639 – Natal, RN. CEP: 59078-970

<sup>2</sup>IGCE-UNESP

Caixa Postal 178, Rio Claro – SP. CEP: 13506-900

e-mail: \*cynthia@geologia.ufrn.br, \*\*dbonotto@rc.unesp.br

Recebido em fevereiro de 2006, aprovado para publicação em novembro de 2006

### ABSTRACT

The natural radioelements U, Th and K were characterized in the area of the Rio Preto project, Goiás State, Brazil, that was previously mapped by extinct Nuclebrás (today INB – Brazilian Nuclear Industries S.A.) through aerial gamma spectrometry. The laboratory gamma spectrometry through NaI(Tl) scintillation detector was applied to rock samples collected in the area. The following nuclides <sup>40</sup>K, <sup>214</sup>Bi and <sup>208</sup>Tl were utilized for quantifying K, U, and Th, respectively. The values of the radioelements concentration were used to generate distribution maps in the studied area. The largest radiometric concentration was verified to occur in the Ticunzal formation.

### RESUMO

Os radioelementos naturais U, Th e K foram caracterizados na área do Projeto Rio Preto, nordeste do estado de Goiás, previamente mapeado pela extinta Nuclebrás, atual INB – Indústrias Nucleares Brasileiras S.A., através de aerogamaespectrometria. A espectrometria gama de laboratório através de detector de cintilação NaI(Tl) foi aplicada a rochas amostradas na área. Os núclídeos <sup>40</sup>K, <sup>214</sup>Bi e <sup>208</sup>Tl foram empregados para quantificar K, U e Th, respectivamente. Os valores de concentração destes radioelementos foram empregados para gerar mapas de distribuição dos mesmos na área de estudo. Os maiores valores de concentração em radioelementos foram verificados na Formação Ticunzal.

### INTRODUÇÃO

O Projeto Rio Preto, executado pela extinta Nuclebrás, atual INB – Indústrias Nucleares Brasileiras S.A., no final da década de 70 e início dos anos 80, efetuou o mapeamento geológico básico da região e a caracterização radiométrica por aerogamaespectrometria, sem canais discriminados. A partir de uma avaliação prévia de dados obtidos por Andrade et al. (1981) e

Figueiredo Filho et al. (1982), constatou-se o interesse em efetuar uma melhor caracterização radiométrica das rochas da região e, para tanto, foi efetuada a avaliação dos teores de <sup>40</sup>K, ‘eU’ e ‘eTh’ em amostras de rocha provenientes da área do Projeto Rio Preto, executado pela extinta Nuclebrás. Este trabalho apresenta a comparação das avaliações efetuadas na área, tanto por aerolevantamento, quanto por espectrometria de laboratório.

## ÁREA DE ESTUDO

A área do projeto está localizada na região nordeste do estado de Goiás, a oeste da área do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Limitada pelos meridianos 47° 50' e 48° 05' W e pelos paralelos 13° 47' e 14° 00' S, perfazendo um total de 650 km<sup>2</sup>, engloba a confluência dos rios Claro e Preto, este último afluente do Rio Tocantins.

A área de interesse está localizada na Região do Planalto Central Goiano, mais especificamente na unidade Complexo Montanhoso Veadeiros – Araí, de Lacerda Filho (2000). Esta região está inserida no Domínio dos Planaltos de Estruturas Dobradas, reproduzindo feições de relevo resultantes da exumação de estruturas dobradas no decorrer de vários ciclos tectônicos, refletidos através de diferentes estilos estruturais, que explicam as particularidades do relevo.

A região estudada está inserida na porção norte da Faixa de Dobramentos Brasília, Província Tocantins. As rochas na área são predominantemente metassedimentares de baixo

grau e granito-gnáissicas que representam embasamento da região. A Figura 1 apresenta o mapa geológico da área de estudo.

As rochas mais antigas da área estão agrupadas no Complexo Basal de Almeida (1968 *apud* Andrade et al., 1981), que compreende gnaisses porfiroblásticos, ortognaisses de composição granodiorítica-tonalítica, corpos granodioríticos e xistos subordinados. Ainda nesta unidade são encontrados núcleos migmatíticos, veios pegmatíticos e diques de rochas básicas (Andrade et al., 1981).

Estratigraficamente acima do Complexo Basal, sob a denominação de Formação Ticunzal, ocorre um conjunto de rochas xistosas com intercalações de paragnaisses na base. As primeiras são caracterizadas por biotita-muscovita xistos, grafitosos ou não, já paragnaisses são constituídos por biotita-gnaisses finos, cinza-claros, granatíferos, finamente foliados, com bandamento evidente. Abundante na área de pesquisa, a Formação Ticunzal possui dois membros. O inferior é

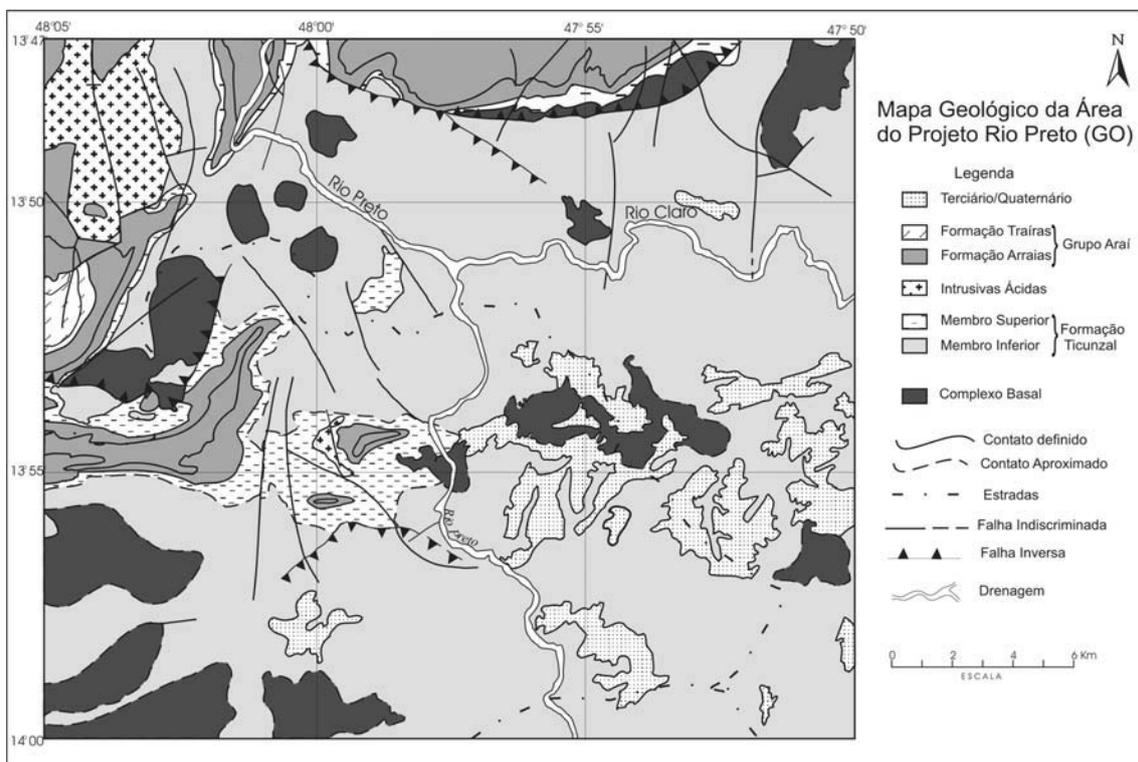


Figura 1: Mapa geológico da área de estudo. Segundo Andrade et al. (1985).

constituído por uma seqüência de gnaisses com intercalações de xistos, às vezes grafitosos. A seguir está o pacote de xistos grafitosos do membro superior, nos quais a quantidade de quartzo aumenta para o topo da formação chegando a um extremo de quartzo-xistos. Nesta posição da unidade ocorrem quartzo-xistos intercalados com níveis de xistos granatíferos e turmalínicos, com pouca ou nenhuma grafita e muito quartzosos. As rochas aflorantes, em especial as xistosas apresentam elevado grau de alteração, com coloração vermelha decorrente da alteração de minerais que contém ferro. As rochas da Formação Ticunzal são caracteristicamente politectônicas e polimetamórficas, apresentando todas as deformações que afetaram o Grupo Araí e, pelo menos, um evento anterior. Em campo foram constatadas a presença de fraturas e crenulações em rochas xistosas.

Subjacentes às rochas do Grupo Araí ocorrem a noroeste da área alguns corpos intrusivos ácidos de composição granítica. Do ponto de vista estratigráfico cortam o Complexo Basal e a Formação Ticunzal. O contato com estas encaixantes é aparentemente de natureza intrusiva, porém sem apresentar indícios de ação térmica em suas zonas de contato, o que leva a supor que os mesmos estejam subordinados a processos de ascensão diapírica ou tectônica (Andrade et al., 1981).

Estratigraficamente acima da Formação Ticunzal, ocorre um pacote de rochas metamórficas, constituído de psamitos na base e pelitos no topo, conhecido por Grupo Araí. Este grupo é dividido em duas formações, Arraias e Traíras, a primeira é constituída por quartzitos e responsável pelas principais elevações topográficas da região, já a segunda está restrita a parte NW da área e apresenta um caráter mais pelítico do que a Formação Arraias, constituída por micaxistos e metassiltitos.

Ocorrem ainda na área, coberturas detrito-lateríticas, formadas por camadas lateríticas associadas a solo argilo-arenoso, e depósitos aluvionares representados por

superfícies aplainadas com ligeiras ondulações próximas aos interflúvios das drenagens de mais baixa ordem.

Andrade et al. (1985) descrevem as mineralizações de urânio para a área condicionando-as às rochas xistosas, sendo que a mais comum ocorreria em quartzo-muscovita-biotita-xistos grafitosos ou não, granatíferos ou não. Os níveis de xisto pobres em biotita, tais como os sericita-muscovita xistos, são descritos estéreis, mas isso não significa que todas as ocorrências de biotita-xistos apresentem concentrações de urânio. Foram encontrados valores significativos de urânio também em rochas gnáissicas.

