



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza  
Instituto de Geociências  
Departamento de Geologia

**DISPERSÃO GEOQUÍMICA NO REGOLITO LATERÍTICO DO  
DEPÓSITO DE Cu-Au DE CHAPADA - GO**

**Talita Azevedo da Silva**

Orientador : Claudio Gerheim Porto

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

FEVEREIRO 2008



UFRJ

**DISPERSÃO GEOQUÍMICA NO REGOLITO LATERÍTICO DO DEPÓSITO DE Cu-  
Au DE CHAPADA - GO**

**Talita Azevedo da Silva**

Monografia submetida ao Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Claudio Gerheim Porto

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2008

DISPERSÃO GEOQUÍMICA NO REGOLITO LATERÍTICO DO DEPÓSITO DE Cu-  
Au DE CHAPADA -GO

Talita Azevedo da Silva

Orientador: Claudio Gerheim Porto

Monografia submetida ao Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Aprovada por:

---

Presidente: Claudio G. Porto, UFRJ

---

José Carlos Sícoli Seoane, UFRJ

---

Cícera Neysi de Almeida, UFRJ

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2008

Silva, Talita Azevedo da  
Dispersão geoquímica no regolito laterítico do  
depósito de Cu-Au DE Chapada -GO / Silva, T. A. -  
Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2008.

49 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em  
Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
Instituto de Geociências, Departamento de  
Geologia, 2008.

Orientador: Claudio Gerheim Porto

1. Geologia. 2. Setor da Graduação – Trabalho de  
Conclusão de Curso. I. Claudio Gerheim Porto  
UFRJ. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
Instituto de Geociências, Programa de graduação  
em Geologia. III. Dispersão geoquímica no regolito  
laterítico do depósito de Cu-Au DE Chapada -GO.

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2008

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço principalmente a minha mãe Bernadete Azevedo pelo incentivo e apoio que foi me dado durante todo o curso de geologia, a todos os colegas do Laboratório de Exploração Mineral em especial a Liliane Ferreira, Gerson Machado, Itamar Gonçalves, Alesandra Coelho e Carlos Maximiano. Ao professor Claudio Porto orientador deste trabalho, e aos professores e funcionários do Departamento de Geologia da UFRJ.

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2008

## RESUMO

### DISPERSÃO GEOQUÍMICA NO REGOLITO LATERÍTICO DO DEPÓSITO DE Cu-Au DE CHAPADA -GO

Talita Azevedo da Silva

Orientador: Claudio Gerheim Porto

Resumo da Monografia submetida ao Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

O depósito de Cu-Au de Chapada localiza-se no centro-oeste do Estado de Goiás, e está hospedada na Sequência Vulcano-Sedimentar de Mara Rosa de idade Neoproterozóica. O depósito está associado a processos de alterações hidrotermais, ocorridos em zonas estruturalmente favoráveis. A principal litologia que hospeda a mineralização é um quartzo-feldspato-biotita xisto, e toda a região é recoberta por um regolito com cerca de 20 metros de espessura, caracterizando um típico perfil laterítico, que está associado à superfície de aplainamento desenvolvida durante o ciclo geomorfológico Velhas no Mioceno. Atualmente este depósito está sendo lavrado pela empresa Yamana Gold Inc.

Este trabalho busca estudar o comportamento do cobre, do ouro e dos principais elementos associados à formação do depósito no perfil regolítico, através de análises químicas com abertura por 4 ácidos, água regia, pirofosfato de sódio e extração parcial para óxido de ferro amorfo. Os resultados obtidos demonstraram que o cobre possui uma tendência de se fixar principalmente nas crostas, devido à sua afinidade com os óxidos de ferro, mas de forma geral ele é lixiviado do perfil. O ouro apresentou um padrão de lixiviação nos horizontes mais superficiais, sendo reprecipitado na zona mosqueada. A maioria dos elementos demonstrou uma redução dos teores em direção ao topo do perfil. O horizonte mais depletado foi o latossolo, contudo ainda era possível identificar altos contrastes na região da mina, quando analisado por alguns tipos de métodos geoquímicos. De forma geral os materiais lateríticos apresentaram bons resultados na localização do depósito e também na identificação dos elementos que estão associados à mineralização.

Palavras-chave: Regolito, Laterítico, Chapada

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2008

**ABSTRACT****GEOCHEMISTRY DISPERSION IN THE REGOLITH LATERITIC OF THE  
CHAPADA Cu-Au DEPOSIT, GOIAS.****Talita Azevedo da Silva**

Orientador: Claudio Gerheim Porto

*Abstract* da Monografia submetida ao Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

The Chapada Cu-Au deposit is located in Brazil's centre-west, State of Goiás, and is hosted by the Mara Rosa Vulcano- Sedimentary Sequence, Neoproterozoica. The deposit is associated with processes hydrothermal alterations, which occurred in structurally favourable zones. The main lithology that hosts the mineralization is a quartz-feldspathic-biotite schist, the entire region is covered by a regolith about 20 meters thick, featuring a typical lateritic profile, which is associated with the peneplanation surface developed during the Mioceno geomorphological cycle.

This work search to study the behaviour of copper, gold and the main elements associated the formation of deposit in the regolit profile, through chemistry analysis with opening by 4 acid, aqua regia, sodium pyrophosphate and partial extraction for iron oxide amorphous. The results show that copper has a tendency retain mainly in crusts because their affinity with the oxides of iron, in general it is depleted of the profile. The gold showed a pattern of leaching in horizons more superficial, and is reprecipited in the mosttled zone. The majority elements showed evidence a reduction of the levels toward the top of the profile. The horizon latosoil was the most depleted, however was possible identify high contrasts in the region of mine, when analyzed by some types of geochemical methods. In general the materials lateritics showed good results in the location of the deposit and also in identifying the elements that are associated with the mineralization.

Key-Words: Regolithe, Lateritic, Chapada

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2008

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>v</b>
<b>RESUMO</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE QUADROS E TABELAS</b>	<b>xi</b>
<b>1- INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<u>1.1 - OBJETIVOS:</u>	<b>1.</b>
<u>1.2 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO</u>	<b>2.</b>
<u>1.3 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS</u>	<b>2.</b>
<u>1.4 - HISTÓRICO DA EXPLORAÇÃO</u>	<b>3.</b>
<u>1.5 - GEOLOGIA REGIONAL</u>	<b>5.</b>
<b>2 - O DEPÓSITO DE CU-AU DE CHAPADA</b>	<b>9.</b>
<u>2.1 - CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DO DEPÓSITO</u>	<b>9.</b>
<u>2.2 - MINERALIZAÇÃO</u>	<b>11.</b>
<u>2.3 - GEOLOGIA DO REGOLITO DE CHAPADA</u>	<b>13.</b>
<b>3 - METODOLOGIA DE TRABALHO</b>	<b>17.</b>
<u>3.1 - OBTENÇÃO DE DADOS:</u>	<b>17.</b>
<u>3.2 - PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E AS ANÁLISES QUÍMICAS</u>	<b>18.</b>
<u>3.3 - TRATAMENTO DE DADOS:</u>	<b>19.</b>
<b>4 – RESULTADOS</b>	<b>21.</b>
<u>4.1 – VARIAÇÃO DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS ASSOCIADOS À MINERALIZAÇÃO, AO LONGO DO PERFIL REGOLÍTICO.</u>	<b>22.</b>
<u>4.2- DISPERSÃO DOS ELEMENTOS NOS PRINCIPAIS HORIZONTES DO REGOLITO, ANALISADOS COM O MÉTODO DE ABERTURA POR 4 ÁCIDOS E FIRE ASSAY”(AU PPB), AO LONGO DA LINHA 2600E.</u>	<b>26.</b>
<u>4.3- DISPERSÃO DOS ELEMENTOS NO LATOSSOLO HÚMICO E LATOSSOLO, COM ANÁLISES PARCIAIS.</u>	<b>33</b>



<u>4.3.1 - MÉTODO DE ANÁLISE COM ABERTURA POR ÁGUA RÉGIA</u>	<b>33.</b>
<u>4.3.2- MÉTODO DE ANÁLISE COM ABERTURA POR PIROFOSFATO DE SÓDIO (NAPIRO)</u>	<b>36.</b>
<u>4.3.3 - MÉTODO DE ANÁLISE COM ABERTURA PARCIAL PARA ÓXIDOS DE FERRO AMORFO</u>	<b>38.</b>
<u>4.4 – ANÁLISES DOS CONTRASTES</u>	<b>41.</b>
<u>5 – DISCUSSÕES</u>	<b>42.</b>
<u>6 – COMPARAÇÃO DO DEPÓSITO DE CHAPADA/GO COM O DEPÓSITO DE SALOBO 3A/PA</u>	<b>43.</b>
<u>7 - CONCLUSÕES</u>	<b>45.</b>
<u>8 – BIBLIOGRAFIA</u>	<b>47.</b>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Mapa de localização da mina de Chapada-GO.(Fonte: Relatório Técnico da Yamana Gold Inc., 2004)</i>	2
<i>Figura 2: Mapa geológico da porção leste da Província Tocantins (Modificado de R. A. Fuck et al., 1994, in Arantes et al., 1996 apud Cintra, 2003).</i>	8
<i>Figura 3: Mapa geológico da região de Chapada (modificado Mineração Alonte, 1997 apud Cintra, 2003).</i>	11
<i>Figura 4: Seção geológica do depósito de Chapada, possibilitando a identificação da forma do corpo mineralizado(Fonte:Kuyumjian, 1991)</i>	12
<i>Figura 5: Perfil estratigráfico do regolito de Chapada-GO.</i>	15
<i>Figura 6: Mapa do regolito em escala de detalhe do depósito de Cu-Au de Chapada com a localização da linha 2600 (DNPM, 1988 modificado por Menezes,2003).</i>	15
<i>Figura 7: Comparação entre os perfis estratigráficos do regolito do depósito de Chapada, produzidos por Parisot et. al (1990) e Menezes (2003).</i>	17
<i>Figura 8: Exemplo do gráfico utilizado para calcular o valor limiar, enfatizando em o valor utilizado no cálculo do valor limiar e no cálculo dos contrastes.</i>	21
<i>Figura 9: Variação dos principais elementos associado à mineralização, pelo método analítico de abertura com 4 ácidos.</i>	23
<i>Figura 10: Variação dos principais elementos associados aos processos hidrotermais ocorridos no depósito, pelo método analítico de abertura com 4 ácidos.</i>	24
<i>Figura 11: Variação dos principais elementos com baixa mobilidade relacionados ao depósito, pelo método analítico de abertura com 4 ácidos.</i>	25
<i>Figura 12: Dispersão do ouro e do cobre, com abertura por 4 ácidos, ao longo da linha 2600E.</i>	27
<i>Figura13: Dispersão dos principais elementos associados à mineralização,com abertura por 4 ácidos, ao longo da linha 2600E</i>	29
<i>Figura 14: Dispersão dos principais elementos associado aos processos de alteração hidrotermal ocorridos neste depósito, com abertura por 4 ácidos, ao longo da linha 2600E.</i>	30
<i>Figura 15: Dispersão dos principais elementos associado aos processos de alteração hidrotermal ocorridos neste depósito, com abertura por 4 ácidos, ao longo da linha 2600E.</i>	31
<i>Figura 16: Dispersão dos elementos de baixa mobilidade associados a mineralização, com abertura por 4 ácidos, ao longo da linha 2600E.</i>	32
<i>Figura 17: Dispersão do cobre e dos principais metais associados à mineralização, nos latossolos húmicos e latossolos pelo método de abertura por água régia,ao longo da linha 2600E.</i>	34
<i>Figura 18: Dispersão dos elementos associados aos processos de alteração hidrotermal nos latossolos e latossolos húmicos, pelo método de abertura por água régia, ao longo da linha 2600E.</i>	35

<i>Figura 19: Dispersão dos principais elementos associados à mineralização de cobre, em Chapada/GO, nos latossolos húmicos pelo método de abertura por sódio de pirofosfato, ao longo da linha 2600E.</i>	36
<i>Figura 20: Dispersão dos principais elementos associados aos processos hidrotermais ocorridos em Chapada/Go, nos latossolos húmicos pelo método de abertura por pirofosfato de sódio, ao longo da linha 2600E.</i>	37
<i>Figura 21: Dispersão doselementos com baixa mobilidade que estão associados ao depósito de Chapada/Go, nos latossolos húmicos pelo método de abertura por pirofosfato de sódio, ao longo da linha 2600E.</i>	38
<i>Figura 22: Dispersão do cobre e dos principais elementos associados a mineralização, em Chapada/Go, nos latossolos pelo método de abertura parcial para óxidos de ferro amorfo, ao longo da linha 2600E.</i>	39
<i>Figura 23: Dispersão dos principais elementos associados aos processos hidrotermais ocorridos em Chapada/Go, nos latossolos pelo método de abertura parcial para óxidos de ferro amorfo, ao longo da linha 2600E.</i>	40
<i>Figura 24: Dispersão dos elementos com baixa mobilidade associados a moneralização de Chapada/Go, nos latossolos pelo método de abertura parcial para óxidos de ferro amorfo, ao longo da linha 2600E.</i>	41

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

<i>Quadro 1: Tabela estratigráfica do regolito de Chapada, elaborada por Menezes, 2003.</i>	14
<i>Quadro 2: Estratigrafia do regolito de Chapada realizada por Parisot, et. al. (1990).</i>	16
<i>Tabela 1: Relação dos tipos de análises executadas com o tipo de materiais utilizados e o número de amostras.</i>	19
<i>Tabela 2: Valores de contraste obtidos a partir do cálculo dos teores médios sobre o depósito divididos pelos teores médios das amostras regionais</i>	42

## **1- INTRODUÇÃO**

A maior parte do território brasileiro está situado em regiões onde prevalece um clima tropical, o que ocasiona a formação de espessos regolitos de natureza laterítica recobrando grandes áreas, conseqüentemente mascarando a presença de depósitos de metais. Por isso torna-se fundamental o estudo do comportamento e da distribuição dos elementos metálicos no regolito, buscando-se estabelecer técnicas analíticas de amostragem que contribuam para a descoberta de novas áreas com potencial para ocorrência de depósitos minerais.

Com este enfoque, estudou-se o depósito de Cu-Au de Chapada que se localiza na região central do Brasil, sobre uma região com alto potencial para a ocorrência de mineralizações de metais básicos, além de apresentar um espesso manto de alteração laterítica. Atualmente este depósito está sendo lavrado pela Yamana Gold Inc.

Os dados utilizados neste trabalho foram coletados durante uma campanha de campo realizada no ano de 2002, como parte do projeto “Exploração geoquímica para metais base em terrenos tropicais”, patrocinado pela BHP Billinton Metais e coordenado pelo professor Claudio Porto da UFRJ.

### **1.1 - OBJETIVOS:**

- ❖ Avaliar o comportamento geoquímico do cobre e de outros elementos químicos relacionados à mineralização, observando seu padrão de distribuição no regolito.
- ❖ Analisar os padrões de dispersão geoquímica desses metais nos principais horizontes do regolito, ao longo de uma transversal ao depósito (linha 2600E).
- ❖ Avaliar a importância dos meios de amostragem no regolito.
- ❖ Determinar a eficácia das diferentes metodologias analíticas utilizadas na detecção das anomalias, em amostras de latossolos.

## 1.2 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O depósito de Cu-Au de Chapada localiza-se no centro-oeste do Estado de Goiás, a cerca de 320 km ao norte de Goiânia e a 270 km a noroeste de Brasília (fig. 1). O corpo mineralizado está situado a 8 km a sudoeste do povoado de Alto Horizonte/Chapada.

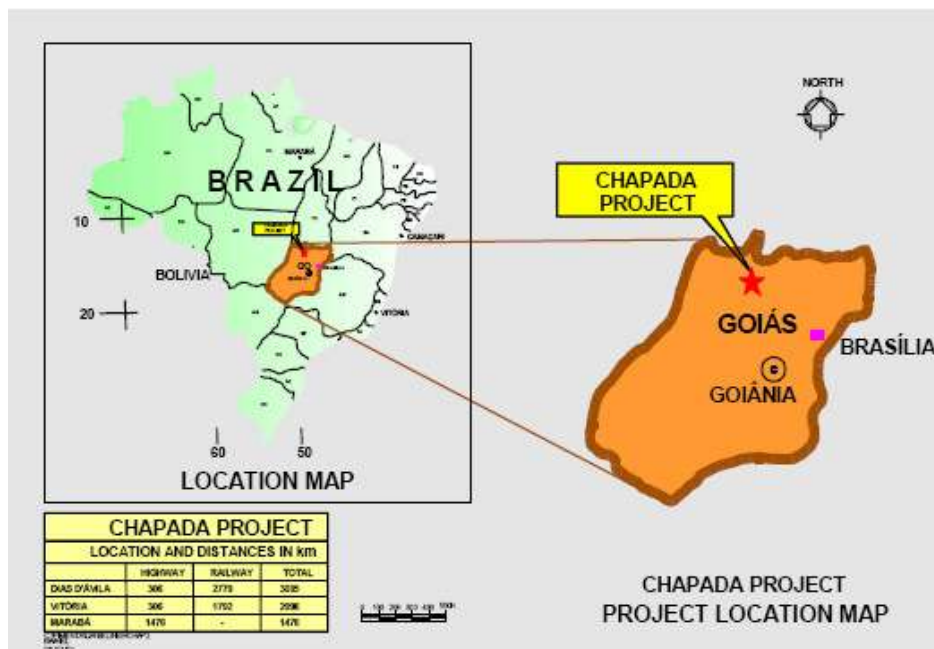


Figura 1: Mapa de localização da mina de Chapada-GO.(Fonte: Relatório Técnico da Yamana Gold Inc., 2004).

## 1.3 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

A área estudada situa-se dentro do Planalto Central Brasileiro, onde predomina o clima tropical úmido, caracterizado por duas estações bem contrastantes, uma seca e outra chuvosa. A estação seca estende-se de maio a setembro, a estação chuvosa ocorre de outubro a abril, nos meses de maior incidência a precipitação pode atingir cerca de 80% dos 1.800 mm anuais de chuva. A temperatura média anual na região é de 23°C.

