

## **A geobotânica em terrenos tropicais úmidos: uma discussão conceitual e dois exemplos de sua aplicabilidade na prospecção de depósitos auríferos de origem hidrotermal**

Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida<sup>1</sup>

Caetano Juliani<sup>1</sup>

Waldir Mantovani<sup>2</sup>

Carlos Roberto de Souza Filho<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências  
Rua do Lago, 562 - Butantã - 05508-080 - São Paulo - SP, Brasil  
(talmeida, cjuliani)@usp.br

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo - Instituto de Biociências.  
Rua do Matão, Travessa 14, 321 - Butantã - 05508-900 - São Paulo - SP, Brasil  
wmantova@usp.br

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Campinas - Instituto de Geociências  
R. João Pandiá Calógeras, 51 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil  
(beto@ige.unicamp.br)

**Abstract.** Geobotany emerged as a mineral prospecting technique in the 1970's. Due to difficulties in replicating results on the form of geobotanical anomalies in different terrains, this technique was gradually cast aside. In this paper, an alternative notion is introduced to approach geobotanical anomalies using botanic and geologic field data in gold mineralized area of a Mata Atlântica forest and preliminary results of ASTER images on Amazonian forest. Preliminary results show evidences that vegetation in both cases is indicative of bedrock and hydrothermal alteration related to gold mineralization.

**Palavras-chave:** remote sensing, hydrothermal mineralization, geobotany, sensoriamento remoto, mineralização hidrotermal, geobotânica.

## 1. Introdução

Na maior parte das áreas emersas do planeta a vegetação mascara total ou parcialmente a resposta espectral de origem mineral. As florestas tropicais úmidas da América do Sul e Central, do centro da África e do sudeste da Ásia possuem dossel fechado, complexa estrutura e espesso leito de material vegetal em decomposição, impedindo a detecção de resposta espectral de minerais e rochas do substrato e mesmo de solo. Nestes casos o sensoriamento remoto aplicado à prospecção mineral deve, necessariamente, basear-se nas respostas causadas pelo substrato geológico no desenvolvimento das coberturas vegetais.

A geobotânica refere-se ao estudo das coberturas vegetais como indicadoras do substrato geológico, em particular de mineralizações. A utilização da cobertura vegetal como fonte de informações geológicas indiretas é há muito citada na literatura científica mas, com o advento de imagens multiespectrais, vislumbrou-se, a partir da década de 1970, a possibilidade de aplicar sistematicamente a resposta espectral da vegetação em estudos geológicos.

Há ao menos duas grandes abordagens para a geobotânica. Uma enfatiza as relações entre plantas específicas (indicadoras) e solos, como definido no século XIX, com a criação de termos ainda hoje em uso, tais como plantas halófitas, hidrófitas etc (Ustin et al., 1998). Outra contempla a presença de ambientes insulares, diferenciados do ambiente dominante regionalmente, com implicações diversas, como a senescência precoce e nanismo de plantas crescidas sobre corpos de minério, como observado por Georgius Agrícola, em 1556 (Ustin et al., 1998). Enquanto para a primeira abordagem o sensoriamento remoto tem raras aplicações, para a segunda pode ser considerado importante ferramenta na prospecção mineral, já que implica, potencialmente, em respostas espectrais diferenciadas e correlacionadas a anomalias geoquímicas (Lefèvre, 1982).

Nas décadas de 1970 e 1980, a aplicação da geobotânica teve grande atenção dos pesquisadores de sensoriamento remoto, que procuraram estabelecer normas gerais para a caracterização de *anomalias geobotânicas* associadas às mineralizações. Posteriormente diminui o número de trabalhos publicados, principalmente por causa das dificuldades de se replicar experiências. Schwaller (1984) explica este problema, demonstrando haver múltiplas variáveis independentes das mineralizações e com grande implicação nas características espectrais das coberturas vegetais.