### TÉCNICAS ANALÍTICAS

A espectrometria gama tem provado ser uma técnica analítica de fácil uso, altamente sensível e rápida, sendo aplicada rotineiramente com sucesso na solução de problemas analíticos em radioquímica. Deste modo, amostras contendo misturas complexas de radionuclídeos, com atividades variadas podem ser mensuradas em períodos de tempo entre poucos segundos até muitas horas.

Segundo Ward (1981) a espectrometria de raios gama pode ser empregada na detecção direta de depósitos de urânio e tório ou para fins de mapeamento geológico, isto através da detecção e delimitação da distribuição lateral de urânio, tório e potássio na superfície rochosa e solos.

A espectrometria de raios gama, utilizando a análise da energia dos picos possibilita a identificação direta dos radionuclídeos em amostras de rocha e solo, apresentando algumas vantagens sobre as espectrometrias alfa e beta, principalmente em virtude da grande penetração dos raios gama quando comparado com a das partículas alfa e beta (Ivanovich & Murray, 1992). A preparação das amostras para leituras de espectrometria gama é simples, não-destrutiva e não necessita a utilização de traçadores radioativos.

As amostras de rocha coletadas foram preparadas seguindo um procedimento inicial de corte, britagem e pulverização. O corte das amostras foi efetuado para remover a parte alterada das mesmas, mas em alguns casos essa remoção não foi possível, pois a amostra encontrava-se completamente alterada. Obtida a amostra pulverizada, a mesma foi acondicionada em caixa cilíndrica de alumínio, lacrada, a qual permaneceu fechada, no mínimo durante cerca de um mês para que o equilíbrio radioativo secular fosse atingido nas séries de decaimento do urânio e tório.

Para tornar a leitura espectrométrica gama exequível, foi efetuada calibração em energia e concentração do sistema espectrométrico gama instalado no LABIDRO – Laboratório de Isótopos e Hidroquímica do IGCE – UNESP, onde o estudo foi realizado. Para tanto, na calibração em concentração, foram empregados padrões internacionais adquiridos junto ao “New Brunswick Laboratory” do “U.S.

Department of Energy Argonne”, Illinois, Estados Unidos, e na calibração em energia foram empregadas fontes monoenergéticas de  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{60}\text{Co}$ , conforme poder ser observado na Figura 2, que apresenta a curva de calibração em energia obtida para o sistema empregado no LABIDRO, bem como as curvas de calibração em concentração para urânio, tório e potássio. Como urânio e tório são emissores alfa e não gama, os fotopicos empregados em suas determinações foram, respectivamente  $^{214}\text{Bi}$  e  $^{208}\text{Tl}$ . O nível crítico de detecção (Currie, 1968) também foi calculado, a fim de verificar se o sinal encontrado realmente correspondeu à detecção de um pico devido ao radionuclídeo presente na amostra. Foi empregado um *software* geoestatístico, Surfer, para proceder a interpolação e representação gráfica dos dados obtidos por gamaespectrometria.

Embora espectrometria gama de alta resolução com detector hiperpuro de Ge possa ser conduzida para a aquisição de dados

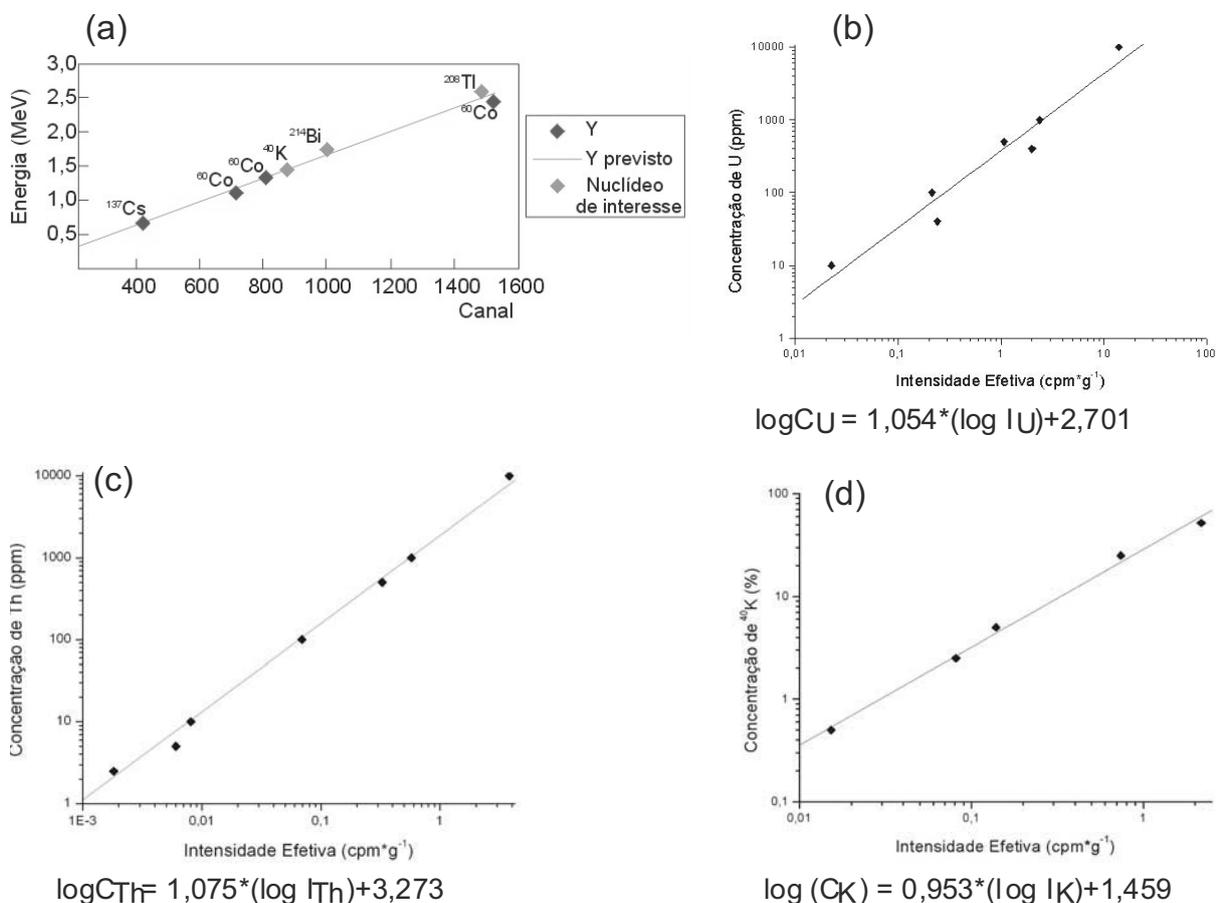


Figura 2: Calibração em (a) energia, (b) concentração de U, (c) concentração de Th e (d) concentração de K do espectrômetro gama utilizado no LABIDRO.

radiométricos, o emprego de detectores de cintilação de NaI(Tl) é bastante disseminado nos programas de exploração de urânio face às vantagens que geralmente apresenta como menor custo e elevada eficiência de detecção (Bristow, 1979; Killeen, 1979). Uma reconhecida desvantagem dessa técnica reside no fato de que em virtude do efeito Compton, emissões gama devidas ao Th podem interferir nos fotopicos associados ao U e K, assim como emissões gama devidas ao U podem interferir no fotopico do K (Killeen, 1979). Contudo, existem técnicas espectrais para a avaliação e correção dos dados, as quais foram aplicadas com sucesso neste trabalho.

Para tanto, foram analisados espectros dos padrões de calibração empregados, onde se avaliou a influência do Efeito Compton do  $^{208}\text{Tl}$  sobre os picos do  $^{214}\text{Bi}$  e  $^{40}\text{K}$  e a influência do Efeito Compton do  $^{214}\text{Bi}$  sobre o  $^{40}\text{K}$ . Obtidos os valores de contagens nas regiões de interesse, foram calculadas as razões entre a taxa

de contagem no pico do  $^{208}\text{Tl}$  e a taxa de contagem nos picos do  $^{214}\text{Bi}$  e  $^{40}\text{K}$ , bem como a razão entre a taxa de contagem no pico do  $^{214}\text{Bi}$  e a taxa de contagem no pico do  $^{40}\text{K}$ . Para o  $^{214}\text{Bi}$ , a razão média devida ao Efeito Compton do  $^{208}\text{Tl}$  foi de -0,0396. Para o  $^{40}\text{K}$ , a razão média devida ao Efeito Compton do  $^{208}\text{Tl}$  foi de -0,0612 e a razão média devida ao Efeito Compton do  $^{214}\text{Bi}$  foi de -0,1891. Estes valores médios negativos denotam não haver influência do Efeito Compton durante a caracterização dos fotopicos associados aos nuclídeos de interesse.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A síntese radiométrica da área do Projeto Rio Preto, foi realizada por Figueiredo Filho et al. (1982), tendo sido gerada a partir do levantamento aerogamaespectrométrico, com unidade de medida em cps (contagens por segundo), ou seja, não ocorreu a discriminação dos nuclídeos emissores, uma vez que o valor