A rede hidrográfica local apresenta baixa densidade de drenagens, estas correm em direção ao rio Araguaia, fazendo parte da grande Bacia Amazônica. A drenagem de maior

volume da área é o rio dos Bois (ribeirão Barro Vermelho), que corta a parte sul da área estudada.

O relevo nesta região apresenta-se suavemente ondulado, onde as variações altimétricas são de em torno de 350 a 400 m acima do nível do mar, estão encravados em rochas pré-cambrianas, formando um pediplano parcialmente laterizado.

A vegetação dominante é do tipo cerrado, onde ocorrem dois tipos de estratos arbóreos: um superior, de médio porte, formado por árvores e arbustos; e um nível inferior, composto predominantemente por gramínea. Acompanhando as principais drenagens desenvolvem-se matas ciliares, cuja vegetação atinge de médio a grande porte.

#### **1.4 - HISTÓRICO DA EXPLORAÇÃO**

Segundo Silva & Sá (1998) entre os 1973 e 1974 ocorreu uma ampla campanha de prospecção geoquímica realizada pela Mineração Serras do Leste Ltda. pertencente à INCO, detectou faixas com ambiência geológica potencialmente promissoras para metais básicos, na região do Centro-Oeste do Estado de Goiás.

Essa campanha baseou-se em análise de sedimentos de correntes, que possibilitou a identificação de algumas anomalias de cobre, chumbo e zinco, com destaque para uma amostra com 215 ppm de cobre, coletada nas proximidades do povoado de Chapada, que apresentava quase 30 vezes a média regional.

Após está descoberta sucessivas etapas de trabalho, como sedimento de corrente de semi-detalle, geoquímica de solo, geofísica e geologia, permitiram delinear uma área anômala com de cerca de 7 km de comprimento por 0,40 km de largura, cujos valores significativos variam de 400 a 6.000 ppm de cobre em solo.

No final de 1975, a execução de um furo pioneiro sobre a anomalia geoquímica, revelou a existência de sulfetos em sub-superfície, isto propiciou uma fase de sondagem exploratória, com 3.700 m perfurados.

Com os dados obtidos, no segundo semestre de 1976 foi planejado um programa sistemático de sondagem, perfazendo 4.700 m perfurados. Os trabalhos de pesquisa se estenderam até o início da década de 1980.

Cintra (2003) relata que foi realizado um estudo de viabilidade econômica, feita a partir dos dados obtidos até o ano 1979, onde identificou-se uma reserva com 135 milhões de toneladas de minério a 0,443% de cobre e 0,407 gramas por tonelada (g/t) de ouro calculados com o teor de corte a 0,30% de cobre.

Entre 1979 e 1981 com o apoio da Noranda Mines do Canadá e da Parsons, foi realizado uma intensa campanha de sondagem, com 10.500 metros perfurados. Onde foram abertos um poço de 92 metros de profundidade e duas galerias transversais com 55 metros cada, o que gerou quantidades suficientes de minério para a realização de testes metalúrgicos de bancada e em planta piloto.

Em 1995/1996 a Mineração Santa Elina S.A. adquiriu os direitos minerários da mina, executou uma nova campanha de sondagens, para melhor definição da mineralização aurífera no horizonte saprolitizado. Foram amostrados e analisados para ouro, os testemunhos de sondagem dos primeiros 78 furos executados pela INCO em 1979, já que nem todo material havia sido analisado na época.

Foi então produzido pela empresa Echo Bay Mines (E.U.A), um novo estudo de pré-viabilidade econômica, que apontava uma reserva de 153 milhões de toneladas a 0,399 % de cobre e 0,369 gramas por tonelada de ouro e uma expectativa de, após uma nova campanha de sondagem, expandi-la a 237 milhões de toneladas de minério.

Em 1996, foi elaborado um novo plano de trabalho, tendo como objetivo verificar os dados pré-existentes, ampliação das reservas conhecidas e obtenção de novos parâmetros, para que se pudesse atualizar o estudo econômico do empreendimento.

Na última campanha de sondagem, executada em 1996, foram perfurados 39.596 metros na área do depósito.

Em 1997 foram contratadas duas empresas de engenharia para execução do estudo de viabilidade econômica final, incorporando os estudos realizados nos anos anteriores.

O estudo foi finalizado em 1998, e ressaltou vários pontos positivos para a implantação da mina.

Dados obtidos no site da empresa Yamana Gold Inc.([www.yamana.com](http://www.yamana.com)), que atualmente possui os direitos minerários da mina de Chapada, indicam que as reservas mineráveis são de 310 milhões de toneladas contendo 0,340% Cu, 0,255 g/t Au.

A previsão de vida da mina seria de 19 anos, com uma produção prevista durante toda a vida da mina de 1,3 milhão de onças de ouro e 2 bilhões de libras de cobre.

## **1.5 - GEOLOGIA REGIONAL**

A área estudada está inserida na porção central da Província Estrutural Tocantins (Almeida *et al.* 1977). Segundo Viana *et al.* (1995), esta província estrutural é uma região orogenética Neoproterozóica, originada pelo encontro dos crátons do São Francisco e Amazônico, e possivelmente de um terceiro bloco continental, o Bloco Paraná. Fazem parte da Província Tocantins as faixas de dobramentos que são conhecidas individualmente como faixas Brasília, Araguaia e Paraguai. O embasamento da Província é composto por terrenos Arqueanos Paleoproterozóicos, anteriormente atribuídos ao Maciço Mediano de Goiás, retrabalhado durante o ciclo Brasileiro (Almeida, 1967).



A Faixa Brasília que se desenvolveu no flanco oeste do Cráton São Francisco, é composta por um complexo cinturão de dobras e falhas de empurrão com vergência tectônica e metamórfica em direção ao Cráton do São Francisco. É interpretada como uma seqüência de margem continental passiva, composta por várias unidades metassedimentares. Esta faixa ainda é mal entendida ou investigada, ela exhibe muitas feições de cadeias de montanhas modernas (Fuck *et al.*, 1994 *apud* Viana *et al.* 1995). Na zona interna da Faixa Brasília ocorre uma melange ofiolítica associada aos metassedimentos do Grupo Araxá (Drake Jr., 1980, Strider & Nilson, 1992 *apud* Viana *et al.* 1995). Nos terrenos de arco ao oeste de Goiás, observa-se magmatismo félsico de caráter colisional associado às rochas do Grupo Araxá, e são observados o desenvolvimento de extensas lâminas de cavalgamento e *nappes* indicando o encurtamento horizontal substancial e transporte tectônico em direção ao Cráton São Francisco (Viana *et al.* 1995).

Entre as faixas Araguaia e Paraguai que se situam nas bordas leste e sudeste do Cráton Amazônico e a Faixa Brasília a leste da Província Tocantins, ocorrem os terrenos cristalinos do Maciço de Goiás que compreende uma complexa associação de terrenos granito-gnássico de idades variadas (Fuck *et al.* 1987, *apud* Viana *et al.* 1995). Sequências do tipo vulcano-sedimentar e terrenos granito - *greenstone* arqueanos são conhecidas na parte central do maciço, na região compreendida entre Crixás e Hidrolina e mais ao sul, nas vizinhanças da cidade de Goiás. Estas associações arqueanas, bem como outras unidades de idade Paleoproterozóica, induziram alguns autores a sugerir idade Arqueana/Paleoproterozóica para todo o maciço de Goiás (e.g. Danni *et al.*, 1982, Hasui, 1994 *apud* Viana, 1995).

Pimentel e Fuck (1992 *apud* Viana *et al.* 1995) relatam nas porções sudoeste e sul do maciço, a presença de rochas de idades Neoproterozóicas como parte de um arco

magmático. Viana *et al.* (1995) estenderam seu estudo mais ao norte, englobando a região de Mara Rosa e constataram a continuação desse arco magmático Neoproterozóico.

No arco magmático ocorrem as seqüências vulcano-sedimentares, como Sanclerlândia, Bom Jardim de Goiás, Mara Rosa e Porangatu. Estes terrenos são típicos de arcos magmáticos, acrescionários do Neoproterozóico produto do fechamento do substrato ensimático que separa os crátons Amazônico e São Francisco (Fuck, 1994, Fuck *et al.* 1994 *apud* Cintra 2003).

Nesta unidade está inserida a seqüência vulcano-sedimentar de Chapada onde se hospeda o depósito de cobre e ouro estudado neste trabalho (fig. 2).

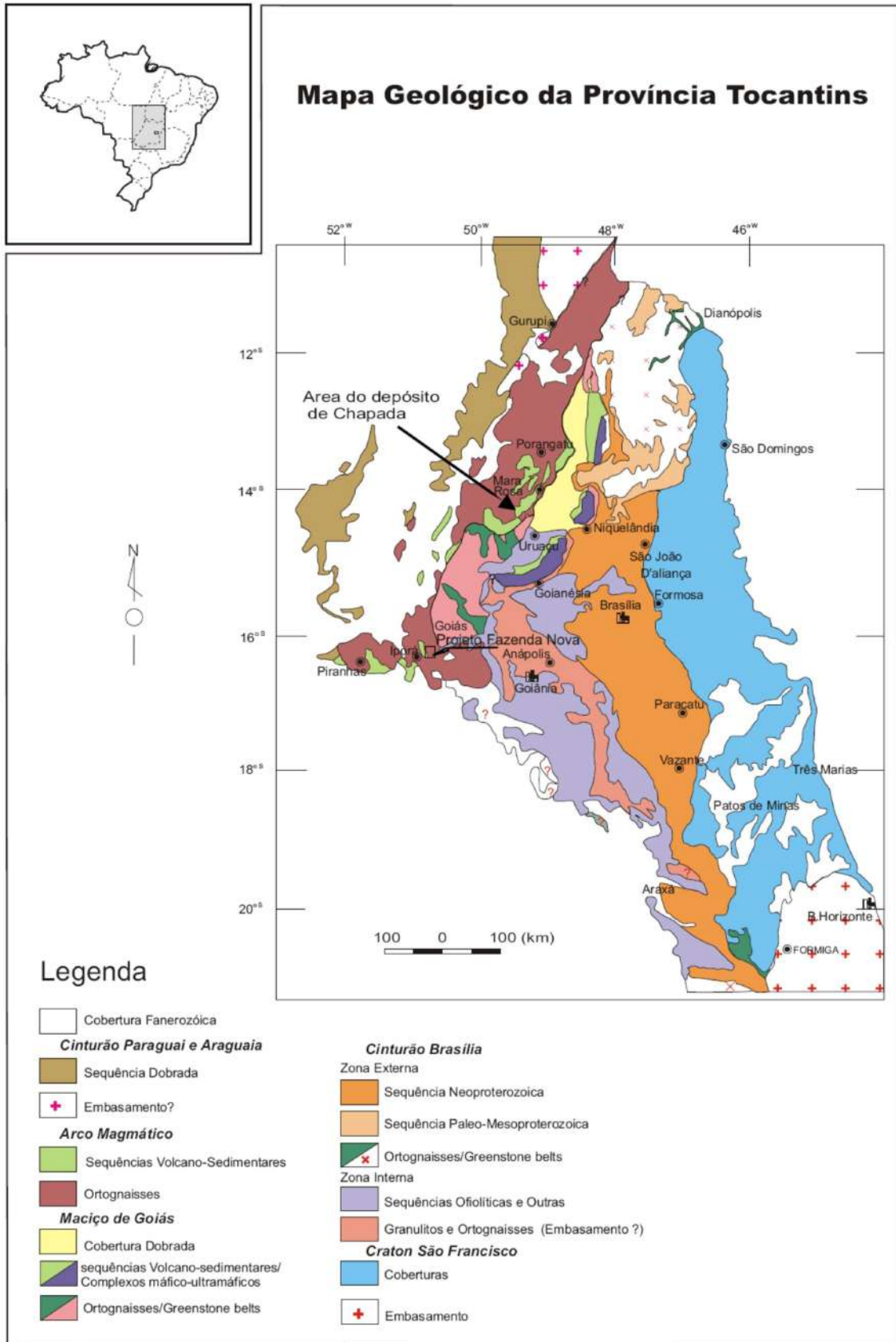


Figura 2: Mapa geológico da porção leste da Província Tocantins (Modificado de R. A. Fuck *et al.*, 1994, in Arantes *et al.*, 1996 *apud* Cintra, 2003).

## 2 - O DEPÓSITO DE Cu-Au DE CHAPADA

### 2.1 - CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DO DEPÓSITO

A região de Chapada está localizada em uma área afetada por zonas de falhas originadas durante a Orogênese Brasileira ocorrida no Neoproterozóico.

Este evento foi fundamental para a formação deste depósito, e de alguns outros ligados ao Arco Magmático de Goiás (Araujo Filho e Kuyumjian, 2000 *apud* Ramos Filho, *et al.* 2005).

O depósito de Chapada está hospedado na Seqüência Vulcano-Sedimentar de Mara Rosa. Kuyumjian (1989 *apud* Cintra, 2003) propõe outra seqüência na região de Chapada, que estaria a oeste da falha do Rio dos Bois, composta por metassedimentos e anfibolitos, que seria denominada de Seqüência Chapada.

A Seqüência Chapada e Mara Rosa (fig. 3) serão consideradas como uma única unidade geotectônica, já que as litologias ocorrentes em Chapada representam uma extensão para sul da Seqüência Mara Rosa (Arantes *et al.*, 1996 *apud* Cintra, 2003).

Segundo Cintra (2003) a Seqüência Chapada-Mara Rosa é composta por uma sucessão de rochas metavulcânicas ultramáficas-máficas e ácidas (metapiroxenitos, metabasaltos, metadacitos e metariodacitos), com intercalações de sedimentos grauvaquianos e pelíticos, e secundariamente sedimentos químicos. Ocorrem ainda rochas metatufáceas, ácidas, intermediárias e máficas. Esta seqüência é atualmente representada por piroxênio-anfibolitos, anfibólio-xisto, biotita-feldspato xistos, epidoto-anfibolitos, muscovita-xistos piritosos metatufos ácidos. Nos xistos é comum a ocorrência de minerais de cianita, granada, estauroлита, cordierita e silimanita. A Seqüência Mara Rosa é cortada por diques pegmatíticos e anfibolitos e um corpo tonalítico a sudeste do depósito.

A região é recoberta por uma espessa cobertura de solo laterítico ou lateritas, tornando escassa a ocorrência de afloramentos, o que dificulta muito a caracterização litológica.

O depósito de Chapada ocorre muito próximo à principal falha da região, a falha Rio dos Bois, e é controlado por ramificações desta falha. Os principais lineamentos estruturais possuem direção N20-40E, e secundariamente também são importantes as lineações com direção N50-70E, N20-40E e NS. As falhas estão diretamente relacionadas com o lineamento das intrusões e com as zonas onde ocorrem intensas alterações hidrotermais (Ramos Filho *et al.*, 2005).

As zonas que sofreram intensas alterações hidrotermais são de grande relevância, já que as transformações ocorridas influenciaram tanto na formação do depósito como na litologia (Cintra, 2003). As principais alterações hidrotermais identificadas formam: potassificação, silicificação, sulfetação, carbonatação, epidotização, cloritização e enriquecimento em magnésio.

As litologias também foram afetadas por um metamorfismo variando da fácies xisto-verde – epidoto anfíbolito a anfíbolito superior. Além dos metamorfismos regionais as rochas de Chapada foram afetadas por um primeiro metamorfismo de baixo grau, que propiciou o enriquecimento em Na<sub>2</sub>O e empobrecimento em K<sub>2</sub>O, que são identificados em amostras de anfíbolito (Kuyumjian, 1990 *apud* Cintra, 2003).

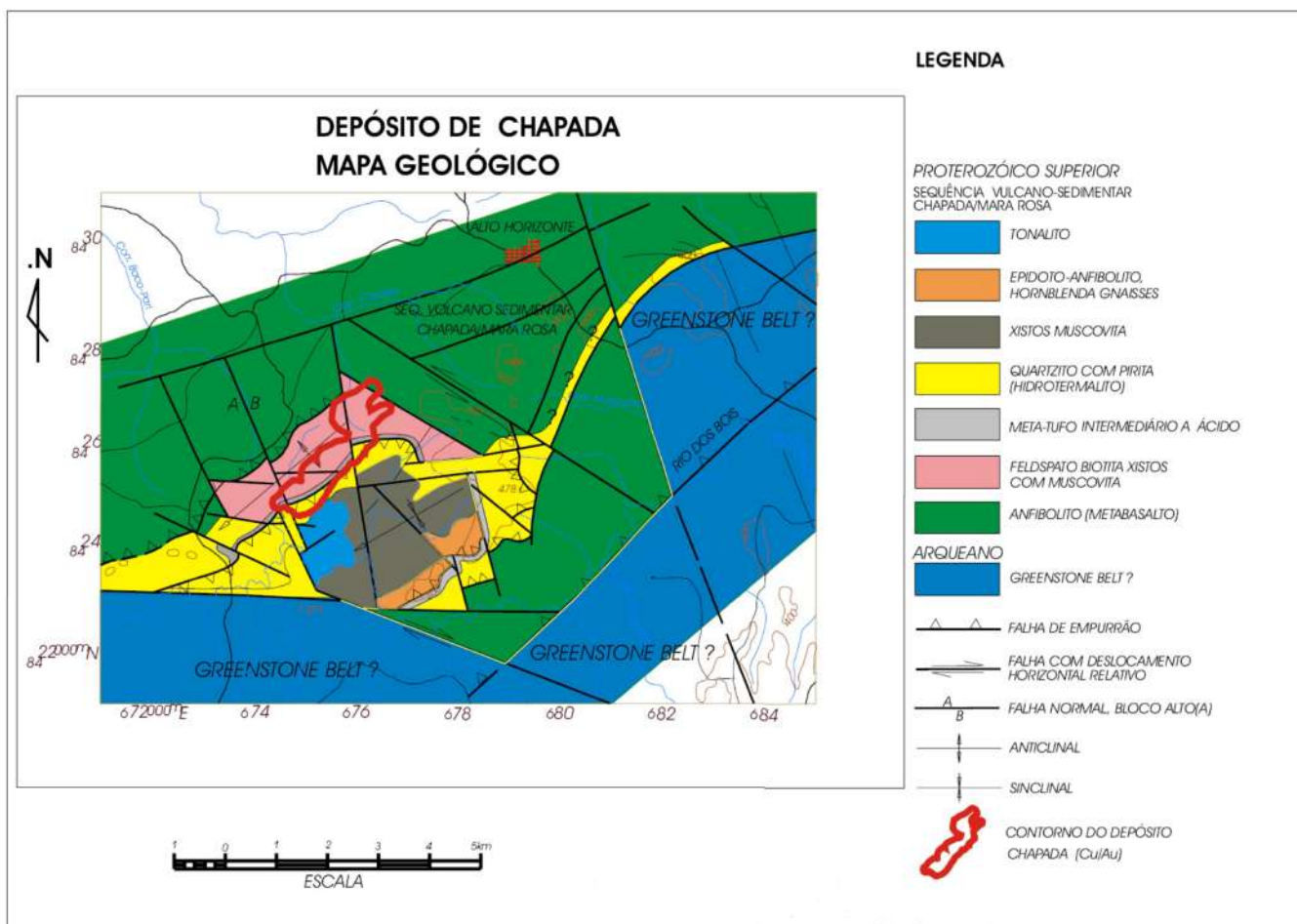


Figura 3: Mapa geológico da região de Chapada (modificado Mineração Alonte, 1997 apud Cintra, 2003).