Para o sensoriamento remoto o termo *anomalia geobotânica* refere-se à resposta espectralmente diferenciada da cobertura vegetal sobre uma mineralização. Esta expressão, consagrada na literatura, é conceitualmente falha. Embora ocorram estresses na cobertura vegetal devido a solos contaminados, ecologicamente não existe *anomalia*. Ocorre um ambiente diferenciado, insular, com condições ambientais diferentes das de seu entorno, implicando em diferenças na cobertura vegetal. Embora sem adotar esta leitura, mais correta do ponto de vista botânico, Hodcroft & Moore (1988) praticamente a utilizam ao apresentarem as relações vegetação-substrato expressando-se em estresses sazonais, estresses espaciais, em alterações na assembléia vegetal e/ou em crescimento anômalo de determinadas espécies. Todos estes aspectos, não podem ser chamados de *estresses*, já que podem ocorrer, em algum grau, em coberturas florestais de vertentes voltadas para oeste e leste, mantidas homogêneas as demais condições. Florinsky & Kuryakova (1996) demonstram como a orientação e a inclinação das vertentes intervêm nas coberturas vegetais de forma independente ao substrato rochoso, ao clima e à pedogênese. Apenas a variação no horário da iluminação solar direta (matutina, vespertina) impõe muito destas diferenças, em função de variações diurnas da interação radiação eletromagnética e fitocromos (Bognar, 1999).

O conceito de anomalia geobotânica está ligado às bem descritas alterações no ciclo fenológico em florestas decíduas de grandes latitudes que recobrem depósitos de metais de base, onde ocorre senescência precoce, alterações no período de floração e rebrota tardia

(Lillesand & Kiefer, 1994). Largamente estudados, tanto em campo como em experimentos feitos em laboratório, são os deslocamentos da borda vermelha (*red edge*) que, entretanto, podem ser, conforme a espécie do vegetal, tanto para menores comprimentos de onda (*blue shift*) como para maiores (*red shift*), conforme demonstrado no experimento realizado por Yost & Wenderoth (1971). Assim, apesar das dificuldades, em regiões de clima temperado e frio, a importante interação rocha – solo - vegetação, a pequena variedade de espécies vegetais e o ciclo fenológico muito marcado facilitam a identificação de anomalias geobotânicas. Por estes mesmos motivos, a aplicação de geobotânica em florestas tropicais úmidas, a princípio, parece não ter o mesmo sucesso. Paradella & Bruce (1990) sugerem mesmo que os poucos resultados positivos seriam devidos ou a condições excepcionais do terreno ou a correlação com os atributos espaciais do terreno. Por outro lado, Paradella (1992) e Paradella *et al.* (1994) reconhecem no campo, na região de Carajás, Estado do Pará, mudanças na fisionomia das florestas, tanto na densidade como na estratificação, influenciando notadamente a resposta da vegetação em imagens de sensoriamento remoto, como verificado também em Paradella *et al.* (1998). Tais mudanças, por ocorrerem em associação não só com a topografia, mas também com determinados litotipos, fornecem informações adicionais a estudos geológicos.

Observa-se, assim, que a ausência da senescência sazonal, a enorme biodiversidade e a menor interação vegetação-rocha não impedem a existência de respostas geobotânicas detectáveis por sensoriamento remoto. Assim, em solos de composição química anômala, formados a partir de rochas hidrotermalizadas e mineralizadas em metais, a biodiversidade dos climas quentes e úmidos parece poder impor, aos solos anômalos sobre rochas com alteração hidrotermal, uma cobertura florestal diferenciada em sua florística, densidade, altura e estrutura de floresta e de dossel.

Neste trabalho, uma investigação sobre anomalias geobotânicas foi realizada em duas escalas distintas de observação, com aproximações metodológicas também distintas, mas reciprocamente complementares. Primeiramente, são apresentados dados fito-sociológicos obtidos sobre rochas hidrotermalizadas, associadas a mineralizações auríferas na Serra do Itaberaba, Guarulhos (SP), que suportam uma proposta preliminar de funcionamento geral das anomalias geobotânicas em floresta tropical, mas numa escala de difícil observação através de sensores remotos de média resolução espacial (e.g., Landsat TM, ASTER). Com base nesse estudo de maior detalhe, foram estudadas áreas de floresta tropical localizadas na Província Aurífera do Tapajós (PA), a partir de dados do sensor ASTER processados segundo algoritmos destinados ao realce de respostas espectrais da vegetação.

## 2. Serra do Itaberaba

Este trabalho mostra variações fito-sociológicas e estruturais em fragmento de Mata Atlântica alto-montana secundária crescida sobre (i) metabasitos da Fm. Morro da Pedra Preta, Grupo Serra do Itaberaba (Paleo a Mesoproterozóico) e (ii) rochas equivalentes alteradas hidrotermalmente, com predominância de cordierita-granada-cummingtonita anfíbolitos (Juliani, 1993). O processo de alteração implicou na substituição de hornblenda por cummingtonita, na formação de cordierita e granada, entre outras modificações na mineralogia inicial. Beljavskis *et al.* (1993) apresentam dados de ocorrências auríferas nas rochas alteradas do Grupo Serra do Itaberaba, com teores pontuais da ordem de 40g/t. A área de estudo localiza-se no município de Guarulhos, a cerca de 35 km da cidade de São Paulo, na serra do Itaberaba, em altitudes em torno de 900m.