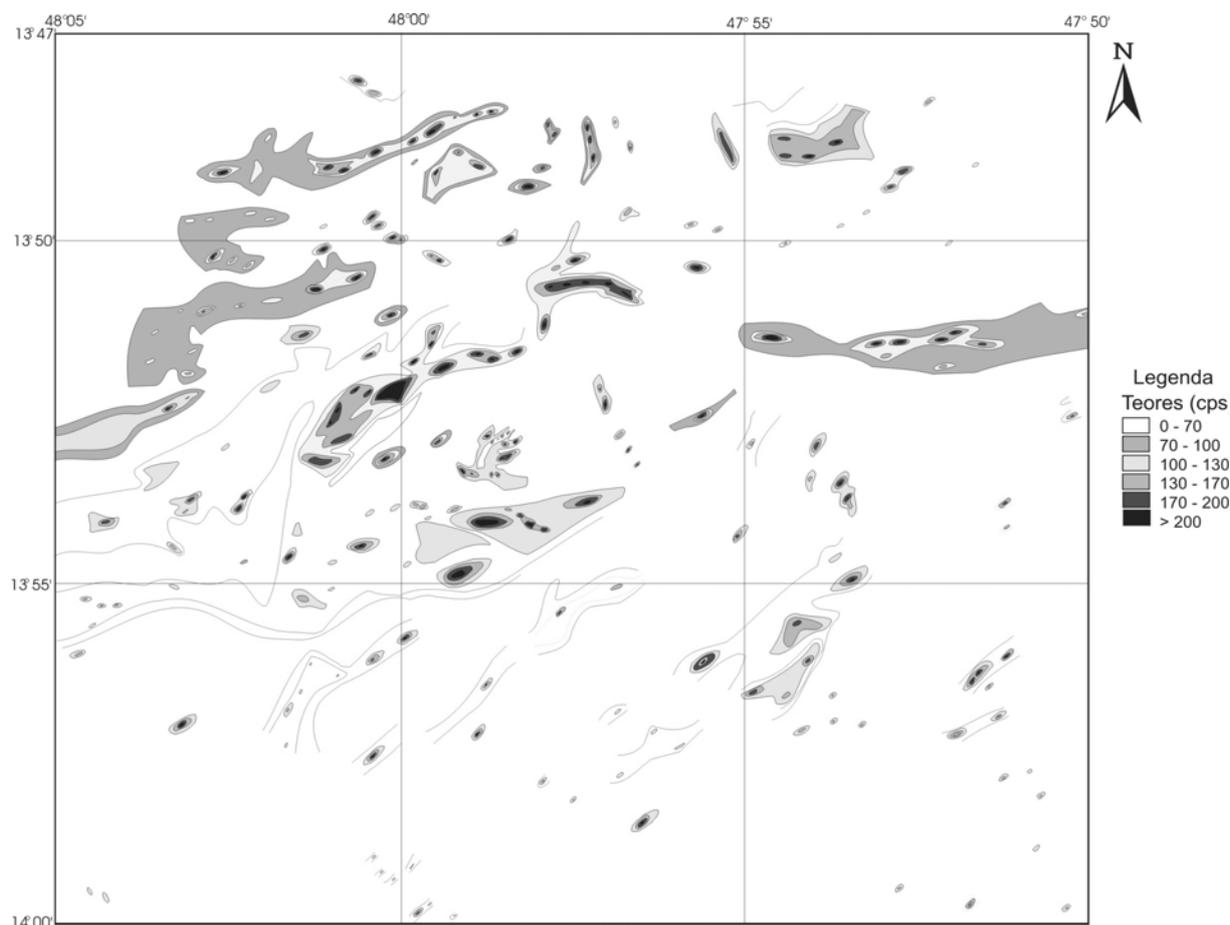


Figura 3: Síntese radiométrica para a área do Projeto Rio Preto, segundo Figueiredo Filho et al. (1982).

expresso em cps corresponde à radioatividade total. A Figura 3 ilustra o mapa gerado, o qual se prestou à análise comparativa efetuada a partir de gamaespectrometria conduzida em laboratório, com canais discriminados. Segundo se verifica na Figura 3, podem ser observadas concentrações de radioelementos em alguns pontos que atingem valores de até 200 cps, e tendências de direção NE-SW. A radiação de fundo (“background”) é da ordem de 50 cps para arenitos da Formação Arai, registrando-se, ainda, valores de cerca de 60 a 70 cps para corpos gnáissicos do embasamento e valores da ordem 100 cps para xistos e paragnaisses da Formação Ticunzal.

Duarte & Bonotto (2000) conduziram análises gamaespectrométricas em laboratório para 76 amostras provenientes da área, tendo sido posteriormente coletadas mais 212 amostras em 196 pontos de coleta (Duarte, 2002), com o propósito de gerar mapas de distribuição dos radioelementos investigados. Na Tabela 1 constam os resultados obtidos na análise das 288 amostras, ou seja, as 76 consideradas no trabalho de Duarte & Bonotto (2000), somadas às 212 referidas no trabalho de Duarte (2002). Convém ressaltar que, neste trabalho, novas leituras por gamaespectrometria foram efetuadas para as 76 amostras referidas por Duarte & Bonotto (2000), uma vez que o sistema espectrométrico do LABIDRO anteriormente utilizado havia sido substituído. Na Tabela 1, todas estas amostras aparecem numeradas a partir de 197. Os resultados obtidos por espectrometria gama para U, Th e K apresentam valores bastante variados (Tabela 1), inclusive para amostras representativas de uma mesma unidade litoestratigráfica. Estes resultados encontram-se expressos em partes por milhão ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) para U e Th e em porcentagem (%) para K.

Duarte & Bonotto (2000) empregaram inicialmente a “krigagem” para efetuar a interpolação dos dados para as 76 amostras analisadas, gerando mapas de contorno criados pelo *software* Surfer v. 7.0. Posteriormente, Duarte (2002) utilizou o *software* OASIS montaj da Geosoft para a representação gráfica dos

dados obtidos, contudo, o interpolador matemático de mínima curvatura propiciou uma diminuição generalizada dos valores representados, o que resultou inclusive na geração de valores negativos de concentração para urânio e tório, os quais são incompatíveis com os dados obtidos (ver Tabela 1). Por este motivo, no presente trabalho, os resultados obtidos na leitura gamaespectrométrica foram interpolados através do método de mínima curvatura no ambiente de análise geoestatística do ARCGIS 9.0 da ESRI. As Figuras 4, 5 e 6 apresentam, respectivamente, as distribuições em área para U, Th e K correspondente a dois distintos grupos de amostras, isto é,  $n=76$  (amostras referidas por Duarte & Bonotto, 2000) e  $n=288$  (amostras referidas por Duarte, 2002).

Ao se analisar a Figura 4, para  $n=76$ , podem ser observados picos de concentração de U de até  $467 \text{ mg kg}^{-1}$  na parte NW da área, e também um pico de  $60 \text{ mg kg}^{-1}$  na parte SW da área. Análise mineralógica conduzida na amostra que exibiu maior teor de urânio indicou a presença de apatita, um mineral comumente reconhecido como portador desse elemento em altas concentrações. A distribuição do urânio efetuada para  $n=288$  (Figura 4) indica a presença de dois máximos principais de concentração na parte norte da área, ambos na Formação Ticunzal – Membro Inferior ( $467$  e  $182 \text{ mg kg}^{-1}$ ); nessa mesma litologia ocorre ainda um outro ponto com concentração elevada de U ( $60 \text{ mg kg}^{-1}$ ) na parte WSW da área. A Formação Ticunzal apresenta, ainda, valores de cerca de  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  de U na parte ESE da área. Na parte NE da área ocorre um ponto com concentração de U acima de  $30 \text{ mg kg}^{-1}$  em gnaisses do Complexo Basal. Valores de U acima de  $2,2 \text{ mg kg}^{-1}$  para gnaisses,  $4,5 \text{ mg kg}^{-1}$  para paragnaisses e  $2,5 \text{ mg kg}^{-1}$  para xistos são considerados anômalos por Rogers & Adams (1969b), o que denota, sob este aspecto, um enriquecimento deste radioelemento na área de estudo. Uma amostragem mais direcionada, buscando veios e fraturas, bem como direções estruturais favoráveis, onde podem estar concentradas alterações de caráter hidrotermal e, conseqüentemente, maior concentração de

**Tabela 1:** Resultados obtidos por espectrometria gama para amostras da área do Projeto Rio Preto, separadas por unidades litoestratigráficas (n=288). As incertezas analíticas correspondem ao desvio padrão de 1s.