## 2.2 - MINERALIZAÇÃO

A mineralização cupro-aurífera de Chapada, está principalmente hospedada em rochas metavulcânicas ácidas, que foram transformadas em muscovita-biotita-feldspato xisto, seguido do anfibólio biotita xisto, com cianita em quantidades variáveis. Em menores quantidades, a mineralização também pode-ser encontrada, na porção basal do metatufos considerado capa do minério (Cintra, 2003).

O corpo principal de minério possui 3000m de comprimento por 800m de largura e 260m de profundidade. O corpo possui forma tabular, apresenta-se dobrado segundo

uma antiforma aberta com flancos mergulhando suavemente para SE e NW (fig.4) e eixo mergulhando também suavemente para SW (Cintra, 2003).

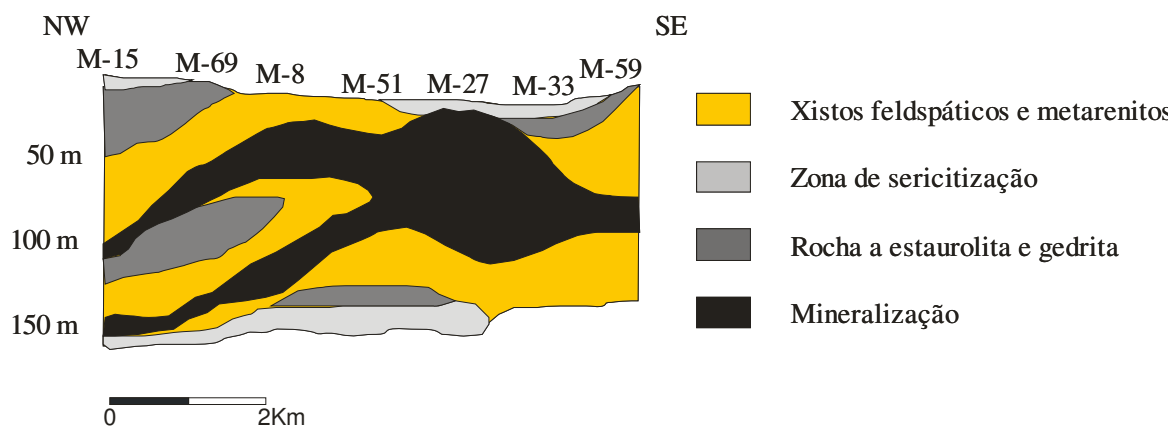


Figura 4: Seção geológica do depósito de Chapada, possibilitando a identificação da forma do corpo mineralizado (Fonte: Kuyumjian, 1991)

A mineralização é composta por pirita, calcopirita e magnetita disseminados num feldspato biotita xisto, além de sericita xistos e zonas mais silicificadas. Segundo Richardson *et al.* (1986), a mineralogia do minério também compreende hematita, bornita, calcocita, esfalerita, galena, pirrotita e molibdenita.

O ouro que ocorre neste depósito é de granulometria muito fina e ocorre principalmente como inclusões em grãos de calcopirita, e em menor quantidade no contato entre os grãos de sulfeto. Por sua vez, os sulfetos também podem ocorrer como inclusões em minerais metamórficos, mostrando natureza pré-metamórfica da mineralização de ouro (Kuyumjian, 1995).

Richardson *et al.* (1986) propõe que o modelo para este depósito é do tipo cobre porfirítico, este modelo foi baseado em estudos de isótopos de enxofre na pirita e calcopirita. Segundo este mesmo autor, o teor e a tonelagem deste depósito são equivalentes aos depósitos de cobre porfirítico de ambientes de arco de ilha, isso o torna diferente de outros tipos de depósitos. Os teores de ouro encontrados também são equivalentes aos depósitos de cobre porfirítico. Além disto, outras similaridades como a

textura, zonamento e características geoquímicas da rocha hospedeira da mineralização, sugerem que Chapada seja um típico depósito de cobre porfirítico metamorfozido.

Já Kuyumjian (1991, 1995), propôs um modelo vulcanogênico hidrotermal exalativo, onde ocorreria a interação entre os fluidos aquecidos e os basaltos da Sequência Mara Rosa, além disto, atuariam também fluidos hidrotermais originados da intrusão de pequenos corpos dioríticos. Isso viria a causar lixiviação e posterior deposição dos metais, enriquecendo a mineralização.

Por fim, Cintra (2003) resume o modelo metalogenético deste depósito como sendo do tipo epigenético, ligado diretamente aos processos de alteração hidrotermal, associado a zonas estruturalmente favoráveis.

### **2.3 - GEOLOGIA DO REGOLITO DE CHAPADA**

O depósito de Cu – Au de Chapada é recoberto por um regolito de cerca de 20 metros de espessura, caracterizando um típico perfil laterítico que está associado a uma superfície de aplainamento desenvolvida durante o ciclo geomorfológico Velhas no período Mioceno (Braun, 1970).

Menezes (2003), baseado no estudo de 20 furos de trado mecânico, e alguns poços de pesquisa, identificou e caracterizou as unidades que compõem o regolito (Quadro 1 e fig. 5). Além disto, ele produziu um mapa de regolito (fig. 6), que teve como base o mapa elaborado por Silva & Sá (1998) e Richardson *et al.* (1986), e com os conceitos de Butt e Zeegeres (1992), que estabeleceram três domínios básicos no regolito, que são: relictual, erosional, e deposicional. Essa classificação tem como base a preservação do perfil laterítico pretérito, ou seja, avalia se o perfil está preservado (relictual), erodido (erosional - onde os horizontes inferiores estão expostos na superfície), ou



cobertos por material transportado (deposicional). O mapa produzido por Menezes (2003) identifica o regime relictual e erosional, indica os materiais que ocorrem na superfície, além de mostrar as principais litologias primárias, a localização do platô laterítico, malha de prospecção, previsão do *pit* final, e a zona de cisalhamento que limita o platô na sua porção sul.

*Quadro1: Tabela estratigráfica do regolito de Chapada, elaborada por Menezes, 2003.*

<b>Código</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Descrição</b>	<b>Mineralogia</b>
L	<i>Lag</i>	É composto predominantemente por concreções ferruginosas e fragmentos de laterita, provenientes da degradação da crosta.	quartzo, hematita, goethita e maghemita
Cs	<b>Crosta de superfície</b>	Caracterizada por fragmentos maiores de crosta laterítica dispersos na superfície. Bastante similar à crosta soterrada.	quartzo, caolinita, hematita e goethita
LH	<b>Latossolo com matéria orgânica</b>	Solo escuro argiloso impregnado por matéria orgânica podendo conter fragmentos de material laterítico disseminados.	quartzo, hematita e goethita (traço)
LS	<b>Latossolo</b>	Solo vermelho argiloso com fragmentos de material laterítico disseminados.	quartzo, hematita e goethita (traço)
N	<b>Zona Nodular</b>	Fragmentos de crosta, nódulos ou pisólitos ou outros materiais lateríticos geralmente com superfícies lisas soltos em matriz latossólica.	quartzo, hematita, caolinita e gibbsita(traço)
CD	<b>Crosta degradada</b>	Zona com fragmentos de material laterítico (crosta, nódulos, pisólitos e concreções metálicas) compactados em matriz latossólica vermelha sem coesão. Produto da degradação "in situ" da crosta.	quartzo, hematita, goethita e caolinita (traço)
C	<b>Crosta</b>	Apresenta estrutura pisolítica bem coesa com incrustações de concreções metálicas entremeada a estreitas faixas caolínicas com diversos graus de ferruginização.	quartzo, hematita e goethita
MC	<b>Zona mosqueada tipo "Carapaça"</b>	Grada sutilmente para zona mosqueada típica abaixo e para crosta endurecida acima. Pouco mais endurecido e com incrustações mais ferruginosas que a zona mosqueada. Coloração predominantemente amarelo-alaranjada e mais homogênea que a zona mosqueada.	quartzo, hematita, goethita e caolinita
M	<b>Zona mosqueada</b>	Material manchado ferruginizado com faixas de coloração branca, amarela, laranja, vermelha e roxa. Apresenta incrustações ferruginosas de coloração vermelho-amarelada.	quartzo, paragonita, hematita, goethita e caolinita
SC	<b>Saprolito transição</b>	Faixas de saprolito misturado a solo vermelho.	
SM	<b>Saprolito mosqueado</b>	Argiloso, friável, intensamente manchado com faixas de coloração branca, amarela laranja, vermelha e roxa.	
S	<b>Saprolito</b>	Argiloso, friável, com manchas ferruginosas. Geralmente apresenta finas palhetas de muscovita. Intervalos mais máficos (anfíbolitos) apresentam coloração mais arroxeada com pontuações caolínicas.	quartzo, paragonita, hematita, goethita, caolinita e gibbsita



Figura 5: Perfil estratigráfico do regolito de Chapada-GO.

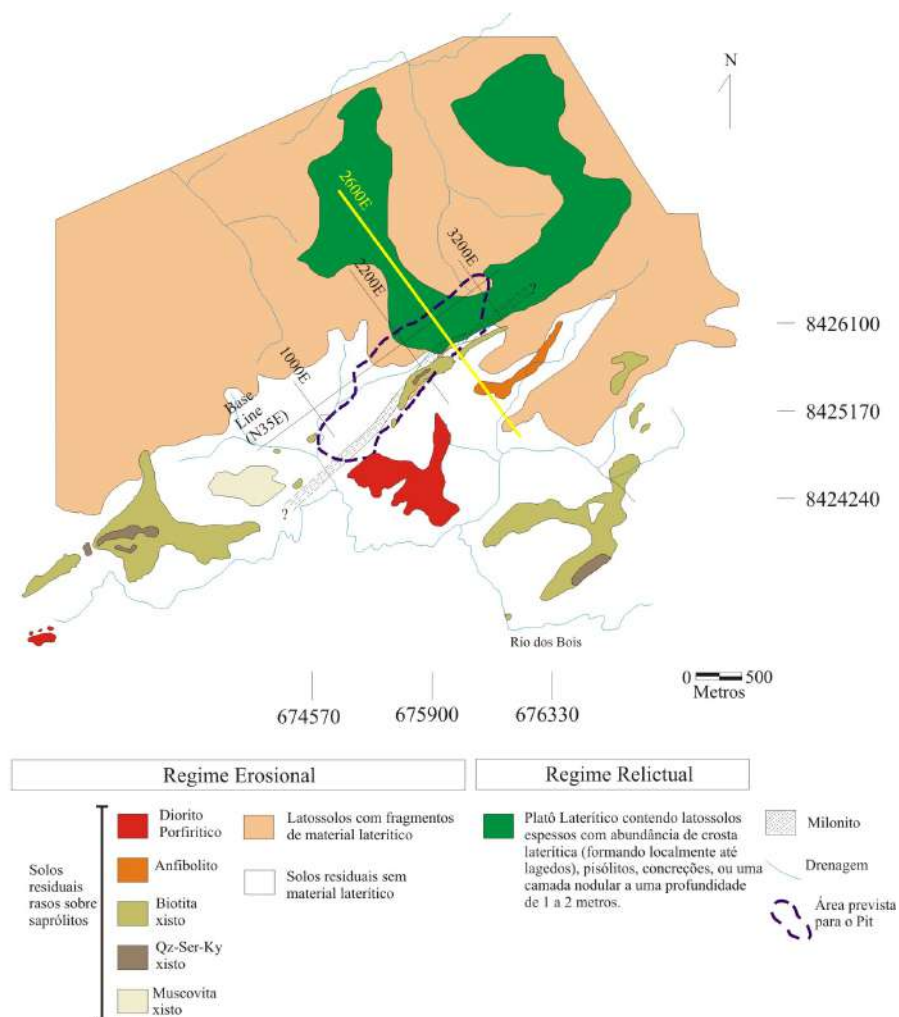


Figura 6: Mapa do regolito em escala de detalhe do depósito de Cu-Au de Chapada com a localização da linha 2600 (DNPM, 1988 modificado por Menezes, 2003).

Parisot *et al.* (1990) também faz uma descrição do perfil regolítico de Chapada, ele relata que a rocha fresca mineralizada encontra-se recoberta por um manto de alteração que ultrapassa 50 m, onde são observados os seguintes horizontes do perfil de alteração, do topo para base: solo, couraça ferruginosa (COU), argila mosqueada (AM), argila variegada (AV), horizonte cinza-esverdeado (HCV) e rocha alterada coerente (RAC), as descrições desses horizontes e a mineralogia estarão dispostos no Quadro 2.

Parisot *et al.* (1990), fazem uma descrição do regolito que vai dos solos aos horizontes mais profundos, até atingir a rocha fresca. Já Menezes (2003) apresenta uma descrição mais detalhada dos horizontes superficiais do regolito incluindo os materiais de superfície (*Lag* e blocos de crosta), (fig. 7). Neste trabalho serão consideradas apenas as amostras coletadas nos horizontes do regolito definidos por Menezes (2003).

*Quadro 2: Estratigrafia do regolito de Chapada realizada por Parisot, et al. (1990).*

Espessura (m)	Código	Horizonte	Descrição	Mineralogia
0,3	Solo	Solo	Solo rico em nódulos e cascalhos ferruginosos, com diâmetros entre 0,5 e 3cm, que foram herdados da crosta.	
0-1,5	COU	Couraça ferruginosa	Material maciço na base, o qual se torna fragmentos em blocos, quando se aproxima do topo.	gibbsita (traço), hematita (traço), caolinita e goethita aluminosa
1.5	AM	Argila mosqueada	Não apresenta estruturas primárias, possui grandes quantidades de nódulos ferruginosos.	Caolinita, goethita, goethita aluminosa, gibbsita (traço),
15	AV	Argila variegada	Apresenta estruturas primárias, na base, um plasma essencialmente caolinitico. Em direção ao topo nota-se o início de uma nodulação ferruginosa.	Caolinita, goethita, quartzo e micas brancas.
7-10	HVC	Horizonte cinza-esverdeado	Com estruturas primárias preservadas, apresenta os primeiros minerais de caolinita que se encontra associada a pequenas quantidades de esmectita, no interior do plasma argiloso, ou isolada nas pseudomorfozes das micas brancas, que são os últimos minerais primários da rocha a serem alterados.	Calolinita, esmectita, quartzo, micas brancas, flogopita e anfibólio
15-20	RAC	Rocha alterada coerente	Apresenta estruturas primárias, a alteração progride a partir de diaclases e fraturas, dando origem há um material friável.	Esmectita, caolinita (traço), vermiculita (traço), quartzo, micas brancas, flogopita, anfibólio, calcita e plagioclásio.
> 50	RF	Rocha fresca	Micaxisto	Quartzo, flogopita, plagioclásios, anfibólios, muscovitas, paragonita, distênio e calcita.

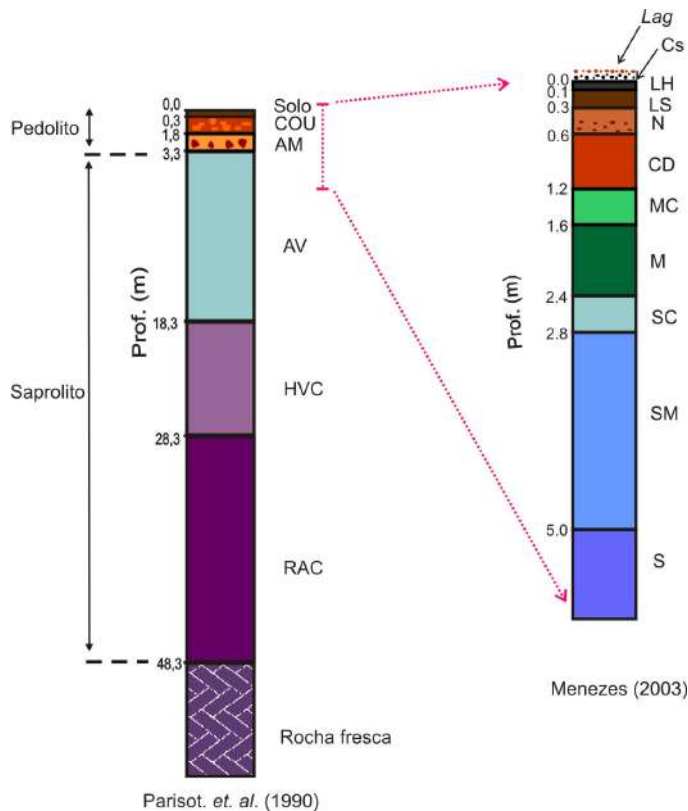


Figura 7: Comparação entre os perfis estratigráficos do regolito do depósito de Chapada, produzidos por Parisot et al. (1990) e Menezes (2003).