Nesta área foram encontradas espécies vegetais comuns em Mata Atlântica em avançado estágio sucessional. Embora as coberturas vegetais das porções de floresta analisadas tenham o mesmo tempo de regeneração, foram encontradas diferenças significativas. Como quadro

geral, verifica-se que em terrenos com predominância de cordierita-granada-cummingtonita anfibolitos, a mata é mais baixa, o dossel mais aberto e o sub-bosque é mais pobre e pouco denso. Da mesma forma, sobre estas rochas a diversidade em espécies arbustivas e arbóreas e a densidade de indivíduos são menores, enquanto o número de espécies de plantas pioneiras iniciais é maior.

Considera-se que todo o fragmento florestal estudado tenha o mesmo histórico de regeneração há mais de vinte e cinco anos, como estimado por observação direta de um dos autores e de possivelmente mais de 50 anos, segundo moradores locais, implicando em avançado estágio de sucessão. Os estudos botânicos foram iniciados com a demarcação e análise de 17 parcelas exploratórias de 5x5m em áreas de ocorrência de diversos litotipos, com variado grau de alteração hidrotermal e diferentes protólitos incluindo vulcânicas básicas, vulcânicas intermediárias, tufos e sedimentos pelíticos metamorfisados na fácies anfibolito.

A partir dos dados das parcelas, dos caminhamentos e da análise da geologia, foram definidos dois perfis-diagramas de 4 x 30m, em áreas de declividade, direção de vertente, altitude e estágio sucessional similares e com notável contraste da intensidade de alteração hidrotermal sobre os mesmos protólitos. Desta forma, apenas variações litológicas produzidas pela ação da alteração hidrotermal em diferentes intensidades poderiam ser responsáveis pelas distintas coberturas vegetais. A área foi delimitada com marcações metro a metro, permitindo determinar a posição de cada exemplar arbóreo de diâmetro na altura do peito (DAP) acima de 15 cm, com anotação de sua altura e diâmetro de copa. Foi feita a coleta de material para a identificação posterior de todos os vegetais presentes nos perfis-diagrama, incluindo espécies herbáceas e arbustivas. Simultaneamente à coleta de material para identificação foram desenhados os perfis, auxiliando na observação da fisionomia das matas (**Figura 1**).

Os dados das parcelas situadas onde os protólitos eram diversos e as variações litológicas se davam mais rapidamente (e não só em função da presença ou intensidade de alteração hidrotermal), foram considerados qualitativos, servindo sobretudo no reconhecimento da área.

As espécies foram determinadas a partir de material coletado em campo e classificadas, de acordo com o estágio sucessional, respectivamente em pioneiras iniciais, secundárias iniciais, secundárias tardias, de sub-mata e climáticas.

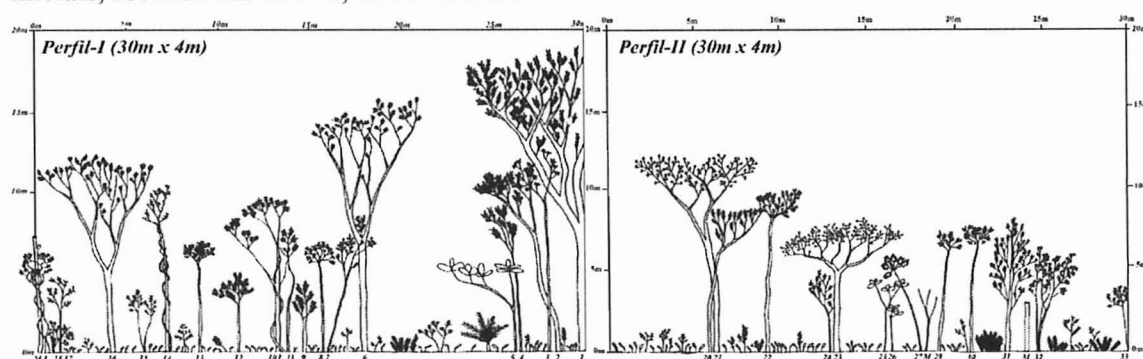


Figura 1 Perfil I, sobre metabasitos não alterados e Perfil II, sobre cordierita-granada-cummingtonita anfibolitos.