Amostra	Massa (g)	Tempo de contagem (min)	eU (mg kg <sup>-1</sup> )	eTh (mg kg <sup>-1</sup> )	K (%)
Terciário/Quaternário					
82	63,73	1541,40	1,18 ± 1,17	< 2,72	0,30 ± 0,67
83	67,37	1396,48	0,92 ± 0,89	< 2,85	0,17 ± 0,18
Formação Arraias					
95	55,97	930,08	10,85 ± 0,16	62,19 ± 1,06	10,27 ± 1,00
96	62,74	1369,35	5,74 ± 1,09	15,44 ± 1,35	7,99 ± 1,00
97	68,72	1973,25	< 0,71	< 2,37	6,97 ± 1,00
98	59,76	1529,22	3,47 ± 1,19	13,50 ± 1,46	5,57 ± 1,00
140	75,74	1414,50	2,01 ± 1,19	4,21 ± 2,99	2,96 ± 1,00
141	63,82	1292,57	6,47 ± 1,08	26,43 ± 1,15	6,91 ± 1,00
187	77,56	1566,80	2,41 ± 1,15	5,38 ± 2,20	3,61 ± 1,00
217*	62,58	2380,00	9,76 ± 0,17	21,39 ± 1,10	5,17 ± 1,00
218*	59,56	3062,82	5,50 ± 0,26	8,54 ± 2,20	4,96 ± 1,00
257*	60,82	2870,02	10,40 ± 0,15	8,81 ± 2,13	4,48 ± 1,00
258*	61,15	3843,93	4,55 ± 0,25	18,73 ± 1,00	5,00 ± 1,00
Intrusiva Ácida					
150	54,75	1492,37	6,07 ± 1,11	20,71 ± 1,26	6,70 ± 1,00
206*	65,96	2237,98	7,06 ± 0,20	33,08 ± 0,74	4,89 ± 1,00
207*	75,01	1803,52	2,86 ± 0,40	9,32 ± 1,77	3,34 ± 1,00
Formação Ticunzal – Membro Superior					
93	70,06	1543,53	8,78 ± 1,04	28,18 ± 1,10	6,37 ± 1,00
94	59,65	1306,90	6,47 ± 1,10	36,15 ± 1,11	7,23 ± 1,00
99	70,44	1674,75	4,84 ± 1,09	24,73 ± 1,12	8,86 ± 1,00
100 A	63,95	1294,83	0,93 ± 0,90	5,96 ± 2,79	2,71 ± 1,00
100 B	58,81	1479,33	2,73 ± 1,26	6,75 ± 2,71	2,69 ± 1,00
101	63,20	1438,78	3,73 ± 1,16	17,92 ± 1,26	4,19 ± 1,00
102	56,48	1410,18	8,89 ± 1,06	35,74 ± 1,12	12,44 ± 1,00
103	60,98	1326,98	7,46 ± 1,08	23,65 ± 1,19	8,47 ± 1,00
149	64,75	1349,20	8,50 ± 1,05	26,37 ± 1,15	6,57 ± 1,00
151	63,70	1469,37	2,31 ± 1,23	9,32 ± 1,72	4,03 ± 1,00
152	49,66	1456,37	5,57 ± 1,16	24,72 ± 1,26	5,66 ± 1,00
153	52,82	1485,52	6,40 ± 1,11	18,80 ± 1,36	4,68 ± 1,00
154 A	51,70	1427,67	12,19 ± 1,05	38,70 ± 1,12	11,23 ± 1,00
154 B	49,41	1626,25	6,41 ± 1,13	29,54 ± 1,19	9,92 ± 1,00
155	54,85	1518,18	6,81 ± 1,10	26,52 ± 1,19	10,32 ± 1,00
156	57,09	1497,73	7,51 ± 1,08	21,40 ± 1,25	10,19 ± 1,00
157	52,31	1544,93	4,95 ± 1,17	18,14 ± 1,36	6,28 ± 1,00
158	59,73	315,62	25,67 ± 1,01	17,94 ± 1,27	11,39 ± 1,00
159	56,62	1469,00	2,40 ± 1,33	< 3,29	6,95 ± 1,00
160	55,32	1426,18	1,38 ± 1,35	< 3,32	2,29 ± 1,00
203*	62,44	1872,57	4,46 ± 0,36	14,14 ± 1,71	4,55 ± 1,00
204*	59,01	2810,95	10,77 ± 0,16	13,35 ± 1,63	4,72 ± 1,00
234*	73,51	1846,80	6,07 ± 0,20	20,17 ± 0,96	2,94 ± 1,00
240*	59,58	3025,98	4,67 ± 0,30	14,58 ± 1,44	6,56 ± 1,00
268*	65,77	3247,92	5,04 ± 0,22	14,39 ± 1,16	3,38 ± 1,00
269*	59,80	2771,78	5,89 ± 0,25	16,58 ± 1,35	4,06 ± 1,00
Dique de rocha básica					
241*	90,05	1851,05	2,40 ± 0,32	2,85 ± 3,25	1,19 ± 1,00

Tabela 1: Continuação.

Formação Ticunzal – Membro Inferior					
01	64,53	1408,23	4,56 ± 1,12	6,16 ± 2,64	7,18 ± 1,00
02	55,31	1432,75	12,13 ± 1,04	28,80 ± 1,17	8,67 ± 1,00
03	61,09	1476,10	6,36 ± 1,09	16,63 ± 1,32	7,10 ± 1,00
04	67,39	1132,23	4,97 ± 1,11	3,99 ± 5,55	8,51 ± 1,00
05	68,03	1428,05	10,44 ± 1,04	21,78 ± 1,18	8,55 ± 1,00
07	67,87	1501,67	< 0,83	< 2,83	0,05 ± 0,001
08 A	53,78	1412,37	8,62 ± 1,08	40,66 ± 1,10	9,68 ± 1,00
08 B	82,73	1453,07	11,10 ± 1,02	26,00 ± 1,09	2,02 ± 1,00
09	69,13	1428,60	4,69 ± 1,10	8,85 ± 1,73	7,50 ± 1,00
10	62,35	1470,25	37,17 ± 1,01	276,25 ± 1,01	12,15 ± 1,00
11	52,60	1057,02	14,32 ± 1,05	34,98 ± 1,16	12,18 ± 1,00
12	61,56	1567,47	6,31 ± 1,08	22,61 ± 1,18	6,06 ± 1,00
13	62,64	1408,02	12,06 ± 1,04	50,41 ± 1,06	8,35 ± 1,00
14	67,60	1556,68	4,95 ± 1,10	15,32 ± 1,28	8,24 ± 1,00
15	58,62	1466,68	6,05 ± 1,10	24,98 ± 1,18	6,19 ± 1,00
16	46,70	1717,22	< 1,19	< 3,80	0,06 ± 0,001
17	66,20	1323,10	8,60 ± 1,05	32,33 ± 1,10	16,02 ± 1,00
18	54,10	1559,08	9,93 ± 1,06	34,74 ± 1,12	14,30 ± 1,00
19	65,65	1344,57	17,96 ± 1,02	20,96 ± 1,20	7,43 ± 1,00
20	66,34	1371,42	0,90	< 2,91	0,03 ± 0,001
21	52,49	1469,35	13,82 ± 1,04	68,77 ± 1,05	11,96 ± 1,00
23	75,11	1506,52	< 0,75	< 2,47	0,11 ± 0,02
24	70,88	1428,57	38,45 ± 1,01	< 2,40	6,80 ± 1,00
25	57,88	1283,47	21,09 ± 1,02	52,99 ± 1,06	14,05 ± 1,00
26 A	73,75	1819,55	3,36 ± 1,12	10,94 ± 1,36	2,13 ± 1,00
26 B	48,88	897,68	20,17 ± 1,04	47,10 ± 1,12	10,49 ± 1,00
27	71,85	1489,68	< 0,81	< 2,52	0,22 ± 0,50
28	88,77	1471,43	1,69 ± 1,14	9,32 ± 1,36	0,38 ± 0,91
29	65,11	1515,30	7,63 ± 1,06	32,53 ± 1,10	13,78 ± 1,00
30 A	74,97	1529,42	13,16 ± 1,02	45,54 ± 1,04	8,65 ± 1,00
30 B	64,94	1426,00	5,02 ± 1,10	41,32 ± 1,07	6,73 ± 1,00
31	62,94	1432,18	19,75 ± 1,02	2,81 ± 11,32	6,84 ± 1,00
32	69,50	1433,95	6,96 ± 1,06	19,66 ± 1,19	4,81 ± 1,00
33	66,40	1509,72	5,39 ± 1,09	16,44 ± 1,26	8,25 ± 1,00
34	52,65	1895,48	2,53 ± 1,31	7,08 ± 2,77	2,23 ± 1,01
35	62,86	1405,37	7,55 ± 1,07	2,79 ± 12,61	4,85 ± 1,00
36 A	62,47	1483,83	18,44 ± 1,02	14,46 ± 1,36	4,66 ± 1,00
36 B	80,00	1413,12	< 0,73	< 2,27	0,05 ± 0,001
37	50,58	1455,90	19,03 ± 1,03	43,83 ± 1,10	8,97 ± 1,00
38	71,56	1388,52	3,99 ± 1,12	14,04 ± 1,31	6,10 ± 1,00
39	73,59	1486,07	0,76	< 2,43	0,55 ± 0,96
40	60,06	1352,65	16,02 ± 1,03	31,65 ± 1,13	9,52 ± 1,00
41	65,84	1476,43	3,60 ± 1,15	4,70 ± 3,52	6,23 ± 1,00
42	68,52	1427,55	1,53 ± 1,27	10,90 ± 1,50	7,97 ± 1,00
43	75,66	1523,87	< 0,77	< 2,30	0,28 ± 0,73
44	63,15	1416,48	10,74 ± 1,04	13,02 ± 1,43	8,93 ± 1,00
45	62,50	2427,47	6,14 ± 1,07	6,78 ± 2,04	9,60 ± 1,00
46	66,75	1555,63	3,18 ± 1,16	2,92 ± 7,79	7,72 ± 1,00
47	72,25	1472,78	9,52 ± 1,04	5,66 ± 2,33	7,30 ± 1,00
48	64,40	1571,62	8,21 ± 1,06	12,33 ± 1,45	11,39 ± 1,00
49	68,85	1367,67	5,80 ± 1,08	2,77 ± 8,68	6,47 ± 1,00
50	67,45	1429,20	3,28 ± 1,17	5,17 ± 3,17	6,93 ± 1,00
51	57,32	1758,88	1,77 ± 1,31	6,96 ± 2,48	4,04 ± 1,00
52	58,82	1323,35	2,49 ± 1,30	6,25 ± 3,19	6,70 ± 1,00
53	67,16	2753,81	9,23 ± 1,03	13,59 ± 1,25	8,01 ± 1,00

Tabela 1: Continuação.