### 3 - METODOLOGIA DE TRABALHO

#### 3.1 - OBTENÇÃO DE DADOS:

As etapas seguidas durante o trabalho de campo executado em 2002 foram às seguintes: inicialmente foram reabertas linhas paralelas, com espaçamento de 200m ao longo do corpo mineralizado (2200E, 2400E, 2600E e 2800E). Depois foram executados 21 furos com o auxílio de um trado mecânico, e escavados quatro poços. Em alguns locais se utilizou amostras coletadas em testemunhos de sondagens, executados pela Santa Elina. Foram coletadas amostras de latossolo húmico, latossolo, crosta, zona mosqueada e saprolito. Nos locais onde havia a presença de material laterítico em superfície, foi feita a coleta de amostras de *Lag* e crosta de superfície.

Além da amostragem, foi realizado um mapeamento dos materiais regolíticos, ao longo das linhas (2200E, 2400E, 2600E e 2800E).

Neste trabalho utilizaremos apenas os dados obtidos ao longo da linha 2600E (fig. 6). Essa escolha baseou-se no fato de que a linha 2600E intercepta o platô laterítico, além de atravessar dois regimes de regolito diferentes (erosional e relictual), o que possibilitará observar os resultados nos dois tipos de regimes.

A fim de se estabelecer um teor de fundo (background) dos meios amostrais, foram coletadas amostras aleatoriamente espaçadas de *Lag*, de crosta de superfície, de latossolo húmico e de latossolo, em áreas não mineralizadas nas imediações do depósito.

### **3.2 - PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E AS ANÁLISES QUÍMICAS**

As amostras coletadas na linha 2600E e as amostras regionais foram quarteadas, e levadas a uma estufa para a secagem do material, posteriormente foram pulverizadas para a obtenção de uma fração <180#. Foram separadas alíquotas de 30g para ser enviado ao laboratório.

Foram escolhidos os laboratórios ACME e a ALS, onde se realizou análises com os seguintes métodos de abertura (tabela 1):

- Total por 4 ácidos (HCl, HF, HNO<sub>3</sub> e HClO<sub>4</sub>): visa atacar toda a matriz da amostra, dissolvendo todos os componentes da mesma, incluindo os óxidos de ferro e silicatos. Deixa apenas alguns componentes refratários.
- Água régia (1:3 – mistura dos ácidos nítrico e hidrocloreídrico): esta mistura de ácidos digere principalmente os sulfetos, alguns óxidos e silicatos, além de solubilizar todos os metais nobres.
- Pirofosfato de sódio (NaPiro): tem como objetivo extrair os elementos associados a matéria orgânica.

- Extração parcial para óxidos de Fe amorfo: extrai os elementos por um processo de digestão que ataca os óxidos de ferro amorfo.

**Tabela 1:** Relação dos tipos de análises executadas com o tipo de materiais utilizados e o número de amostras.

Tipo de abertura e leitura	n° elementos analisados	Tipos de amostras	n° de amostras da transversal	n° de amostras background
ICP – MS com abertura por 4 ácidos (HCl, HF, HNO <sub>3</sub> e HCl <sub>4</sub> )	41	Lag	22	5
		Crosta de superfície	16	4
		Latossolo	23	-
		Crosta	26	-
		Zona Mosqueada	20	-
		Saprolito	23	-
Absorção atômica com abertura “Fire Assay”	1 (Au ppb)	Lag	22	5
		Crosta de superfície	16	4
		Latossolo	23	-
		Crosta	26	-
		Zona Mosqueada	20	-
		Saprolito	23	-
ICP – AES com abertura por água régia	34 (Au ppm)	Latossolo húmico	27	7
		Latossolos	30	5
ICP – MS com abertura por pirofosfato de sódio	63	Latossolo húmico	27	7
ICP – MS com abertura parcial para óxidos de ferro amorfo	63	Latossolos	30	5

### 3.3 - TRATAMENTO DE DADOS:

Após a obtenção dos resultados analíticos, foi montada uma base de dados uniforme com todos os tipos de análises, logo após, foram plotados os resultados das amostras da linha 2600E.

Inicialmente separou-se as amostras coletadas nos poços, nos furos de trado e nos testemunhos onde se amostrou o saprolito, para que fossem plotados gráficos do tipo *box plot*. Esse tipo de representação de dados tornará possível o estudo da variação dos elementos ao longo do perfil. Foram utilizados os seguintes horizontes: *Lag*, crosta de

superfície, latossolo, crosta, zona mosqueada e saprolito. Estas amostras foram analisadas pelo método de análise de abertura por 4 ácidos.

A segunda etapa foi produzir gráficos de variação dos teores dos metais ao longo da linha 2600E, nos diversos meios de amostragem. Nas análises com a abertura por 4 ácidos, foram utilizados apenas os dados obtidos das amostras de *Lag*, crosta de superfície, latossolo e saprolito. Para os resultados obtidos pelo métodos de abertura por água régia, extração parcial para óxido de Fe amorfo e pirofosfato de sódio utilizou-se apenas as amostras dos latossolos (tabela 1).

Com as amostras regionais, também foram produzidos gráficos do tipo *box plot*, onde se utilizou o valor superior não “*outlier*” (fig. 8) como o valor limiar, separando os teores background dos teores considerados anômalos para cada horizonte amostrado. Esses valores estão representados nos gráficos de variação dos elementos ao longo da linha 2600E.

A terceira e última etapa, foi calcular o contraste geoquímico dos metais sobre a região do depósito. Para isto foram separadas as amostras que estavam localizadas sobre o corpo mineralizado, dado pela área projetada para o *pit* da mina. Foram plotados gráficos do tipo *box plot*, assim como no caso anterior, para obter o valor superior não “*outlier*” (fig. 8). Esse resultado foi dividido pelo valor limiar obtido nas amostras regionais.

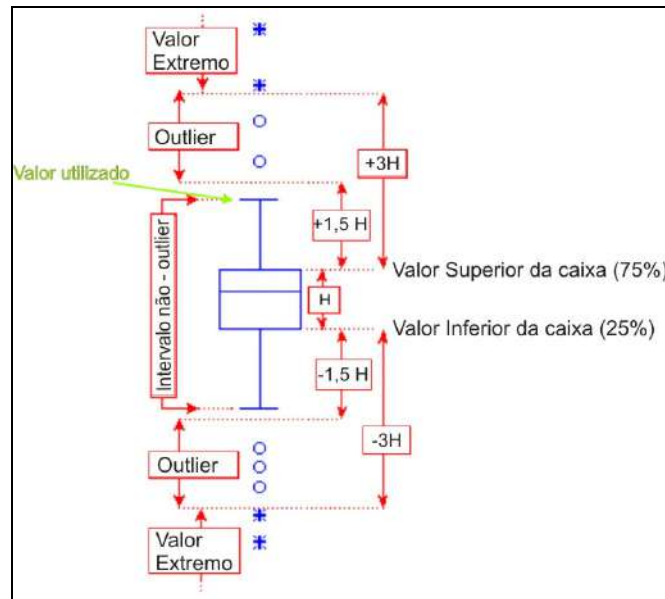


Figura 8: Exemplo do gráfico utilizado para calcular o valor limiar, enfatizando em o valor utilizado no cálculo do valor limiar e no cálculo dos contrastes.

#### 4 – RESULTADOS

A escolha dos elementos a serem representados, baseou-se nos estudos realizados por outros autores (Richardson, *et al.*, 1986 , Kuyumjian, 1995 e Cintra, 2003), que demonstravam a relação de alguns metais com a formação do depósito de Chapada e na identificação de anomalias em amostras de saprolito que estivessem sobre a área mineralizada. Os elementos que apresentaram consistentemente teores abaixo do limite de detecção foram excluídos.

Os metais selecionados foram separados em três grupos:

- I. Os elementos relacionados a mineralização: Cu, Au, Mo, Pb e U.
- II. Os elementos relacionados aos processos hidrotermais: Ba, K, Na, Mg e Sr.
- III. Os elementos de baixa mobilidade: Hf, Zr, Th e Fe.



#### 4.1 – VARIAÇÃO DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS ASSOCIADOS À MINERALIZAÇÃO, AO LONGO DO PERFIL REGOLÍTICO.

Na figura 9, podemos observar que o ouro tende a ser lixiviado dos horizontes mais superficiais se reprecipitando na zona mosqueada, já o cobre é lixiviado do saprolito até o latossolo, tendendo a se fixar mais nas crostas. Esse padrão de enriquecimento de cobre nas crostas, segundo Parisot (1990), em Chapada se dá principalmente pela presença das goethitas e secundariamente pela caolinita, que serão as principais fases portadoras de cobre.

O molibdênio demonstra sofrer um leve enriquecimento, que ocorre do saprolito até a crosta. Esse elemento no latossolo aparece mais depletado, voltando a apresentar um aumento nos teores das amostras de crosta de superfície e de *Lag* (fig.9).

O chumbo tende a ser levemente lixiviado até os latossolos e depois volta a sofrer um leve enriquecimento nos materiais de superfície. O urânio apresenta os seus maiores teores na crosta de superfície e na crosta mais profunda, e o horizonte que sofreu maior lixiviação foi o latossolo (fig.9).

O conjunto de elementos mostrados na figura 10 está associado aos processos de alteração hidrotermal sofridos neste depósito, o bário, sódio, potássio, estrôncio e o magnésio apresentam fortes tendências de lixiviação da base até o topo do perfil. Estes elementos têm como característica apresentar uma alta mobilidade.

Na figura 11, o conjunto de elementos representados tem em comum a característica de possuir baixa mobilidade, apresentando no depósito laterítico de Chapada, os seguintes padrões: o zircônio, o háfnio e o tório apresentam padrões similares, enriquecem na zona mosqueada e depois são lixiviados em direção ao topo do perfil. O ferro enriquece dos saprolitos até a crosta, é lixiviado nos latossolos e depois aumenta nos materiais de superfície.

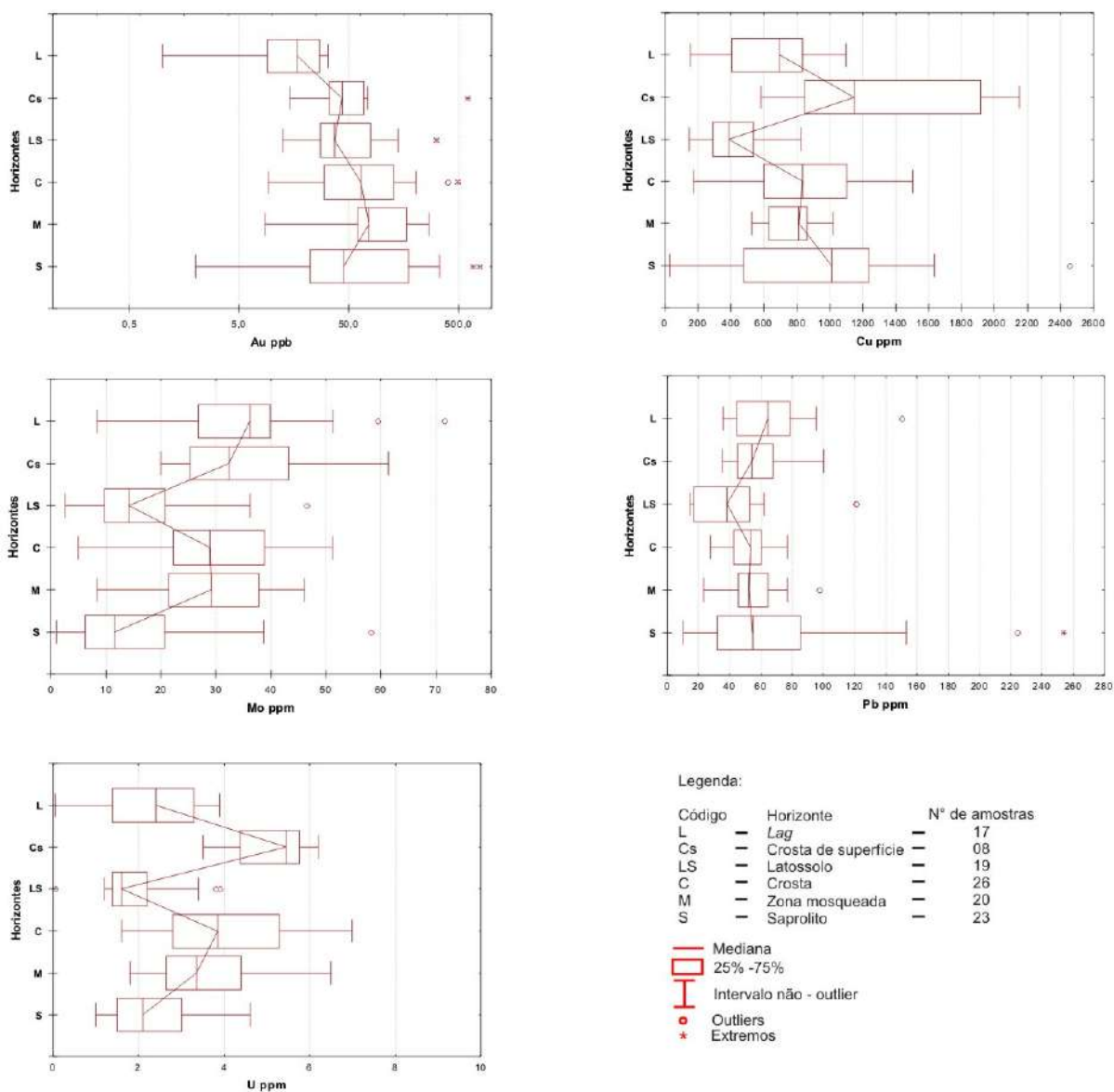


Figura 9: Variação dos principais elementos associado à mineralização, pelo método analítico de abertura com 4 ácidos.

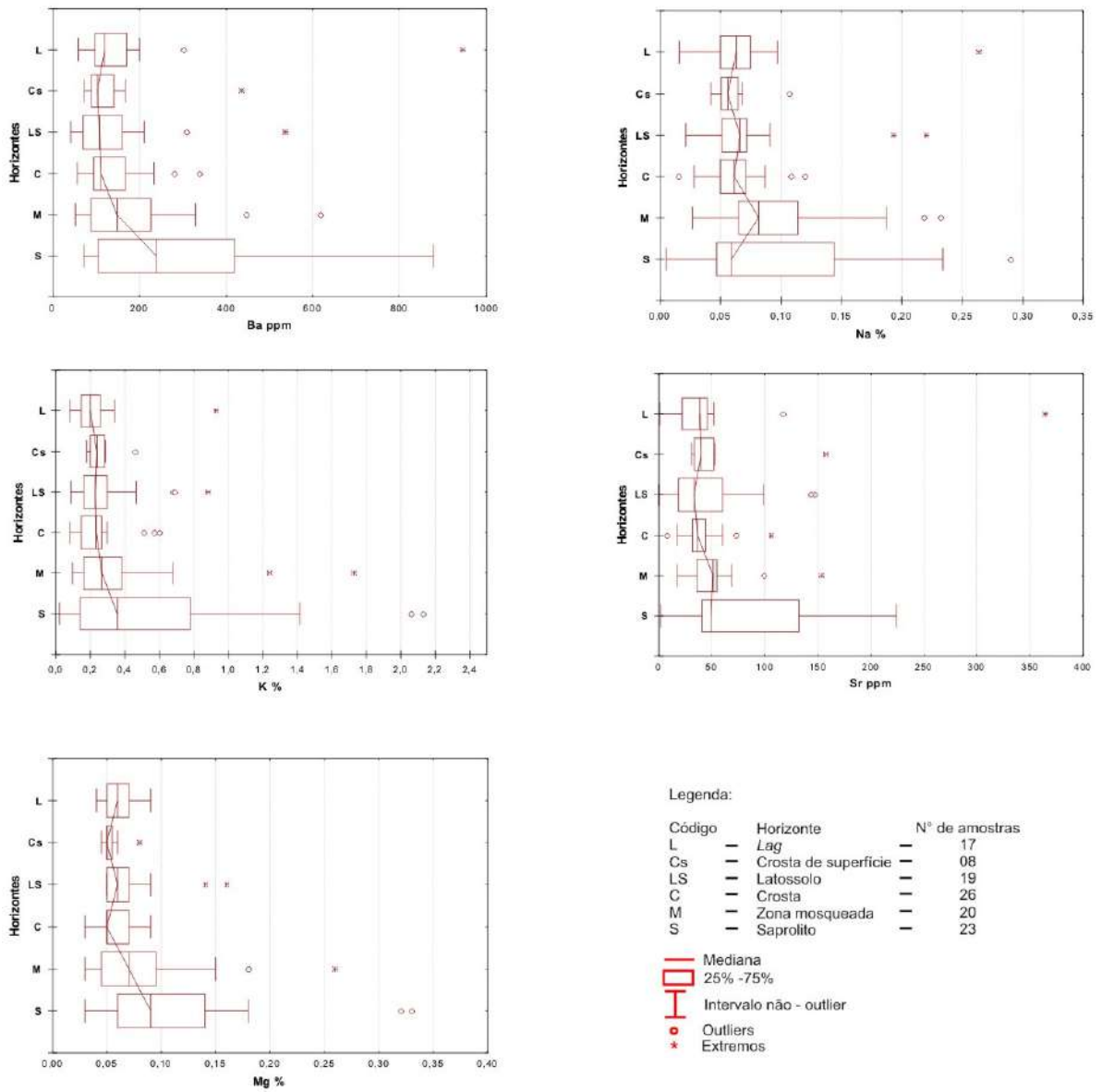


Figura 10: Variação dos principais elementos associados aos processos hidrotermais ocorridos no depósito, pelo método analítico de abertura com 4 ácidos.