Ao longo dos trabalhos de campo foram encontradas 106 espécies (*spp*), distribuídas em um total de 37 famílias. As de maior número de *spp* foram, respectivamente, as Rubiaceae, Sapindaceae, Myrtaceae e Melastomataceae, respectivamente com 13, 9, 8 e 7 *spp*. Nas parcelas foram descritas 78 *spp*, das quais 41 *spp* arbóreas com DAP maior que 15cm, distribuídas em uma média de 4 *spp* arbóreas nas parcelas localizadas sobre rochas com presença de alteração hidrotermal e de 4,6 *spp* nas parcelas sobre terrenos sem alteração



significativa, em relações praticamente iguais às encontradas em situação similar por Rowan *et al.* (2001) em florestas na Flórida, EUA. Não foi identificada a correlação de *spp* com a presença de alteração. As *spp* arbóreas mais comumente encontradas foram *Aspidosperma olivaceum*, *Sloanea guianensis* e *Sloanea monosperma*, denotando avançado estágio de sucessão, embora houvesse a presença freqüente de gêneros pioneiros iniciais como *Tibouchina*.

Nos dois perfis-diagramas foram descritas 20 *spp* arbóreas, com presença de 17 no perfil-diagrama I, sobre metabasitos sem alteração hidrotermal, e de 10 no perfil-diagrama 2, sobre rochas intensamente alteradas. A estrutura é mais complexa e desenvolvida no perfil-diagrama I, com árvores de até 18 m, maior densidade da vegetação, com diversas formas de crescimento, incluindo maior biomassa e muitas lianas. Neste trecho de floresta destacam-se as *spp* tardias e climáticas *Allophyllus edulis*, *Aspidosperma olivaceum*, *Cabralea canjerana*, *Cryptocarya moschata* e *Eugenia cerasifolia*, além das espécies de sub-mata *Bathysa meridionalis*, *Cupania oblongifolia*, *Mollinedia schottiana* e *Psychotria suterella*. Das etapas iniciais da sucessão, ressalta-se *Croton floribundus*. O segmento de floresta encontrado no perfil-diagrama II é notadamente menos complexo do que o anterior. Trata-se de um trecho de floresta com árvores de até 13m de altura, espaçadas entre si, com estrutura relativamente simples e pequena quantidade de lianas e plantas arbustivas em seu interior, indicativas de uma sub-mata empobrecida em relação ao trecho de floresta do perfil anterior. Ressaltam-se entre as *spp* tardias e climáticas: *Allophyllus petiolulatus*, *Licania octandra* e *Swartzia acutifolia*, as *spp* de sub-mata: *Bathysa meridionalis* e *Mollinedia schottiana*, além das *spp* arbóreas pioneiras: *Cecropia glaziovii* e *Piptocarpha axillaris*.

No total foram descritas 38 *spp* no perfil-diagrama I (*Rubiaceae* e *Sapindaceae* mais presentes, com 6 *spp* cada uma) e 24 *spp* no perfil-diagrama II (único destaque para *Rubiaceae*, com 3 *spp*). No perfil-diagrama I há seis *spp* de indivíduos arbóreos de estádios mais avançados (climático e secundário tardio) e quatro de sub mata, contra respectivamente quatro e duas no perfil-diagrama II. Já nas *spp* iniciais (pioneira e secundária inicial) a situação é equilibrada, com 3 *spp* arbóreas cada. Nos indivíduos arbustivos, herbáceos e lianas, foram amostradas 23 *spp* no perfil-diagrama I, indicando uma grande complexidade estrutural interna do trecho representado. Dentre estas, há 11 *spp* de estádios mais avançados contra apenas 7 no perfil-diagrama II. Nas *spp* iniciais a situação se mantém, com seis no perfil-diagrama I contra apenas 3 no perfil-diagrama II. Considerando-se apenas as *spp* pioneiras iniciais, há apenas 2 no perfil-diagrama I contra 4 no perfil-diagrama II.

Dos 27 indivíduos arbóreos encontrados nos perfis-diagramas, a distribuição é notadamente diferente, com 63% no perfil-diagrama I e 37% no perfil-diagrama II. Dos 37 indivíduos aí amostrados, mantém-se a mesma proporção, com 62% no perfil-diagrama I e 38% no perfil-diagrama II. A altura média do dossel é em torno de 14m no perfil-diagrama I e de 8m no perfil-diagrama II. Finalmente, sobre terrenos com alteração hidrotermal o dossel é mais claramente aberto, o que explica as freqüentes *spp* pioneiras e secundárias iniciais.