54	71,88	1218,57	1,52 ± 1,24	< 2,82	0,20 ± 0,35
55 A	67,82	1502,83	16,42 ± 1,02	23,68 ± 1,15	9,58 ± 1,00
55 B	55,02	1377,23	17,11 ± 1,03	29,63 ± 1,18	2,18 ± 1,00
56	51,18	1457,60	9,02 ± 1,07	22,66 ± 1,29	11,77 ± 1,00
57	72,70	1375,98	3,74 ± 1,12	12,20 ± 1,38	5,64 ± 1,00
58 A	69,46	1241,07	2,12 ± 1,24	4,68 ± 3,33	8,02 ± 1,00
58 B	68,70	2949,75	2,35 ± 1,14	7,67 ± 1,55	8,08 ± 1,00
59	73,38	972,55	8,54 ± 1,05	13,12 ± 1,37	8,92 ± 1,00
60	67,99	1455,72	45,74 ± 1,01	32,08 ± 1,09	13,27 ± 1,00
61	60,36	1383,25	5,87 ± 1,10	29,08 ± 1,14	14,68 ± 1,00
62	61,93	1292,03	12,44 ± 1,04	32,08 ± 1,12	9,16 ± 1,00
63	63,11	1472,65	< 0,98	< 3,06	0,29 ± 0,65
64	64,36	1335,50	6,26 ± 1,09	20,67 ± 1,21	7,63 ± 1,00
65	66,49	1444,7	3,87 ± 1,14	5,50 ± 2,84	9,32 ± 1,00
66	64,42	1361,22	3,23 ± 1,19	< 3,16	6,11 ± 1,00
67	73,09	1454,73	2,22 ± 1,19	3,68 ± 4,02	6,77 ± 1,00
68	52,10	1468,47	11,91 ± 1,05	36,69 ± 1,13	10,52 ± 1,00
69 A	61,28	1452,82	7,71 ± 1,07	4,11 ± 5,75	7,77 ± 1,00
69 B	51,37	1527,25	10,68 ± 1,06	14,07 ± 1,61	8,28 ± 1,00
70	58,22	1315,65	13,65 ± 1,03	47,37 ± 1,07	10,26 ± 1,00
71 A	61,25	1440,87	3,70 ± 1,17	5,97 ± 3,19	2,52 ± 1,00
71 B	95,86	1390,95	4,48 ± 1,06	20,94 ± 1,09	2,54 ± 1,00
71 C	48,57	1386,15	7,57 ± 1,11	28,51 ± 1,22	9,12 ± 1,00
71 D	73,54	1460,02	2,75 ± 1,17	3,83 ± 3,82	2,63 ± 1,00
72	79,93	1474,38	< 0,73	< 2,32	0,10 ± 0,02
73	51,89	1386,57	5,18 ± 1,16	21,68 ± 1,29	8,70 ± 1,00
74	59,60	1409,55	8,56 ± 1,06	26,12 ± 1,17	8,49 ± 1,00
75	68,65	1391,02	< 0,92	< 2,85	0,19 ± 0,30
76	62,20	1319,12	6,78 ± 1,08	9,98 ± 1,80	7,82 ± 1,00
77	61,77	1462,87	12,18 ± 1,04	8,85 ± 1,88	8,03 ± 1,00
78 A	57,32	1258,87	11,31 ± 1,05	22,23 ± 1,25	12,97 ± 1,00
78 B	55,98	1411,18	15,26 ± 1,03	28,58 ± 1,17	12,78 ± 1,00
79	68,14	1403,35	4,86 ± 1,10	4,53 ± 3,87	7,06 ± 1,00
80	58,07	1506,33	2,96 ± 1,25	9,44 ± 1,96	6,98 ± 1,00
81 A	70,90	1444,93	6,23 ± 1,07	25,47 ± 1,12	7,34 ± 1,00
81 B	62,55	1444,05	5,07 ± 1,11	27,15 ± 1,15	7,97 ± 1,00
90	61,38	1466,48	16,83 ± 1,02	32,70 ± 1,11	9,46 ± 1,00
91	62,05	1424,52	9,01 ± 1,05	8,85 ± 1,93	4,94 ± 1,00
92	60,19	1418,77	7,74 ± 1,07	30,96 ± 1,12	9,12 ± 1,00
104	69,50	1360,38	8,89 ± 1,04	21,91 ± 1,17	7,44 ± 1,00
105	50,71	2928,17	19,19 ± 1,02	33,98 ± 1,10	10,54 ± 1,00
106	67,68	1469,32	19,10 ± 1,02	13,06 ± 1,39	5,49 ± 1,00
107	63,94	1463,75	2,57 ± 1,23	3,91 ± 5,64	7,74 ± 1,00
108	71,80	1399,43	5,23 ± 1,08	25,34 ± 1,12	5,95 ± 1,00
109	62,72	1493,17	1,90 ± 1,31	5,76 ± 3,08	7,34 ± 1,00
110	63,04	1359,70	7,59 ± 1,07	20,51 ± 1,23	7,58 ± 1,00
111	63,40	2477,03	6,90 ± 1,06	21,30 ± 1,15	8,27 ± 1,00
112	66,15	1567,18	3,36 ± 1,16	5,20 ± 3,07	7,59 ± 1,00
113	55,83	1504,27	19,86 ± 1,02	38,89 ± 1,10	13,10 ± 1,00
114 A	60,96	1463,07	16,12 ± 1,02	25,19 ± 1,17	10,01 ± 1,00
114 B	66,01	1839,65	13,35 ± 1,02	14,51 ± 1,28	8,78 ± 1,00
115	51,20	1288,65	8,46 ± 1,09	25,11 ± 1,26	9,63 ± 1,00
116	59,66	1411,17	23,44 ± 1,02	8,68 ± 2,18	8,64 ± 1,00
117	59,28	13,92,93	6,46 ± 1,10	14,94 ± 1,44	5,19 ± 1,00
118	71,40	1414,62	3,96 ± 1,12	14,29 ± 1,30	6,58 ± 1,00
119	66,12	1260,57	18,85 ± 1,02	21,57 ± 1,20	8,30 ± 1,00

Tabela 1: Continuação.

120	59,27	1352,88	3,14 ± 1,23	< 3,32	4,82 ± 1,00
121	75,74	1304,25	4,69 ± 1,10	2,46 ± 8,09	2,11 ± 1,00
122	60,49	1326,05	1,39 ± 1,30	3,53 ± 9,41	0,37 ± 0,79
123	65,06	1466,00	21,66 ± 1,01	34,28 ± 1,09	10,27 ± 1,00
124	68,94	1528,17	8,69 ± 1,04	11,20 ± 1,45	8,94 ± 1,00
125	64,20	1415,13	10,45 ± 1,04	41,41 ± 1,07	8,75 ± 1,00
126	68,60	1478,48	5,29 ± 1,09	10,03 ± 1,58	7,46 ± 1,00
127	77,74	1638,58	< 0,68	< 2,28	0,25 ± 0,65
128	54,23	1327,87	2,46 ± 1,36	7,66 ± 2,71	7,40 ± 1,00
129	62,78	1580,58	4,23 ± 1,13	3,48 ± 6,83	7,47 ± 1,00
132	61,75	1332,93	36,44 ± 1,01	12,89 ± 1,52	10,88 ± 1,00
133 A	63,69	1362,15	2,85 ± 1,22	2,48 ± 16,40	7,02 ± 1,00
133 B	61,13	1560,22	1,54 ± 1,32	< 3,03	6,55 ± 1,00
135	63,63	1557,67	5,56 ± 1,09	24,74 ± 1,15	6,59 ± 1,00
136	60,62	1406,95	1,57 ± 1,34	5,03 ± 4,26	1,70 ± 1,01
142	63,08	1428,08	3,35 ± 1,19	2,93 ± 10,74	7,42 ± 1,00
143	64,29	1202,08	7,94 ± 1,06	13,76 ± 1,46	8,83 ± 1,00
144	67,39	1334,08	21,23 ± 1,01	127,88 ± 1,01	10,82 ± 1,00
145	61,47	1451,97	9,05 ± 1,06	32,94 ± 1,11	8,39 ± 1,00
146	63,17	1407,65	17,15 ± 1,02	53,53 ± 1,05	10,00 ± 1,00
147	61,88	1406,57	21,09 ± 1,02	35,52 ± 1,10	10,41 ± 1,00
148	71,51	1369,22	9,37 ± 1,04	7,50 ± 1,85	7,74 ± 1,00
162	53,16	1188,57	7,46 ± 1,11	28,76 ± 1,19	9,48 ± 1,00
164	50,75	1491,30	15,27 ± 1,04	23,51 ± 1,27	8,02 ± 1,00
165	55,43	1312,70	10,09 ± 1,06	28,02 ± 1,18	10,84 ± 1,00
166	69,24	1387,95	2,43 ± 1,20	< 2,64	3,90 ± 1,00
167	53,11	1481,32	5,45 ± 1,14	20,60 ± 1,30	5,73 ± 1,00
168	71,79	1538,12	2,05 ± 1,20	7,46 ± 1,73	5,43 ± 1,00
169 A	58,61	1433,27	10,98 ± 1,05	51,33 ± 1,06	12,47 ± 1,00
169 B	56,61	1371,32	6,47 ± 1,10	31,81 ± 1,14	8,63 ± 1,00
170	65,90	1522,20	11,47 ± 1,03	26,59 ± 1,12	5,77 ± 1,00
171	55,31	1517,52	28,63 ± 1,01	59,58 ± 1,05	13,71 ± 1,00
172	54,56	1479,73	12,06 ± 1,04	26,94 ± 1,19	8,27 ± 1,00
173	62,82	1361,25	8,59 ± 1,06	25,89 ± 1,15	6,88 ± 1,00
174	64,67	1475,82	0,92 ± 0,89	< 2,87	5,78 ± 1,00
175	66,85	1313,90	5,20 ± 1,11	13,88 ± 1,38	3,71 ± 1,00
176	71,38	1399,50	4,12 ± 1,12	8,90 ± 1,62	3,03 ± 1,00
177	58,59	1364,35	12,35 ± 1,04	47,02 ± 1,07	9,45 ± 1,00
178	48,22	1397,45	19,56 ± 1,03	113,51 ± 1,03	12,25 ± 1,00
179	55,02	1403,18	7,59 ± 1,09	21,49 ± 1,26	7,76 ± 1,00
180	52,87	1381,63	5,49 ± 1,14	27,29 ± 1,19	7,60 ± 1,00
181	52,76	1562,60	8,34 ± 1,08	40,88 ± 1,10	11,20 ± 1,00
182	67,15	1216,92	18,45 ± 1,02	103,28 ± 1,02	7,16 ± 1,00
183	57,61	1239,60	13,57 ± 1,04	65,84 ± 1,05	14,27 ± 1,00
184	56,81	1865,97	4,77 ± 1,13	8,63 ± 2,04	6,20 ± 1,00
185	50,67	1625,40	11,32 ± 1,06	25,30 ± 1,23	7,99 ± 1,00
186	65,72	1326,25	3,09 ± 1,19	17,19 ± 1,27	4,59 ± 1,00
188	56,13	1328,55	10,07 ± 1,06	27,88 ± 1,18	9,20 ± 1,00
189	54,14	1432,93	2,38 ± 1,39	< 3,40	6,63 ± 1,00
190 A	48,71	1485,75	16,43 ± 1,04	41,83 ± 1,11	9,30 ± 1,00
190 B	55,29	1562,15	4,91 ± 1,14	16,29 ± 1,40	9,48 ± 1,00
192	57,59	1165,30	11,94 ± 1,05	38,95 ± 1,11	9,80 ± 1,00
195	65,66	1599,85	4,62 ± 1,11	16,41 ± 1,27	4,13 ± 1,00
200*	78,78	2603,28	11,55 ± 0,10	5,30 ± 2,13	2,55 ± 1,00
201*	96,52	1481,98	2,24 ± 0,33	11,51 ± 1,02	3,07 ± 1,00
202*	61,65	1042,90	16,35 ± 0,18	48,59 ± 0,96	3,92 ± 1,00

Tabela 1: Continuação.