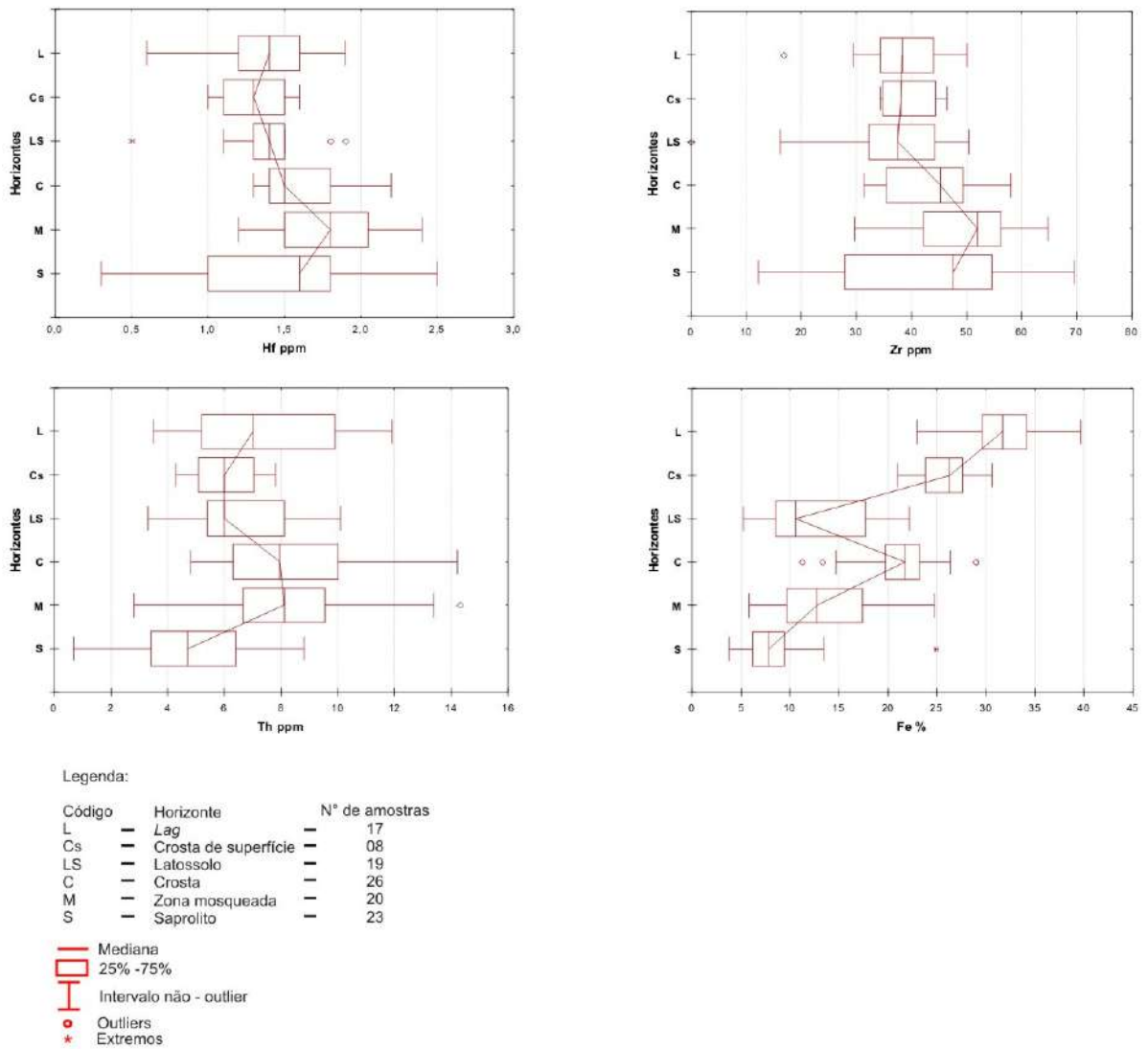


Figura 11: Variação dos principais elementos com baixa mobilidade relacionados ao depósito, pelo método analítico de abertura com 4 ácidos.

#### **4.2- DISPERSÃO DOS ELEMENTOS NOS PRINCIPAIS HORIZONTES DO REGOLITO, ANALISADOS COM O MÉTODO DE ABERTURA POR 4 ÁCIDOS E FIRE ASSAY”(AU PPB), AO LONGO DA LINHA 2600E.**

Ao analisar a dispersão de ouro nos horizontes: *Lag*, crosta de superfície, latossolo e saprolito, pelo método de abertura por “Fire Assay” (fig. 12), observou-se que os melhores resultados eram obtidos nas amostras da crosta de superfície, pois a anomalia demarca bem área do corpo mineralizado. No *Lag* o ouro está muito lixiviado, contudo apresenta um padrão de espalhamento, o que o torna um bom meio de amostragem em escala regional. Nos latossolos o ouro é lixiviado, enquanto que no saprolito a maior concentração encontra-se na região depósito, refletindo a rocha mineralizada.

Ainda na figura 12 temos a dispersão do cobre, observa-se que as altas concentrações de cobre na região do depósito são bem identificadas nas amostras obtidas dos horizontes *Lag* e crosta de superfície. O horizonte mais lixiviado é o latossolo, contudo na região a SE da área mineralizada é possível observar que ocorre uma elevação dos teores de cobre, esse efeito de enriquecimento ocorre por que essa região possui um regime de regolito diferente daquele que é encontrado na região do depósito. Na região a SE depósito temos um regime erosional onde o latossolo é pouco espesso e encontra-se imediatamente acima do saprolito. Na região do depósito o regime regolítico é relictual, o latossolo é mais espesso ocorrendo sobre a crosta. Estudos realizados por Parisot & Melfi (1983) demonstraram que os latossolos formados sobre o saprolito apresentaram teores mais elevados do que os latossolos que ocorrem sobre a crosta que tende a reter mais o cobre, mesmo que estes tenham se formado sobre a região mineralizada.

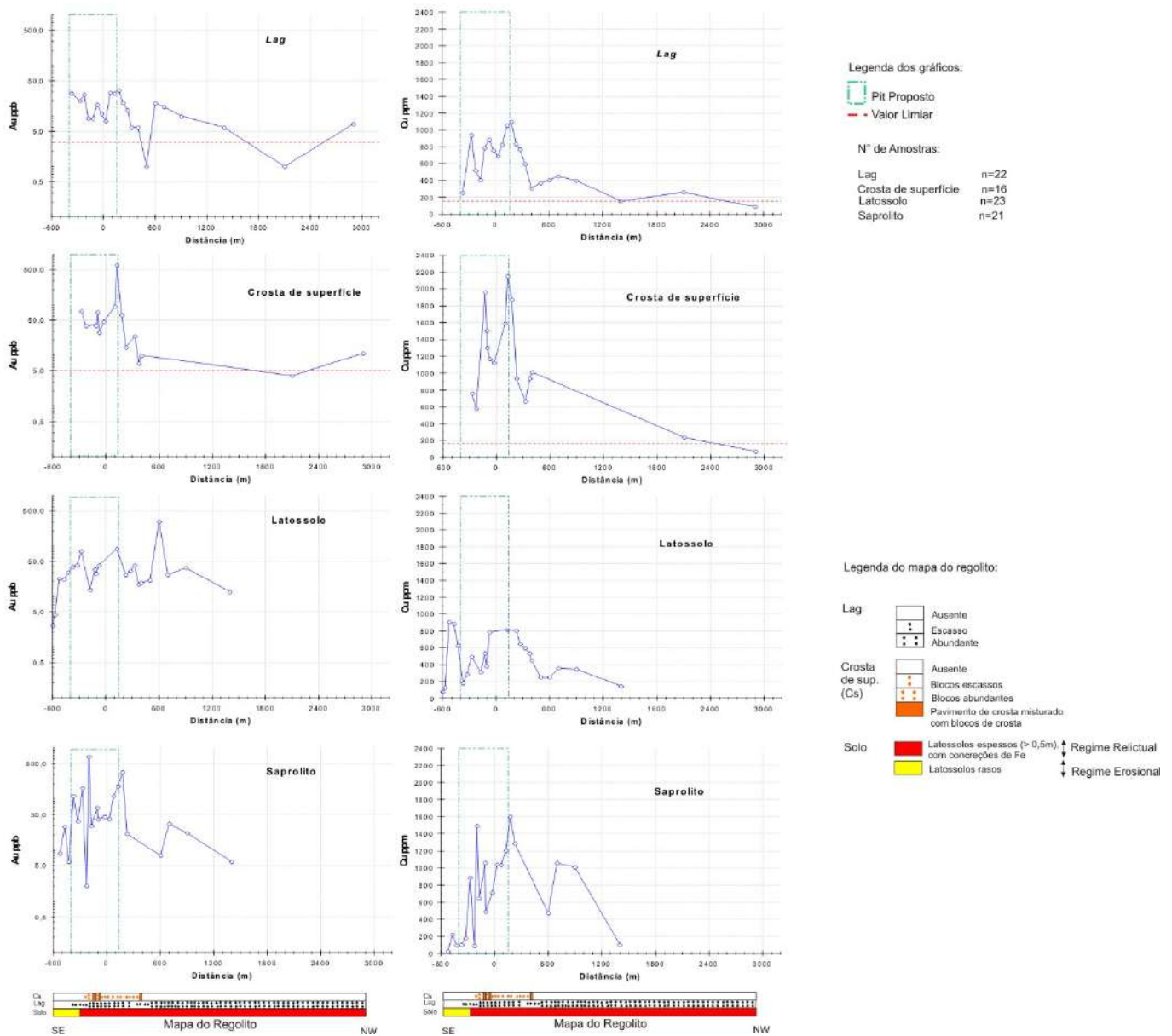


Figura 12: Dispersão do ouro e do cobre, com abertura por 4 ácidos, ao longo da linha 2600E.

Na figura 13, estão representados os elementos que se associam a mineralização de cobre em Chapada. O molibdênio, o chumbo e o urânio demonstram serem anômalos na região do depósito, os horizontes que dão os melhores resultados são o *Lag*, e a crosta de superfície, contudo o elemento que apresenta um maior contraste na região do depósito é o molibdênio.

Os elementos que estão associados a processos de alteração hidrotermal estão dispostos nas figuras 14 e 15.

O bário, o sódio e o potássio apresentam uma forte tendência de lixiviação em direção ao topo do perfil. É possível identificar que o sódio mesmo sendo um elemento muito móvel de baixa ocorrência em regolitos maduros, ainda apresenta no *Lag* e na crosta de superfície um enriquecimento na região do depósito (fig. 14). Essa concentração de sódio no perfil, aparentemente deve estar relacionada à ocorrência de minerais de paragonita. A paragonita foi identificada na zona mosqueada por Menezes (2003), (Quadro 1) e por Parisot *et al.*(1990) na rocha fresca (Quadro 2). A paragonita é um mineral da família das micas, corresponde a uma muscovita com K substituído por Na, ou seja, assim como a muscovita a paragonita também deve comportar-se como um mineral mais resistente ao intemperismo, o que aumentará a fixação de sódio no perfil.

O estrôncio parece ser pouco lixiviado da base para o topo do perfil, já o magnésio é mais lixiviado em direção ao topo do perfil, e no latossolo também é possível ver o mesmo efeito de enriquecimento na região do regolito erosional, Figura 15.

O tório, o zircônio e o háfnio (fig.16), apresentam um enriquecimento na região mineralizada, esse padrão é mais evidente no horizonte *Lag* e na crosta de superfície.

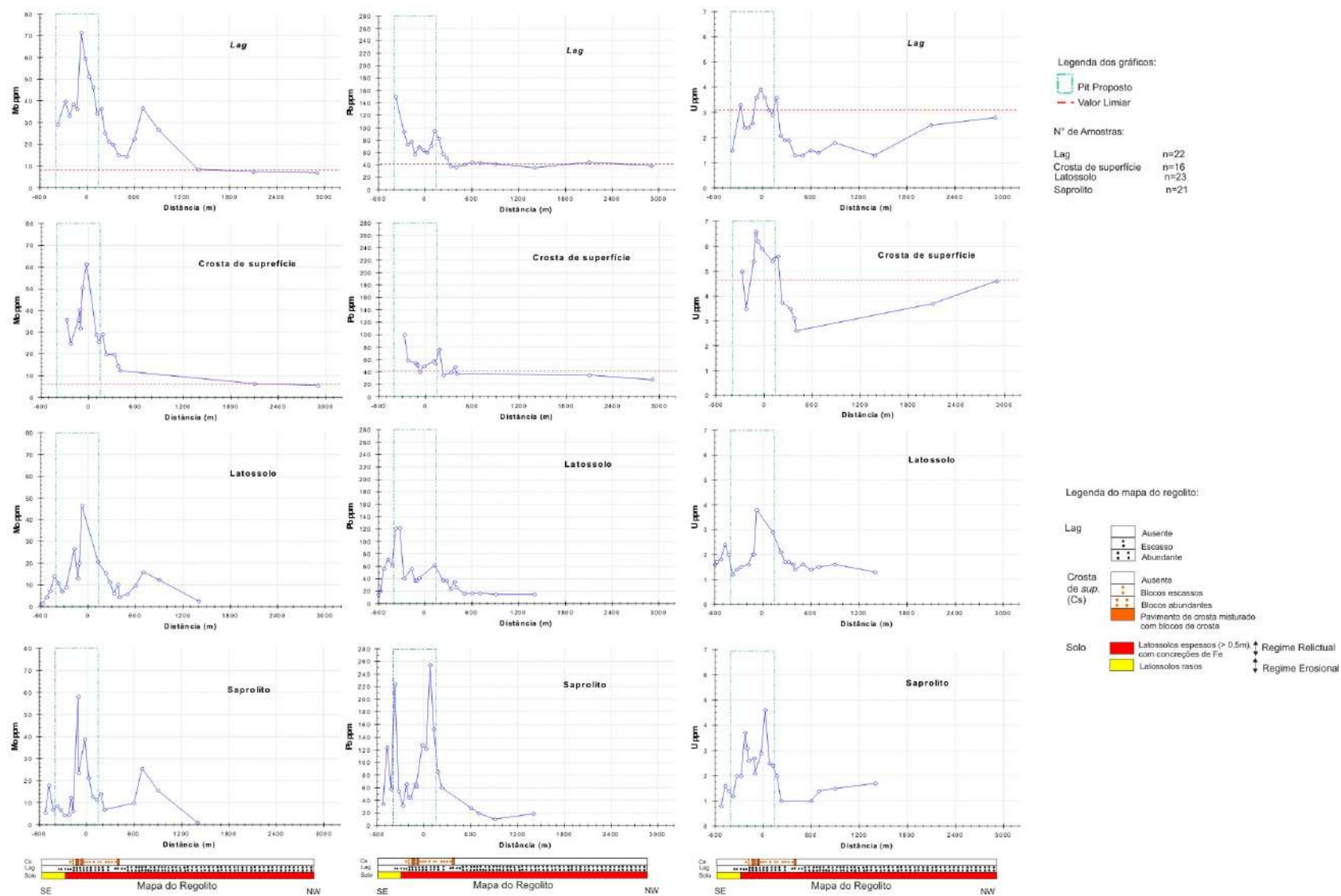


Figura 13: Dispersão dos principais elementos associados à mineralização, com abertura por 4 ácidos, ao longo da linha 2600E.



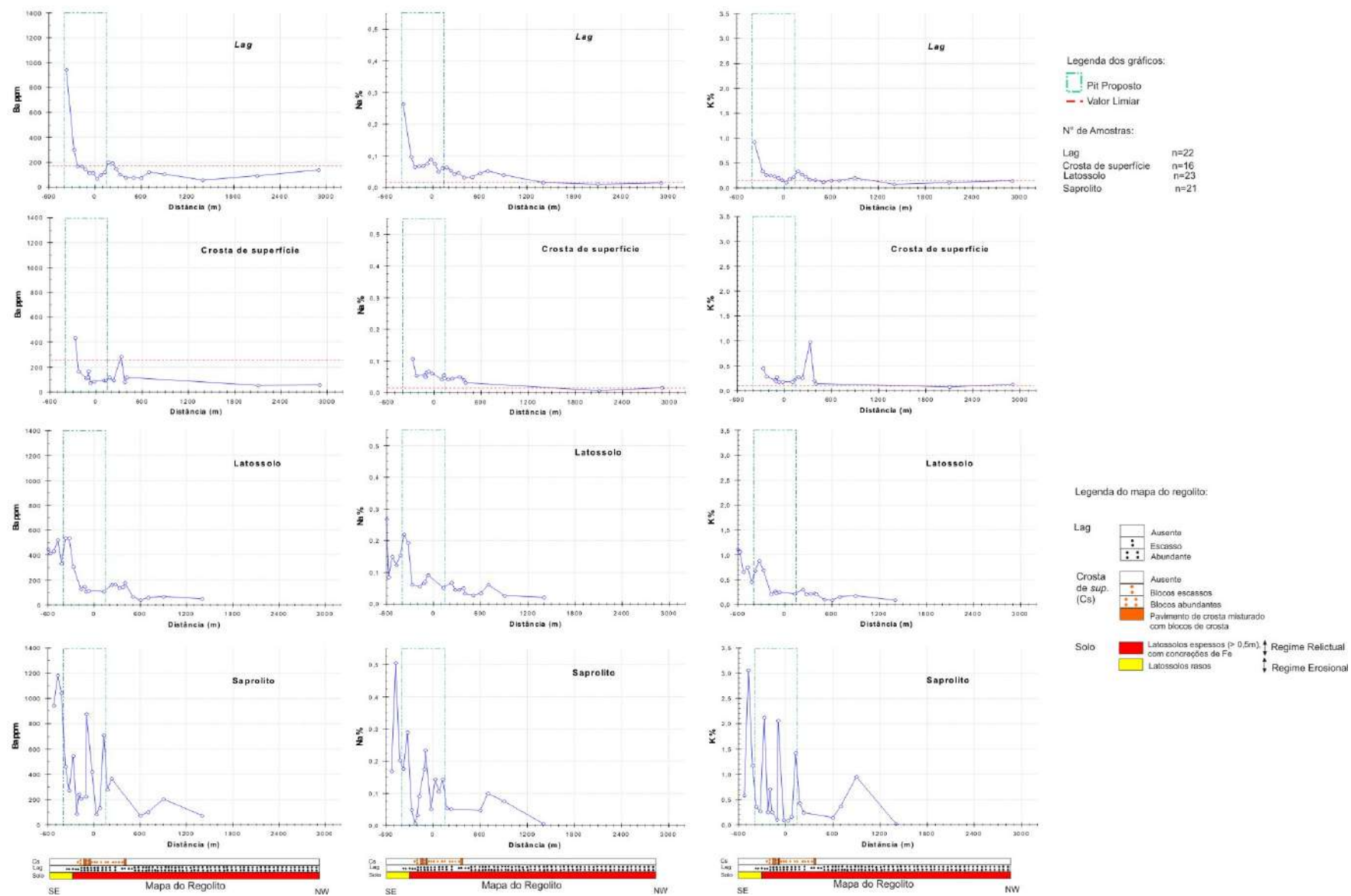


Figura 14: Dispersão dos principais elementos associado aos processos de alteração hidrotermal ocorridos neste depósito, com abertura por 4 ácidos, ao longo da linha 2600E.