205*	58,41	3253,92	9,39 ± 0,18	7,89 ± 2,46	3,24 ± 1,00
208*	87,64	2773,73	8,32 ± 0,10	4,04 ± 2,09	3,53 ± 1,00
209*	65,54	3037,70	6,98 ± 0,18	13,96 ± 1,24	5,30 ± 1,00
210*	58,60	1667,62	4,75 ± 0,41	13,85 ± 2,09	5,62 ± 1,00
211*	75,06	2752,80	15,34 ± 0,08	2,37 ± 4,46	2,28 ± 1,00
215*	85,71	1415,10	4,72 ± 0,23	18,28 ± 0,91	4,80 ± 1,00
216*	77,17	1743,72	7,43 ± 0,17	6,18 ± 2,38	3,16 ± 1,00
222*	65,43	1513,57	60,30 ± 0,06	46,61 ± 0,73	4,09 ± 1,00
223*	65,47	3855,05	4,26 ± 0,24	3,13 ± 3,76	2,01 ± 1,00
224*	63,19	1181,77	4,41 ± 0,44	16,88 ± 1,83	5,76 ± 1,00
226*	77,15	1321,60	15,22 ± 0,11	80,23 ± 0,41	6,92 ± 1,00
227*	68,85	1451,52	467,24 ± 0,02	36,30 ± 0,82	7,48 ± 1,00
228*	90,29	2417,63	7,51 ± 0,11	3,99 ± 2,14	1,61 ± 1,00
229*	66,53	1680,63	3,22 ± 0,47	5,61 ± 3,52	3,83 ± 1,00
231*	87,68	2529,20	2,46 ± 0,28	1,63 ± 4,68	3,63 ± 1,00
232*	65,45	1964,27	11,56 ± 0,15	15,83 ± 1,40	5,68 ± 1,00
233*	63,94	2886,13	4,36 ± 0,28	15,12 ± 1,25	3,69 ± 1,00
235*	78,47	2841,87	4,51 ± 0,20	6,14 ± 1,82	4,44 ± 1,00
236*	55,85	2986,27	4,43 ± 0,38	2,71 ± 6,87	5,00 ± 1,00
242*	70,15	522,30	182,39 ± 0,04	254,06 ± 0,39	6,09 ± 1,00
243*	64,22	2817,77	18,81 ± 0,09	9,55 ± 1,88	4,22 ± 1,00
244*	62,63	2902,15	11,39 ± 0,13	19,62 ± 1,06	5,10 ± 1,00
245*	90,19	3030,85	2,39 ± 0,25	2,17 ± 3,18	3,73 ± 1,00
247*	74,49	5768,25	12,29 ± 0,07	64,63 ± 0,24	3,97 ± 1,00
248*	89,89	1841,23	2,40 ± 0,32	10,82 ± 1,10	2,87 ± 1,00
249*	80,47	3980,02	4,89 ± 0,15	4,33 ± 1,95	2,14 ± 1,00
251*	88,68	4046,72	7,68 ± 0,09	7,39 ± 1,03	2,63 ± 1,00
254*	77,41	2348,02	4,55 ± 0,21	8,10 ± 1,58	3,53 ± 1,00
255*	65,20	3246,75	11,21 ± 0,13	15,90 ± 1,13	2,44 ± 1,00
256*	76,13	3210,23	8,47 ± 0,12	5,87 ± 1,88	3,81 ± 1,00
261*	60,63	2749,63	5,91 ± 0,25	22,77 ± 1,03	5,80 ± 1,00
262*	71,68	1636,03	3,00 ± 0,44	21,85 ± 1,04	2,86 ± 1,00
263*	79,13	2512,10	7,61 ± 0,14	16,61 ± 0,86	3,73 ± 1,00
264*	58,81	2586,57	4,72 ± 0,32	19,06 ± 1,29	5,29 ± 1,00
265*	64,44	1583,37	11,29 ± 0,18	21,48 ± 1,31	4,21 ± 1,00
266*	74,37	3989,72	10,46 ± 0,09	7,30 ± 1,48	4,47 ± 1,00
267*	55,95	2732,70	20,93 ± 0,11	18,10 ± 1,49	4,72 ± 1,00
270*	63,90	2285,37	4,36 ± 0,31	9,90 ± 1,97	3,14 ± 1,00
271*	85,79	1937,93	2,52 ± 0,33	7,25 ± 1,61	3,54 ± 1,00
272*	84,67	2827,03	12,34 ± 0,08	233,30 ± 0,13	4,14 ± 1,00
Complexo Basal					
84 A	54,53	1536,65	11,62 ± 1,05	33,50 ± 1,13	8,93 ± 1,00
84 B	62,77	1616,60	4,00 ± 1,14	7,57 ± 2,03	8,88 ± 1,00
85	58,30	1422,77	< 1,08	< 3,21	1,19 ± 1,00
86	60,02	1670,33	< 0,88	< 2,84	1,21 ± 1,00
87	77,65	1614,42	< 0,71	< 2,30	1,82 ± 1,00
88	52,91	1952,90	11,71 ± 1,04	29,91 ± 1,14	8,21 ± 1,00
130	72,67	1441,53	5,67 ± 1,07	13,94 ± 1,28	10,37 ± 1,00
131	66,09	1471,57	10,15 ± 1,04	23,60 ± 1,16	9,48 ± 1,00
134	63,43	1409,60	2,87 ± 1,22	6,05 ± 2,76	7,01 ± 1,00
137	54,88	1216,07	7,33 ± 1,10	25,50 ± 1,22	8,16 ± 1,00
138	69,16	1248,73	3,76 ± 1,15	11,01 ± 1,53	7,48 ± 1,00
139	60,15	1313,98	1,83 ± 1,34	< 3,15	6,00 ± 1,00
161	54,80	1564,43	7,12 ± 1,09	30,86 ± 1,15	7,48 ± 1,00
163	71,14	1502,53	< 0,83	< 2,49	1,69 ± 1,00
191	64,64	1563,80	7,19 ± 1,06	30,23 ± 1,11	4,37 ± 1,00

Tabela 1: Continuação.

193	67,71	1655,95	< 0,84	2,37 ± 9,29	1,59 ± 1,00
194	68,06	1619,27	< 0,77	1,83 ± 12,36	2,13 ± 1,00
196	64,59	1398,12	< 0,93	< 3,02	1,11 ± 1,00
197*	74,63	3056,10	3,75 ± 0,23	2,69 ± 3,70	1,68 ± 1,00
198*	79,35	1417,73	5,52 ± 0,23	17,33 ± 1,10	3,95 ± 1,00
199*	79,95	1532,97	16,37 ± 0,09	138,57 ± 0,26	5,06 ± 1,00
212*	61,36	2842,18	4,54 ± 0,30	7,34 ± 2,45	3,17 ± 1,00
213*	72,21	2926,97	3,88 ± 0,24	10,77 ± 1,29	5,73 ± 1,00
214*	82,16	1478,08	3,41 ± 0,29	16,24 ± 1,02	5,03 ± 1,00
219*	71,77	1636,83	30,90 ± 0,07	19,83 ± 1,12	4,21 ± 1,00
220*	65,74	2519,00	4,24 ± 0,29	5,10 ± 3,06	1,40 ± 1,00
221*	78,23	1924,33	3,58 ± 0,27	7,28 ± 1,86	2,02 ± 1,00
225*	71,57	2569,32	3,91 ± 0,26	11,30 ± 1,34	3,15 ± 1,00
230*	75,22	3313,58	3,52 ± 0,23	4,41 ± 2,31	4,43 ± 1,00
237*	94,12	1773,35	7,00 ± 0,12	3,24 ± 2,73	1,67 ± 1,00
238*	63,50	2931,98	11,08 ± 0,13	37,33 ± 0,63	4,90 ± 1,00
239*	63,80	1358,87	7,79 ± 0,25	126,04 ± 0,41	5,31 ± 1,00
246*	70,76	2865,13	3,95 ± 0,25	8,69 ± 1,61	2,15 ± 1,00
250*	72,69	2996,72	3,84 ± 0,24	5,90 ± 2,04	2,11 ± 1,00
252*	71,86	4286,87	30,71 ± 0,04	4,54 ± 2,27	3,95 ± 1,00
253*	63,87	3029,35	4,36 ± 0,27	9,28 ± 1,81	2,04 ± 1,00
259*	58,69	1867,80	4,73 ± 0,38	8,98 ± 2,79	2,06 ± 1,00
260*	77,74	2859,85	3,60 ± 0,23	10,26 ± 1,17	2,06 ± 1,00

\* Amostras referidas por Duarte & Bonotto (2000).