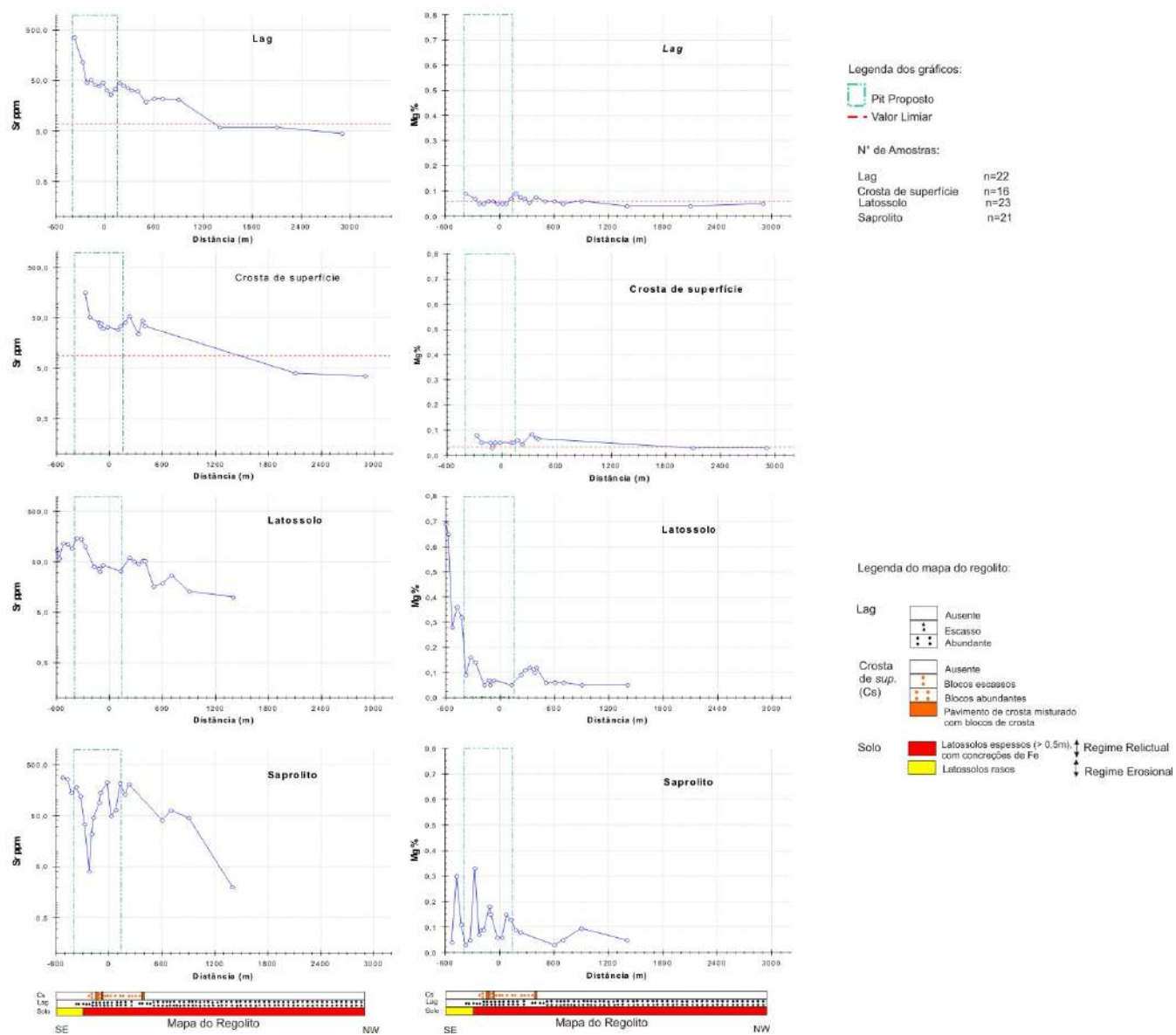


Figura 15: Dispersão dos principais elementos associado aos processos de alteração hidrotermal ocorridos neste depósito, com abertura por 4 ácidos, ao longo da linha 2600E.

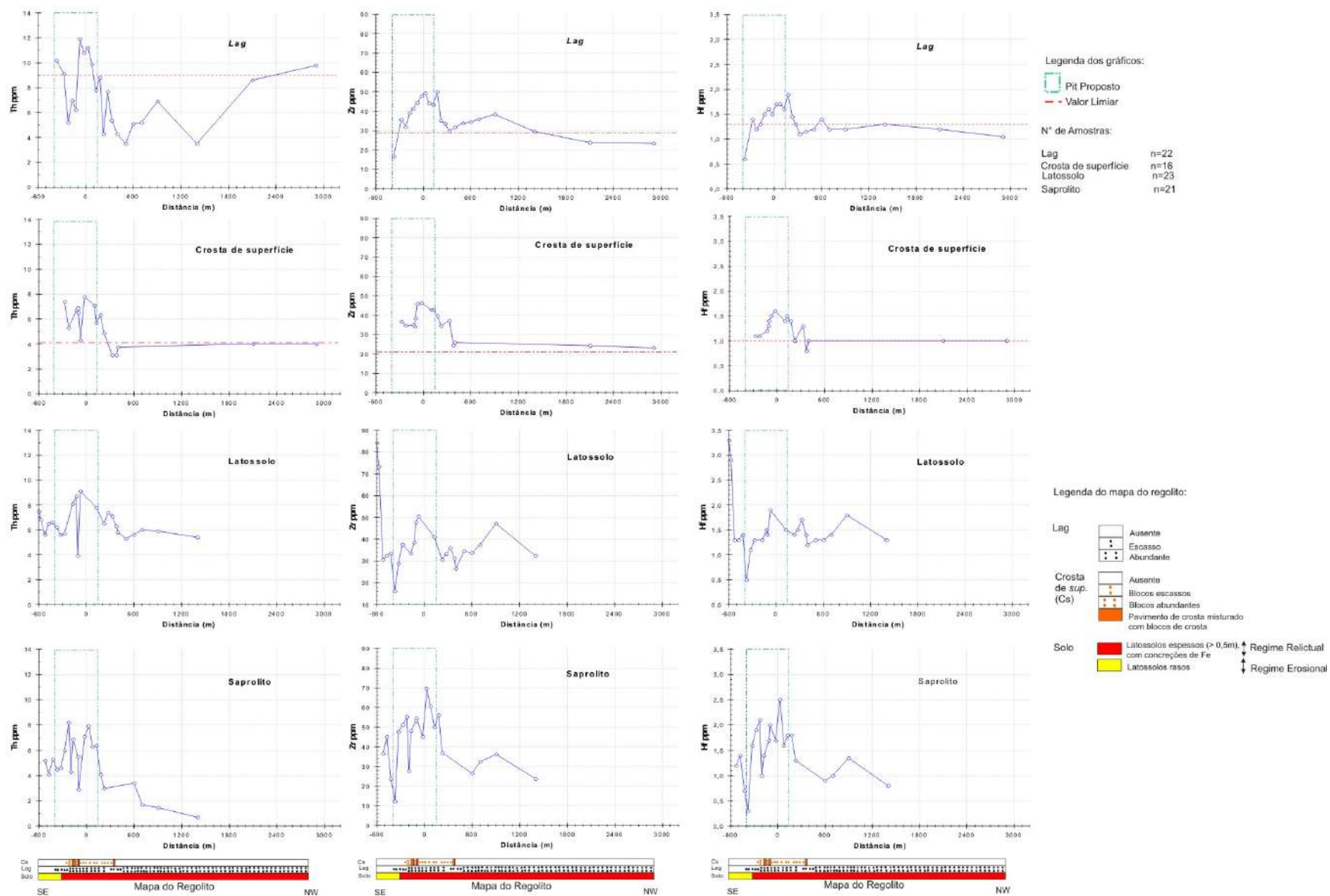


Figura 16: Dispersão dos elementos de baixa mobilidade associados à mineralização, com abertura por 4 ácidos, ao longo da linha 2600E.

#### **4.3- DISPERSÃO DOS ELEMENTOS NO LATOSSOLO HÚMICO E LATOSSOLO, COM ANÁLISES PARCIAIS.**

Com o intuito de se avaliar a eficácia dos diferentes métodos analíticos na identificação da mineralização, foram utilizadas as amostras de latossolo húmico e latossolo. Estes meios de amostragem são comumente utilizados na prospecção geoquímica, dado a sua ampla ocorrência.

##### **4.3.1 - Método de análise com abertura por água régia**

O cobre, o molibdênio e o chumbo, mesmo nos latossolos apresentam um alto contraste na região do depósito (fig.17). Neste tipo de análise é possível identificar também que os valores de cobre são maiores nos latossolos pertencentes aos regimes erosionais do que nos latossolos originados sobre o depósito.

Na figura 18, o bário, o estrôncio e o magnésio, apresentam teores mais elevados em uma região um pouco deslocada para NW do corpo mineralizado, essas concentrações possuem um alto contraste quando comparados ao valor limiar. Por este método o bário, o potássio e o magnésio mostram-se muito anômalos na região a SE do corpo mineralizado, esse aumento nos teores não são causados pela mudança do regime regolítico. Esta anomalia é ocasionada pelo aumento dos teores desses elementos no protólito, isso pode ser visualizado nas amostras de saprolito plotadas na figs. 14 e 15.

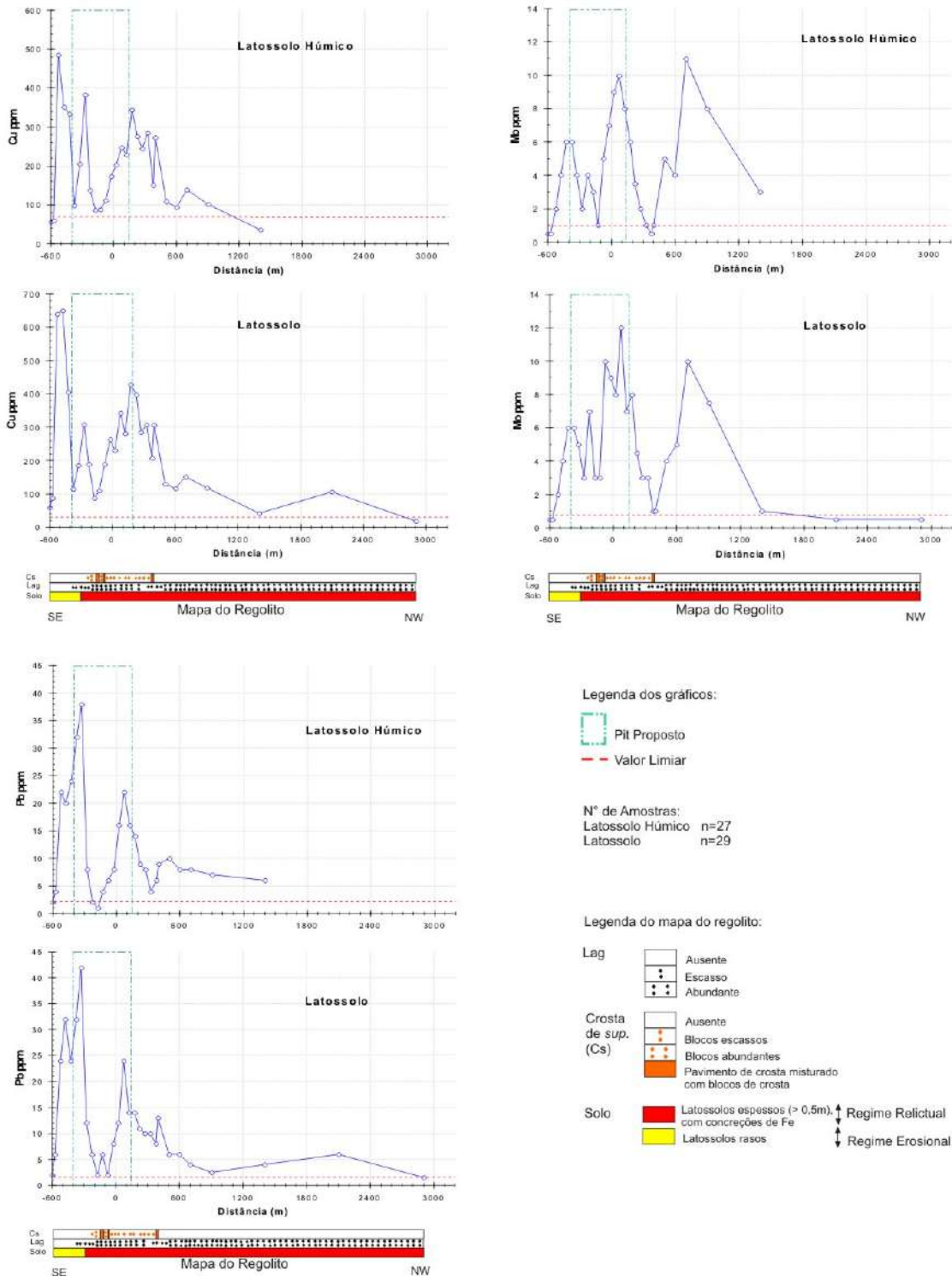


Figura 17: Dispersão do cobre e dos principais metais associados à mineralização, nos latossolos húmicos e latossolos pelo método de abertura por água régia, ao longo da linha 2600E.



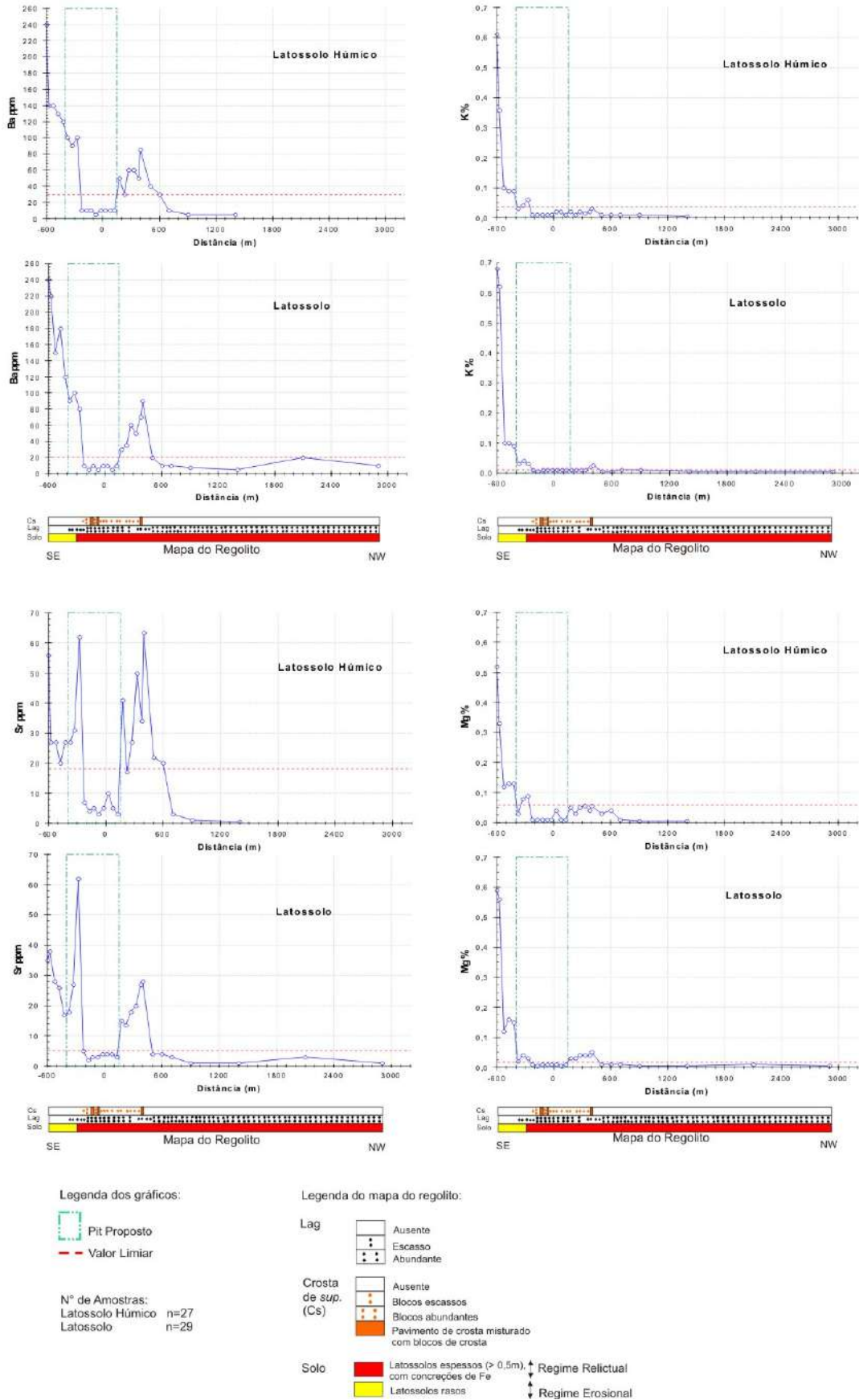


Figura 18: Dispersão dos elementos associados aos processos de alteração hidrotermal nos latossolos e latossolos húmicos, pelo método de abertura por água régia, ao longo da linha 2600E.

#### 4.3.2- Método de análise com abertura por pirofosfato de sódio (Napiro)

Na figura 19, os teores de cobre, molibdênio e urânio são bem contrastantes na região do depósito, o cobre apresenta teores ainda mais contrastantes na região a SE do depósito, cujo regime é erosional, em relação à região do depósito onde o regime é relictual.

O bário, o potássio, o estrôncio e o magnésio apresentam na zona mineralizada, valores pouco contrastantes em relação ao valor background (fig. 20). Novamente podemos observar que o bário, o potássio e o magnésio são anômalos na região a SE do corpo mineralizado, esse fenômeno é ocasionado pelo aumento dos teores desses elementos no protólito.