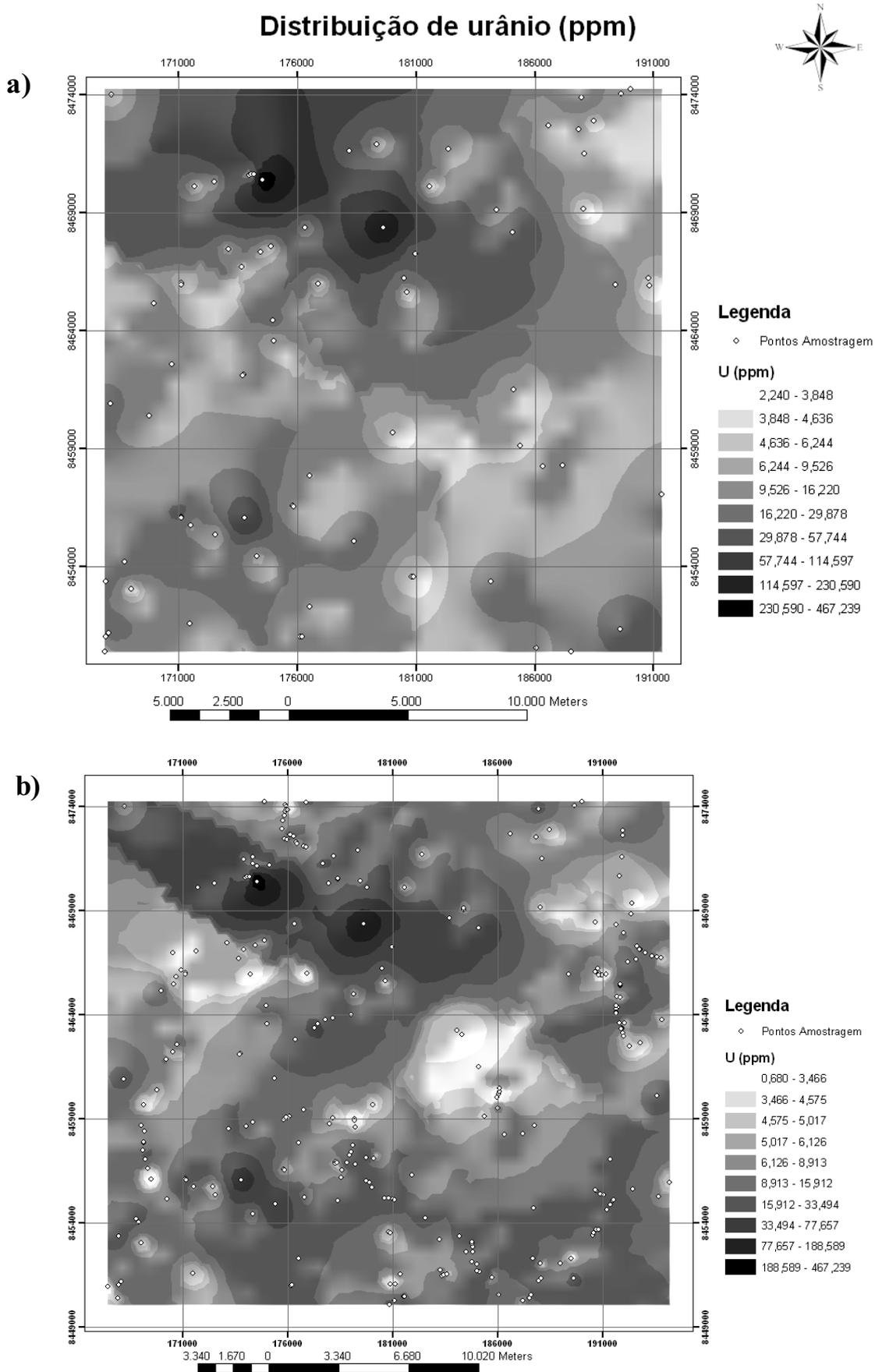
urânio pode ser eventualmente encontrada durante a condução de futuras investigações na área. A ocorrência de urânio na área foi caracterizada melhor na segunda representação (n=288) do que na primeira (n=76), conforme previsto pelo tamanho de cada universo amostral.

A Figura 5 (n=76) indica que a maior concentração de Th corresponde a 254 mg kg<sup>-1</sup> (N da área), ocorrendo um valor na parte E da área correspondente a 233 mg kg<sup>-1</sup>. Quando considera-se n=288, verifica-se que o tório apresenta uma distribuição com cinco principais áreas de concentração (Figura 5), sendo duas na Formação Ticunzal – Membro Inferior, a SE da área (276 e 233 mg kg<sup>-1</sup>) e a N da área (254 mg kg<sup>-1</sup>) e duas no Complexo Basal (138 e 126 mg kg<sup>-1</sup>). Valores de Th acima de 6,4 mg kg<sup>-1</sup> para gnaisses, 21 mg kg<sup>-1</sup> para paragnaisses e 10 mg kg<sup>-1</sup> para xistos são considerados anômalos por Rogers & Adams (1969a), aspecto que também denota ocorrer um enriquecimento deste radioelemento na área de estudo. Igualmente ao verificado para urânio, a ocorrência de tório na área foi caracterizada

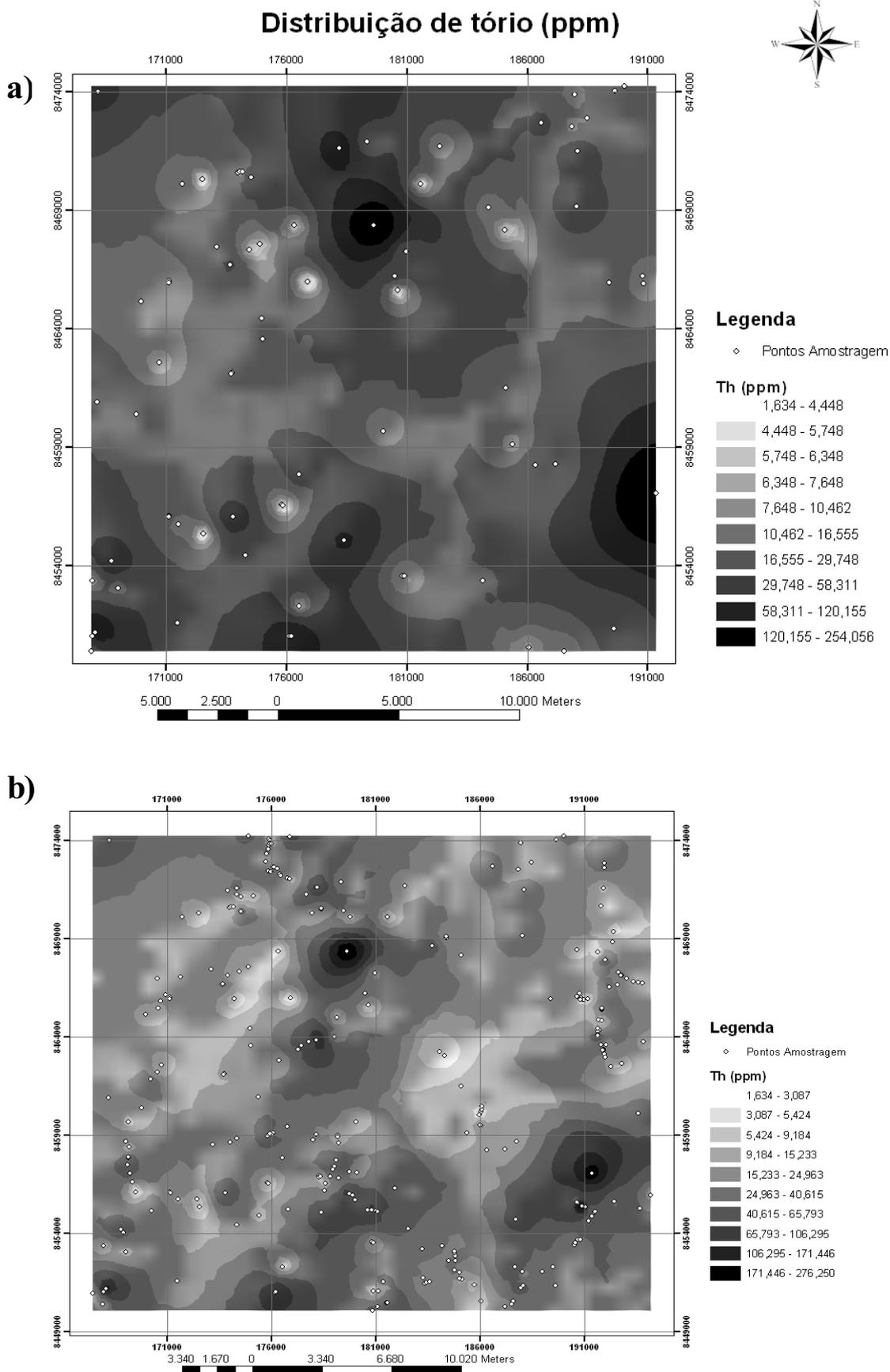
melhor na segunda análise (n=288) do que na primeira (n=76).

A Figura 6 apresenta a distribuição de K na área, com máximo em torno de 7,5% na parte N da área (n=76). A distribuição de potássio para n=288 (Figura 6) indica dois pontos principais de enriquecimento desse elemento em rochas do Membro Inferior da Formação Ticunzal, a SE da área (16% de K) e outros onde ocorrem teores acima de 12%. Na parte NE da área também ocorre um outro ponto de concentração elevada, em gnaisses do Complexo Basal (valor de cerca de 10% de K). Além disso, ocorrem ainda outros pontos com concentração elevada de K (acima de 10%) em xistos e gnaisses do Membro Inferior da Formação Ticunzal.