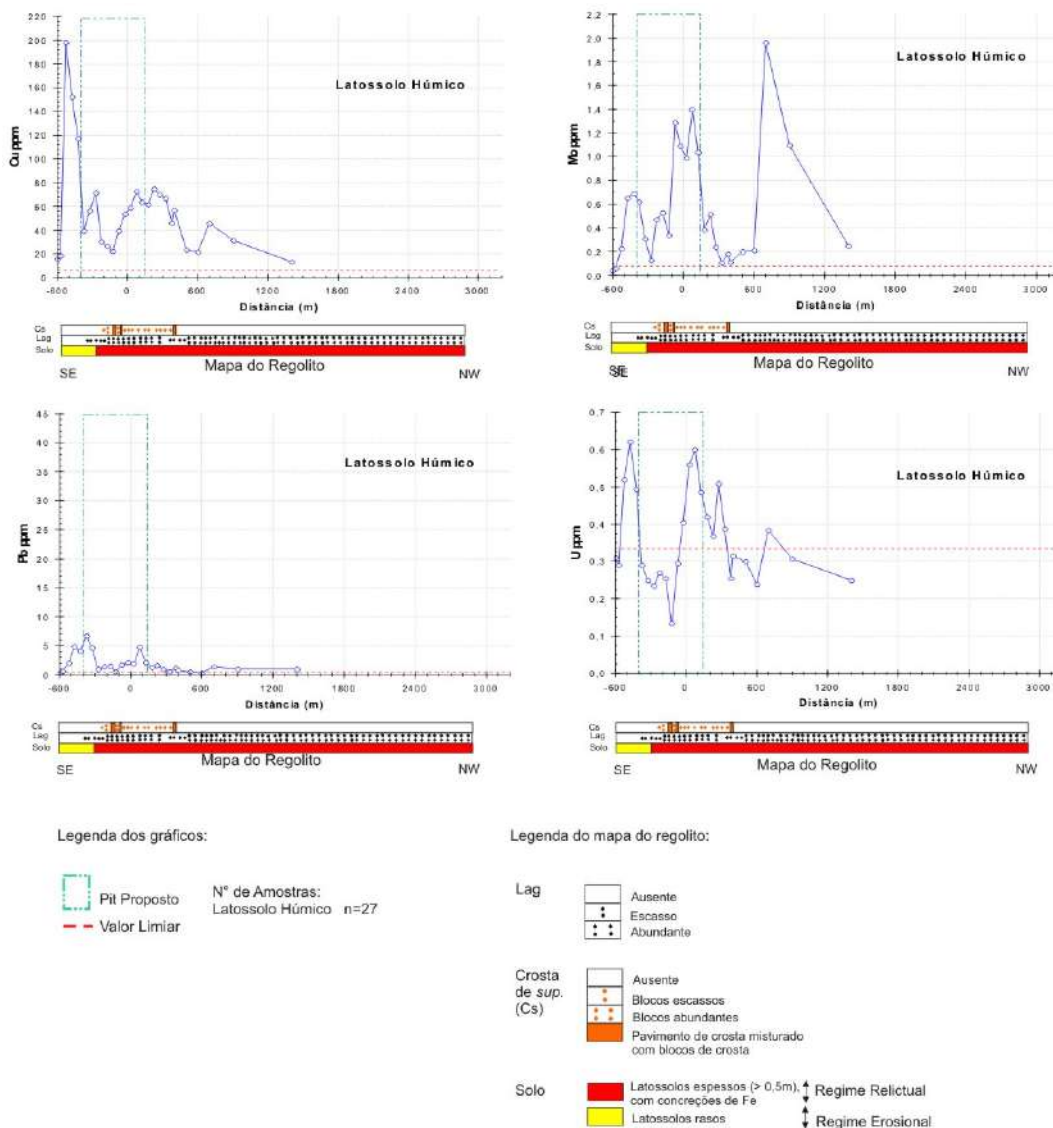


Figura 19: Dispersão dos principais elementos associados à mineralização de cobre, em Chapada/GO, nos latossolos húmicos pelo método de abertura por sódio de pirofosfato, ao longo da linha 2600E.

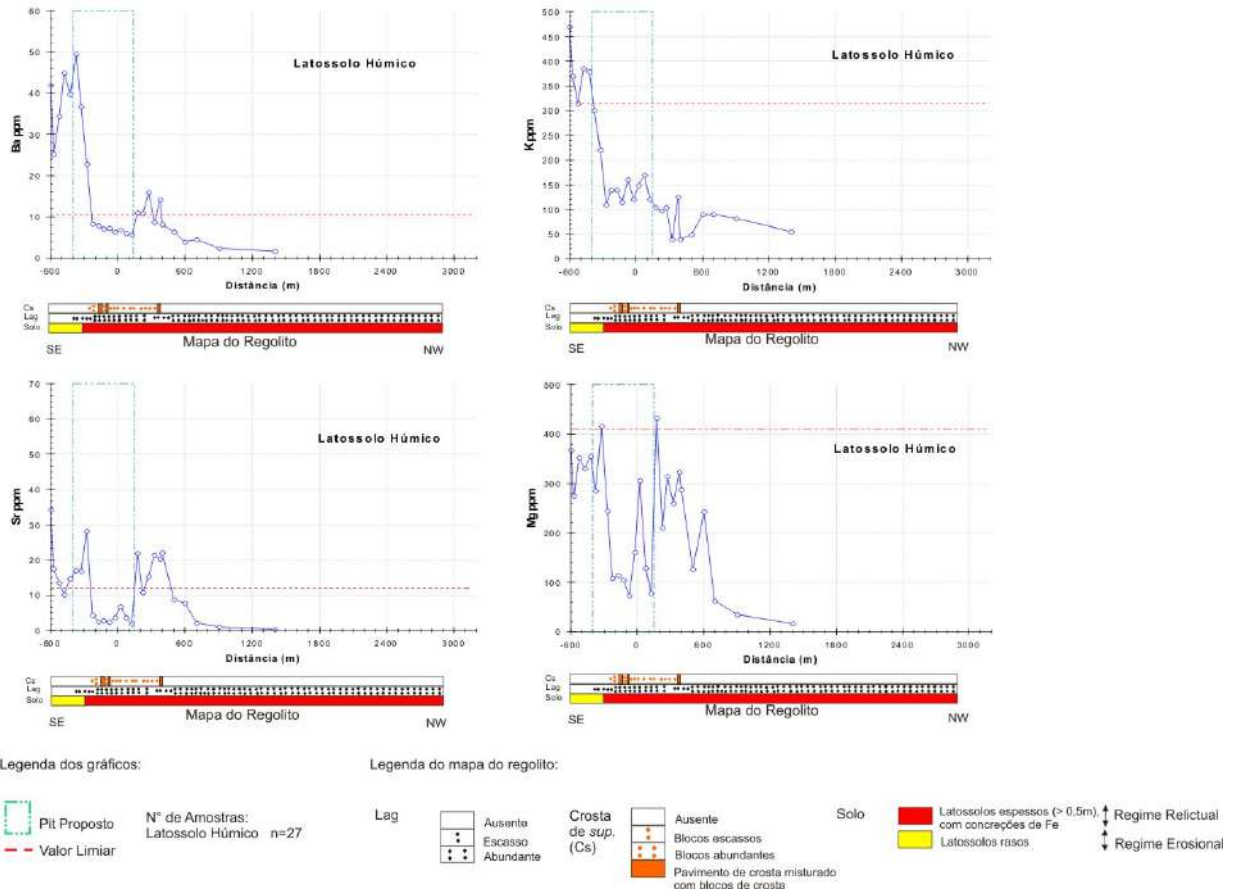


Figura 20: Dispersão dos principais elementos associados aos processos hidrotermais ocorridos em Chapada/Go, nos latossolos húmicos pelo método de abertura por pirofosfato de sódio, ao longo da linha 2600E.

Na figura 21, o tório, o zircônio, e o háfnio embora demonstrem valores anômalos sobre o depósito, o contraste destes com o valor background é muito baixo.



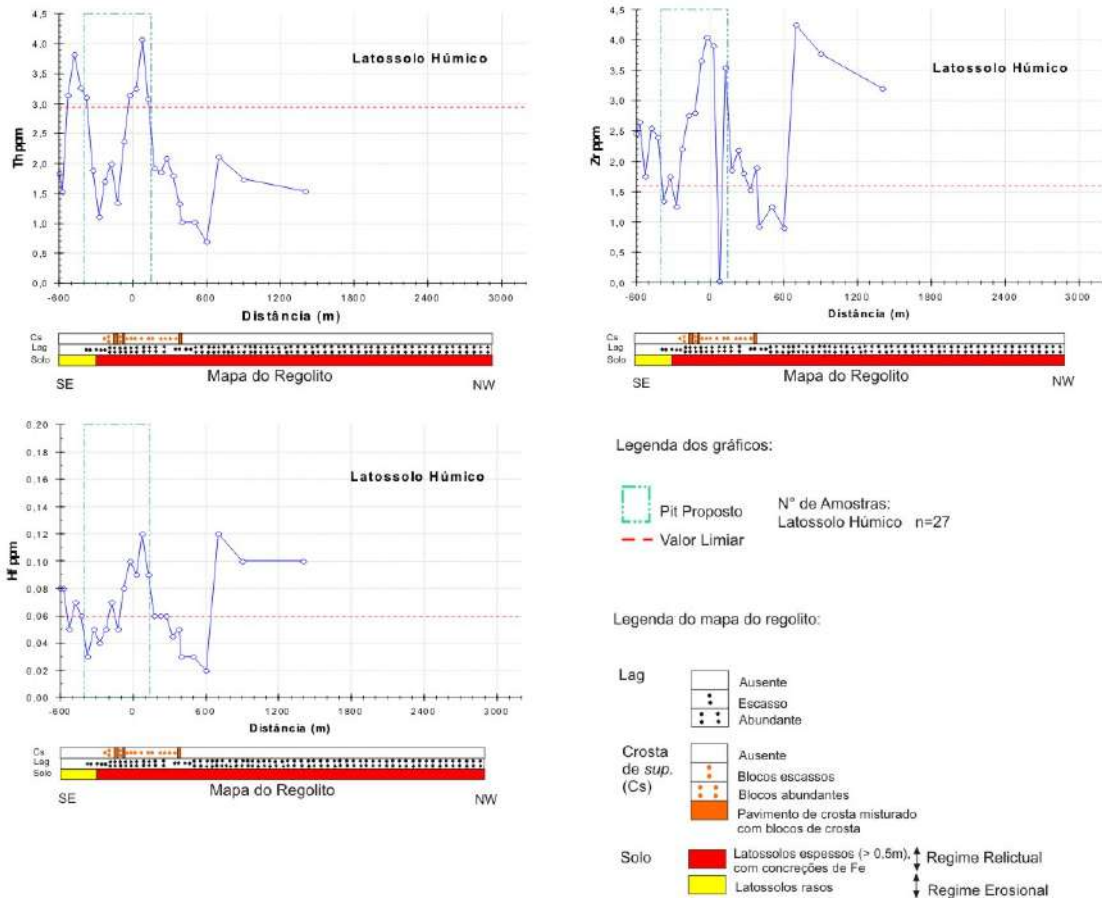


Figura 21: Dispersão doselementos com baixa mobilidade que estão associados ao depósito de Chapada/Go, nos latossolos húmicos pelo método de abertura por pirofosfato de sódio, ao longo da linha 2600E.

#### 4.3.3 - Método de análise com abertura parcial para óxidos de ferro amorfo

Na figura 22, os elementos analisados pelo método com abertura parcial para óxidos de ferro amorfo, demonstraram-se anômalos na região do depósito quando comparados aos teores médios regionais. O cobre analisado por este método se mostra ainda mais sensível à variação do regime do regolito. O aumento dos teores na região onde o regime é erosional é ainda mais evidenciado. Possivelmente esse fenômeno ocorre porque o cobre extraído nesse tipo de análise encontra-se adsorvido pelos óxidos de ferro em um processo recente de intemperismo, o que não ocorre nos latossolos do regime relictual que são mais antigos. O molibdênio analisado não deu bons resultados na identificação do depósito. Tanto o molibdênio como o urânio, por este tipo de análise, também demonstram serem muito sensíveis a mudança do tipo

de regime do regolito. Essa anomalia deve ocorrer pelas mesmas razões que levam o cobre a ser anômalo nesta mesma região, já que o molibdênio e o urânio também apresentam afinidade pelos óxidos de ferro. O chumbo apresenta algum contraste nas proximidades do depósito, porém o efeito de enriquecimento causado pela mudança do regime regolítico é menos evidente. Isso sugere que este metal não deve ser muito adsorvido pelos óxidos de ferro amorfo.

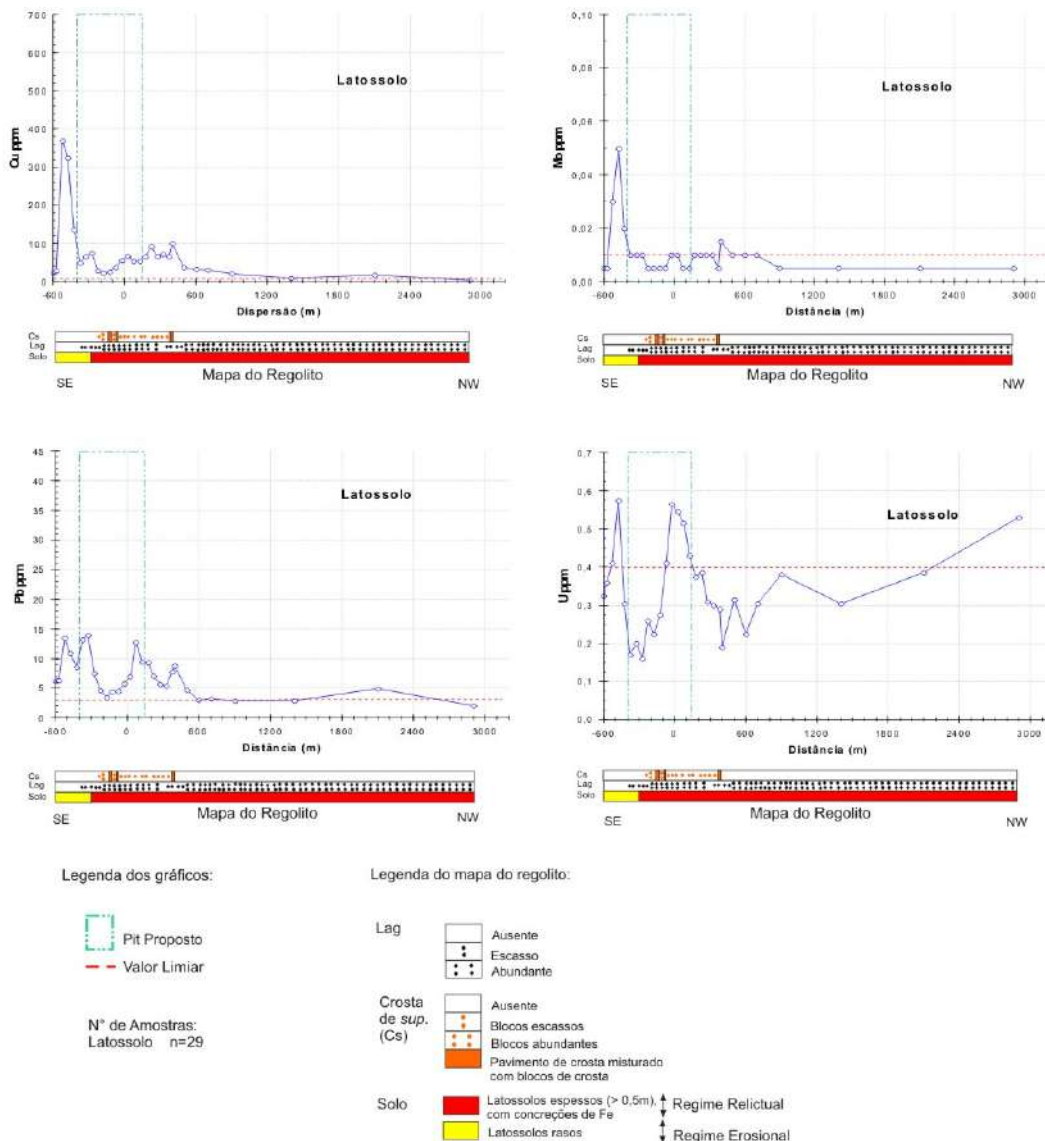


Figura 22: Dispersão do cobre e dos principais elementos associados a mineralização, em Chapada/Go, nos latossolos pelo método de abertura parcial para óxidos de ferro amorfo, ao longo da linha 2600E.

O bário, o estrôncio e o magnésio, aparentam um leve enriquecimento na região próxima ao depósito. O sódio demonstra uma anomalia na região do depósito. O bário, o

potássio e o magnésio, apresentam seus valores mais anômalos na região a SE da região corpo mineralizado, que é causado pelo aumento dos teores desses elementos no protólito, figura 23.

Na figura 24, o tório não apresenta bons resultados quando analisado por este método, o zircônio apresenta uma leve anomalia na região do depósito.