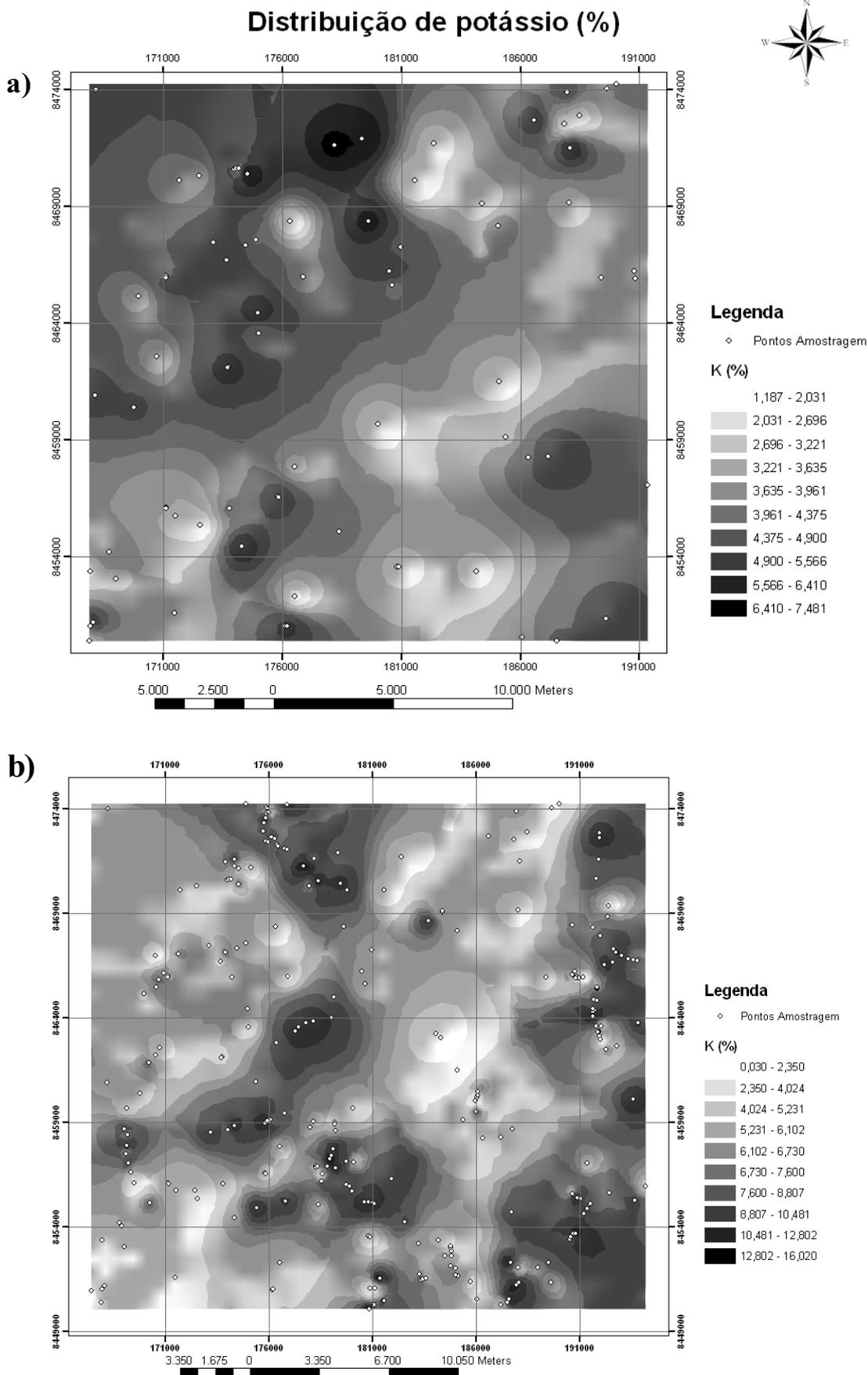
Relativamente à aerogamaespectrometria efetuada por Figueiredo Filho et al. (1982), para o urânio, não foram observadas grandes correlações, a não ser na parte N da área, embora não tenha sido possível caracterizar o *trend* NE-SW presente na síntese radiométrica.



**Figura 4:** Superfície de distribuição em área do U, obtida pelo interpolador matemático do inverso da distância ao quadrado, para (a) n=76 e (b) n=288.



**Figura 5:** Superfície de distribuição em área do Th, obtida pelo interpolador matemático do inverso da distância ao quadrado, para (a) n=76 e (b) n=288.



**Figura 6:** Superfície de distribuição em área do K, obtida pelo interpolador matemático do inverso da distância ao quadrado, para (a) n=76 e (b) n=288.

A distribuição de tório na área está concentrada em dois pontos principais, que já haviam sido identificados na análise conduzida por Duarte & Bonotto (2000). A análise realizada neste trabalho confirmou a distribuição já encontrada, porém, possibilitou uma melhor delimitação dos pontos anômalos. O tório apresentou relação mais estreita com a síntese radiométrica de Figueiredo Filho et al. (1982) em dois pontos, um na parte N e outro na parte ESE da área.

No caso do potássio, a análise realizada para n=288 permitiu uma melhor caracterização da distribuição deste radioelemento na área de estudo. O principal *trend* de concentração de K coincide com um dos *trends* de direção NE-SW presente na síntese radiométrica de Figueiredo Filho et al. (1982) (Figura 3).

## CONCLUSÕES

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário levantar as curvas de calibração em energia e concentração para a utilização do sistema espectrométrico gama baseado em detector de cintilação de NaI(Tl). Os limites críticos de detecção para  $^{40}\text{K}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  e  $^{208}\text{Tl}$  também foram levados em conta para a geração dos dados, pois, em alguns casos, os valores encontrados para os dois últimos núclídeos poderiam estar abaixo dos níveis da radiação de fundo. Também foram quantificados os erros associados ao cálculo da concentração de cada radioelemento de interesse, isto é, urânio, tório e potássio.

A investigação da distribuição dos radioelementos na área de estudo foi efetuada neste trabalho a partir do módulo de análise geostatística do ARCGIS 9.0. Os resultados

encontrados, tanto na primeira representação (n=76) quanto na segunda (n=288), sugeriram áreas anômalas condicionadas, principalmente, à Formação Ticunzal, muito embora também tenham sido encontrados alguns pontos anômalos em gnaisses do Complexo Basal.

A ocorrência de urânio na área foi caracterizada melhor na representação correspondente a n=288 do que naquela referente a n=76, condizente ao tamanho do universo amostral. Concentração elevada desse elemento ocorreu na parte N da área, não tendo sido possível caracterizar o *trend* NE-SW presente na síntese radiométrica da área obtida por levantamento aerocintilométrico conduzido sem a discriminação de radionuclídeos.

A distribuição de tório na área está concentrada em dois pontos principais, caracterizados para n=76 e n=288. O tório apresentou relação mais estreita com a síntese radiométrica disponível para a área, em dois pontos, isto é, um na parte N e outro na parte ESE da área.

No caso do potássio, a representação para n=288 permitiu uma melhor caracterização da distribuição deste radioelemento na área de estudo. O principal *trend* de concentração de K coincide com um dos *trends* de direção NE-SW presente na síntese radiométrica disponível para a área.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de estudos (Processo 14/2798-3), à FAPESP pelo apoio financeiro ao projeto (Processo 99/12476-0) e a dois revisores anônimos pelas valiosas sugestões.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, S.M.; SOUZA, E.L.; OLIVEIRA, A.G. et al. *Projeto Rio Preto – Mapeamento Geológico – escala 1:25.000 Relatório Final*. [s.l.]: NUCLEBRÁS/SUPPM, 1981. Relatório Interno.
- ANDRADE, S.M.; LIBERAL, G.S.; SANTOS FILHO, J.L. Depósitos de urânio de Campos Belos e Rio Preto – Goiás. In: SCHOBENHAUS FILHO, C. *Principais Depósitos Minerais do Brasil*, Rio de Janeiro: DNPM, 1985. v.1, p.169 – 75.

- BRISTOW, Q. Gamma ray spectrometric methods in uranium exploration-airborne instrumentation. In: *Geophysics and Geochemistry in the search for metallic ores*. Hood, P. J. (ed.) Geological Survey of Canada, Economic Geology Report 31, p. 135-146, 1979.
- CURRIE, L.A. Limits for Qualitative Detection and Quantitative Determination. *Analytical Chemistry*, v.40, n. 3, p. 586 – 93, 1968.
- DUARTE, C. R. Radioelementos naturais na área do Projeto Rio Preto (GO). Tese (Doutorado em Geociências). UNESP – Rio Claro. 2002.
- DUARTE, C.R.; BONOTTO, D.M. A radioatividade na área do Projeto Rio Preto (GO). *Geochimica Brasiliensis*, v. 14, n.2, p. 191-207, 2000.
- FIGUEIREDO FILHO, P.M.; OLIVEIRA, A.G.; LIBERAL, G.S. et al. Projeto Rio Preto. [s.l.]: NUCLEBRÁS/SUPPM, 1982. Relatório Interno.
- IVANOVICH, M.; MURRAY, A. Spectroscopic Methods. In: IVANOVICH, M., HARMON, R.S. (Ed.) *Uranium-series disequilibrium: Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences*. Oxford: Clarendon Press, 1992. cap. 5, p. 127 – 73.
- KILLEEN, P.G. Gamma ray spectrometric methods in uranium exploration-application and interpretation. In: *Geophysics and Geochemistry in the search for metallic ores*. Hood, P. J. (ed.) Geological Survey of Canada, Economic Geology Report 31, p. 163-229, 1979.
- LACERDA FILHO, J.V.; REZENDE, A.; SILVA, A. (Coord.) Geologia e recursos minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Escala 1:500.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Brasília: CPRM/METAGO/UnB, 2000. 184p.
- ROGERS, J.J.W.; ADAMS, J.A.S. Thorium. In: WEDEPOHL, K.H. (Ed.) *Handbook of Geochemistry*. New York: Springer-Verlag, 1969a. v.4, cap. 90.
- ROGERS, J.J.W.; ADAMS, J.A.S. Uranium. In: WEDEPOHL, K.H. (Ed.) – *Handbook of Geochemistry*. New York: Springer-Verlag, 1969b. v.4, cap. 92.
- WARD, S.H. Gamma-ray spectrometry in geologic mapping and uranium exploration. *Economic Geology*, v.75, p. 840 – 49, 1981.

(Footnotes)

To whom the correspondence should be sent: [dbonotto@rc.unesp.br](mailto:dbonotto@rc.unesp.br)