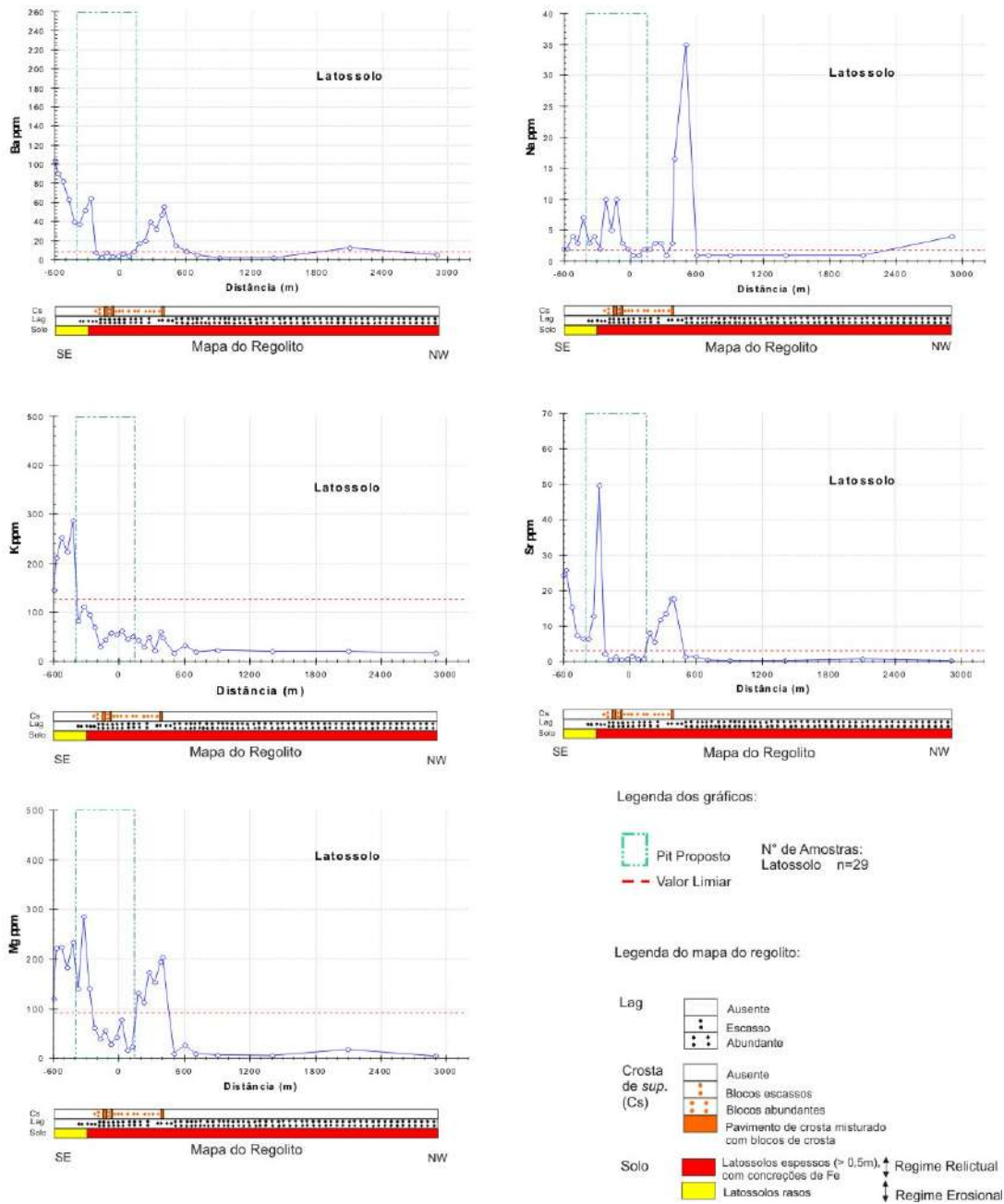
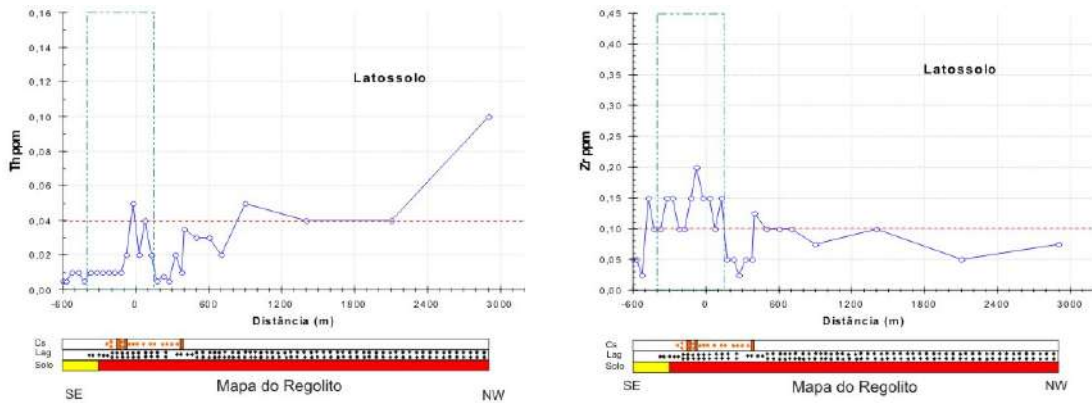


Figura 23: Dispersão dos principais elementos associados aos processos hidrotermais ocorridos em Chapada/Go, nos latossolos pelo método de abertura parcial para óxidos de ferro amorfo, ao longo da linha 2600E.



Legenda dos gráficos:



Nº de Amostras:  
Latossolo n=29

Legenda do mapa do regolito:



Figura 24: Dispersão dos elementos com baixa mobilidade associados a moneralização de Chapada/Go, nos latossolos pelo método de abertura parcial para óxidos de ferro amorfo, ao longo da linha 2600E.

#### 4.4 – Análises dos contrastes




Ao compararmos os valores obtidos sobre o depósito e os valores obtidos em amostras regionais, nos diferentes tipos de métodos analíticos utilizados foi montada a tabela 2, onde é possível identificar os métodos que dão os melhores resultados para cada tipo elemento e de horizonte.

Tabela 2: Valores de contraste obtidos a partir do cálculo dos teores médios sobre o depósito divididos pelos teores médios das amostras regionais

	Au	Cu	Mo	Pb	U	Ba	Na	K	Sr	Mg	Th	Zr	Hf
Lag -4A	9,67	6,47	7,33	2,34	1,26	1,55	5,54	2,13	7,43	1,17	1,32	1,72	1,31
Crosta - 4A	18,60	11,22	7,65	1,44	1,32	0,65	3,40	2,23	5,67	1,67	1,90	2,16	1,60
Latossolo húmico -AR	-	4,78	10,00	11,00	-	3,00	-	0,86	3,44	1,33	-	-	-
Latossolo - AR	-	13,00	13,33	16,00	-	4,00	-	2,50	5,60	3,33	-	-	-
Latossolo húmico -NaPyro	-	12,25	17,50	3,23	1,67	2,16	-	0,54	1,82	0,65	1,10	2,53	1,82
Latossolo - Ox. Fe	-	12,62	1,00	4,62	1,41	7,47	2,50	0,75	5,25	2,10	0,88	2,00	-

**Legenda:**

<b>Contrastes</b>		<b>Métodos analíticos:</b>
3,00 - 5,99		4A - 4 ácidos (HCl, HF, HNO <sub>3</sub> , HCl <sub>4</sub> )
6,00 - 9,99		AR - Água Régia
10,00 - 18,00		NaPyro - Sódio Pirofosfato
		Ox. Fe - Abertura parcial para óxidos de ferro amorfo

Ao analisar o Lag e a crosta de superfície por 4 ácidos, obtemos bons contrastes na região do depósito, para Au, Cu, Mo. O Latossolo húmico e o latossolo, quando analisados pelos métodos de abertura parcial, demonstrou valores de contraste muito alto, para Cu, Mo e Pb.

## 5 – DISCUSSÕES

Parisot *et al.* (1990), relata que mineralização de cobre de Chapada/GO é disseminada, e que esta apresenta baixos teores de cobre, que ocasionará a existência de soluções de alteração com baixas concentrações de cobre. A principal fase portadora de cobre no perfil de alteração é a goethita, e como um fenômeno puramente local, a caolinita na couraça também fixará o cobre, já que a capacidade das goethitas de reter o cobre é limitada. Por fim, conclui-se que de forma geral o cobre tende a sofrer uma lixiviação da base para o topo do perfil.

Parisot & Melfi (1983), ao estudarem depósitos lateríticos na região central do Brasil, demonstraram através de análises totais que os teores de cobre nos solos que se formam sobre a crosta, são menores do que os teores de cobre em solos formados diretamente sobre o

saprolito. Esse estudo também observou que mesmo em regiões anômalas os teores encontrados em amostras de solo são duas ou três vezes menores do que os valores obtidos em amostras de crosta.

Segundo esses autores, os nódulos de óxidos de ferro encontrados no solo provindos da degradação da crosta, seriam a fração do solo que apresentariam os valores mais altos cobre, já que o cobre apresenta uma preferência pelos óxidos de ferro e, além disso, devemos considerar a existência de uma litodependência entre a crosta e o saprolito. Conseqüentemente, essa fração é a que será o alvo de maior interesse para a prospecção.

Em um estudos realizado por Richardson *et al.* (1986) no depósito de Chapada, onde se analisou amostras de rocha de uma transversal ao depósito (2200E), foi relatado que os teores de Na<sub>2</sub>O e Sr mostram-se mais elevados no cento do depósito.

Recentemente foi publicado por Ramos Filho *et al.* (2005) um outro trabalho sobre o depósito de Chapada/GO onde através de análises gamaespectométricas, foi identificado um enriquecimento de K na região do depósito, que estaria relacionada aos processos hidrotermais ocorridos no depósito.

## **6 – COMPARAÇÃO DO DEPÓSITO DE CHAPADA/GO COM O DEPÓSITO DE SALOBO 3α /PA**

Segundo Parisot *et al.* (1990) a fixação de cobre no perfil de alteração dependerá da natureza e da quantidade de minerais secundários que se formam e da capacidade deste de fixar o cobre e conseqüentemente da natureza das soluções intempéricas.

Toledo-Groke *et al.* (1987) descrevem o depósito de cobre Salobo 3α, serra dos Carajás, como sendo constituído por rochas metassedimentares, onde a mineralização está contida

nos sulfetos de cobre que ocorrem disseminados ou em níveis milimétricos a centimétricos, concordante com a estrutura da rocha. Este depósito também se encontra recoberto por um espesso manto de alteração, com espessura média de 60m. O regolito formado possui um alto teor de cobre, provindos da liberação de cobre dos sulfetos primários que são fixados em diversas fases secundárias. A formação dessas fases secundárias está relacionada diretamente ou indiretamente à alteração dos minerais primários. O cobre no perfil de alteração se fixará nas vermiculitas, esmectitas, nos óxidos de manganês e nas goethitas.

Parisot *et al.* (1990) relata que Salobo 3 $\alpha$  além de possuir uma estrutural favorável a formação do depósito, também possui teores de cobre na rocha são mais elevados do que os teores encontrados em Chapada, ocasionando a formação de soluções intempéricas mais ricas em cobre. A grande quantidade de fases secundárias susceptíveis a fixação de cobre aliado aos fatores descritos anteriormente, tornará o regolito de Salobo 3 $\alpha$  mais rico em cobre do que o depósito de Chapada.

Segundo esses mesmos autores, Chapada e Salobo 3 $\alpha$  possuem em comum o fato de possuir como principal mineral secundário fixador de cobre a goethita, além de apresentarem fenômenos puramente locais, como uma fase secundaria que ajudará na fixação do cobre no perfil de alteração, que no caso de Chapada seriam as caolinitas e em Salobo 3 $\alpha$  seriam as vermiculitas.

## 7 – CONCLUSÕES

- ✓ O ouro no regolito tende a ser lixiviado dos horizontes mais superficiais, sendo reprecipitado na zona mosqueada. Embora o ouro ocorra muito lixiviado no *Lag*, ainda é possível observar um padrão de dispersão, dado ao seu espalhamento em superfície, que o tornará um bom meio de amostragem em escala regional.
- ✓ O cobre demonstrou um comportamento muito parecido com o padrão encontrado por Parisot & Melfi (1983) e Parisot *et al.* (1990), onde observa-se de modo geral que o cobre é lixiviado da base para o topo do perfil. Demonstrando uma tendência de ficar retido na crosta, que é chamada por Parisot *et al.* (1990) de couraça, esse fenômeno ocorreria pelo aumento de minerais de goethita, e secundariamente pelos minerais de caolinita. Neste trabalho foi possível estudar materiais de superfície, que ainda não haviam sido investigados detalhadamente. Foi possível verificar que a crosta de superfície também tende a reter o cobre.

Os resultados de cobre obtidos no latossolo evidenciaram a importância de se fazer um estudo detalhado do regolito antes de se iniciar uma campanha de amostragem, pois os latossolos apresentam-se muito sensíveis a mudanças do tipo de regime regolítico. Observou-se que os teores de cobre nos latossolos do regime erosional, originados sobre o saprolito em uma região fora do corpo mineralizado, são mais elevados do que os teores obtidos nos latossolos originados no ambiente relictual, mesmo quando as amostras coletadas estavam sobre a região mineralizada. Esse efeito foi ainda mais evidente nas análises pelo método com abertura por água régia, pirofosfato de sódio e abertura parcial para óxidos de ferro amorfo.

- ✓ A maioria dos elementos apresenta-se depletado nos latossolos. Ao analisarmos estes elementos por análises com métodos de aberturas parciais do tipo água régia, pirofosfato



de sódio e abertura parcial para óxidos de ferro amorfo, é possível identificar anomalias na região próxima ao depósito. Esses teores quando comparados ao valor limiar das amostras regionais apresentam altos valores de contraste. Nestes tipos de análises, alguns elementos como Mo e U também demonstraram-se sensíveis a mudança do regime regolítico, enquanto que o enriquecimento dos teores de Ba, K e Mg, a SE do depósito seriam ocasionados apenas pelo enriquecimento desses elementos no protólito, e não pela mudança do tipo de regime regolítico.

- ✓ Os elementos Mo, Pb e U demonstraram-se anômalos sobre o depósito, essa anomalia poderá ser facilmente identificadas nos materiais de superfície (Lag e crosta de superfície). Esses elementos são identificados por outros autores como sendo associados à mineralização cobre.
- ✓ Os elementos que estão associados aos processos hidrotermais ocorridos em Chapada/GO, como o Ba, Na, K, Sr e Mg, embora apresentem-se anômalos sobre a região do depósito, eles são muito lixiviados em direção ao topo do perfil, esse padrão está diretamente associado ao alto potencial de mobilidade desses elementos.
- ✓ Os elementos de baixa mobilidade, como Th, Hf e Zr, também demonstrarão teores anômalos na região do depósito. As amostras de superfície (*Lag* e crosta de superfície) capturaram muito bem as anomalias na região do depósito.

## 8 – Bibliografia

- Almeida, F. F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B., Fuck, R. A. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande, Anais, 363-391.
- Braun, O.P.G, 1970, Contribuição à geomorfologia do Brasil Central: Revista Brasileira de Geografia, v.32, p. 3-40
- Butt, C. R. M. & Zeegers, H. (eds) 1992. *Regolith Exploration Geochemistry in Tropical and Subtropical Terrains, Handbook of Exploration Geochemistry*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. 607 p.
- Cintra, E. C. 2003. Aplicação de redes neurais no controle de teores de cobre e ouro do depósito de Chapada (GO). Tese de Doutorado – Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista. 151 p.
- Delgado, I. M., Souza, J. D., Silva, L. C., Silveira Filho, N. C., Santos, R. A., Pedreira, A. J., Guimarães, J. T., Angelim, L. A., Vasconcelos, A. M., Gomes, I. P., Valente, C. R., Perrotta, M. M. e Heineck, C. A., 2003. Geotectônica do escudo atlântico. In: Bizzi, L.A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M e Gonçalves, J. H. (eds.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil, CPRM, 227-334.
- Kuyumjian, R. M. 1991. A suggest hydrothermal exhalative origin for the Chpada copper-gold deposit, *Brazil. Symp. Brazil Gold-91*, Belo Horizonte, p.231-234.
- Kuyumjian, R. M. 1995. Diversity of fluids in the origin of the Chapada Cu-Au deposit, Goiás. *Rev. Bras. Geoc.* **25**(3): 203-205.
- Menezes, R. O. G. 2003. Geoquímica e Mineralogia do Regolito do Depósito de Cu-Au de Chapada Grande Goiás, Brasil. Monografia de Graduação – Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 69p.
- Parisot, J. C. & Melfi, A. J. 1983. Lateritic alteration of metasedimentary rocks with copper sulfide mineralization in central Brazil. 1983. In: Melfi, A.J., Carvalho, A. (eds.). II International Seminar on Lateritisation Processes. São Paulo, Brazil, July, 185-195.
- Parisot, J. C.; Creach, M.; Melfi, A.J.; Toledo-Groke, M.C. e Trescases, J.J. 1990. Dispersão e acumulação do cobre nos produtos do intemperismo de depósitos cupríferos do Brasil. *Rev. IG, São Paulo*, **11**(2), 21-33, jul./dez.
- Ramos Filho, W. L.; Araújo Filho, J. O.; Kuyumjian, R. M. 2003. Características do Ambiente Estrutural do Depósito de Chapada, GO. *Rev. Bras. Geoc.* **33**:109-116.

- Ramos Filho, W. L.; Kuyumjian, R. M.; Pires, A. B. C. 2005. The Chapada Cu-Au Deposit and Guidelines for Mineral Exploration Program in the Goiás Magmatic Arc. *Rev. Bras. Geoc.* **35**(4): 603-605.
- Richardson, S.V.; Kesler, S. E.; Essene, E. J. 1986. Origin and Geochemistry of the Chapada Cu-Au Deposit, Goiás, Brazil: A metamorphosed wall-rock porphyry copper deposit. *Econ. Geol.*, **81**: 1884-1898.
- Silva, J. A. & Sá, J. A. G. 1988. Jazida de cobre da Chapada, Mara Rosa, Goiás. In: DNPM/CVRD, C. Schobbenhaus, C. E. S. Coelho (ed.) Principais depósitos minerais do Brasil, **3**(5): 55-60.
- Toledo-Groke, M. C.; Melfi, A. J.; Parisot, J. C. 1987. Comportamento do Cu durante o intemperismo das rochas xistosas cúpríferas do Salobo 3 $\alpha$ , Serra dos Carajás. In: *Geochimica Brasiliensis*, **1**(2): 187-200.
- Viana, M. G.; Pimentel, M. M.; Whitehouse, M. J.; Fuck, R. A. & Machado, N. 1995. O arco magmático de Mara Rosa, Goiás: Geoquímica e geocronologia e suas implicações regionais. *Rev. Bras. Geoc.*, **25**(2): 111-123.
- Yamana Gold Inc. Chapada copper-gold project Goiás State, Brazil. Technical report. August, 2004.

Site: <http://www.yamana.com>