Os dados obtidos nos perfis-diagrama mostram as diferenças nas coberturas florestais crescidas sobre substratos com e sem presença de alteração hidrotermal. As fisionomias, as estruturas, a diversidade geral e as porcentagens de espécies pioneiras iniciais e climáticas não apenas são apenas diferentes como o são dentro de uma lógica.

As fisionomias são visualizadas nos perfis-diagrama da Figura 1, os quais mostram uma mata bem mais desenvolvida sobre substrato sem alteração hidrotermal. Da mesma forma, a estrutura desta mata é mais complexa em seu sub-bosque, incluindo lianas. A diversidade em geral é maior, seja em espécies arbóreas (17 x 10) como arbustivas (23 x 14). Destaca-se a porcentagem de indivíduos de espécies pioneiras iniciais no total: 2/47 (4,3% no perfil-diagrama I) e 4/24 (14,3% no perfil-diagrama II). Já a presença de indivíduos de espécies

climáticas é equilibrada, implicando em maior porcentagem no perfil-diagrama sobre rochas alteradas hidrotermalmente.

O padrão destas modificações é claro e também segue o reportado por Rowan *et al.* (2001): sobre sítios com alteração hidrotermal no substrato rochoso a diversidade vegetal é menor, as matas são mais baixas e o dossel mais descontínuo. Considerando-se o igual e avançado estágio de sucessão das matas nos dois perfis-diagrama (corroborado pela presença de numerosas *spp* climáticas em ambos), é inusitado que 14,3% das *spp* encontradas no perfil-diagrama II sejam pioneiras iniciais, contra apenas 4,3% no perfil-diagrama I.

Evidências coletadas em campo quanto à estrutura e composição florística sugerem que as florestas sobre sítios com solos derivados de rochas hidrotermalizadas têm dificuldades em evoluir, pois mesmo após dezenas de anos em regeneração ainda resta importante participação de pioneiras iniciais. Isto pode ser explicado pela presença de um dossel aberto e um sub-bosque pobre. Tais aspectos, que implicam em menor concorrência e maior disponibilidade de sol, também podem ser os responsáveis pelo gigantismo de *Marantaceae Calathea cylindrica* sobre terrenos alterados, aonde esta chega a atingir 1,50m de altura contra os 0,60m habituais. A floresta vizinha, sobre rochas sem alteração hidrotermal e com o mesmo tempo de regeneração, parece encontrar-se em estágio de sucessão notadamente mais avançado em diferentes aspectos.

Uma das indicações geobotânicas é a correlação de determinadas espécies com mineralizações, mas o que se observou foram espécies comuns nas matas da Serra da Mantiqueira em altitudes similares. A **Tabela 1** resume as observações dos perfis-diagramas.

Essa caracterização de detalhe realizada em campo não pôde ser verificada em imagens de sensoriamento remoto devido a não disponibilidade de produtos com resolução espacial compatível com a geologia local e pela posterior alteração das coberturas, por ocupação rural. Como única opção à época, foram obtidas fotografias aéreas com películas coloridas sensíveis ao infravermelho, com excelente resolução espacial, mas com resolução espectral desfavorável. Verificou-se, como o esperado, maior reflectância associada à mata sobre rochas alteradas, provavelmente em função da alta porcentagem de pioneiras iniciais no dossel pouco denso e de *Marantaceae* no estrato herbáceo.

Tabela 1 Número de indivíduos, % e respectivos estágios sucessionais nos perfis I e II.

<b>Estádio Sucessional</b>	<b>PERFIL I</b>	<b>PERFIL II</b>
Pioneira inicial	2 (4,3%)	4 (14,3%)
Secundária inicial	7 (14,9%)	3 (10,7%)
Secundária tardia	14 (29,8%)	6 (21,4%)
Sub mata	18 (38,3%)	9 (32,1%)
Climática	6 (12,8%)	6 (21,4%)
TOTAL	47	28

### 3. Província Aurífera do Tapajós (PAT)

A imagem da **Figura 2**, do sensor ASTER, de 12/10/2003, representa resultado parcial de pesquisa em andamento e mostra a comparação da imagem ASTER com uma compilação de parte das Folhas Geológicas Caracol e Mamãe Anã da CPRM mostra como a imagem pode, potencialmente, enriquecer o mapeamento feito. Destaca-se o fato de que rochas vulcânicas ácidas e intermediárias do Grupo Iriri, algumas das quais afetadas por alteração hidrotermal (Juliani *et al.*, no prelo), são claramente individualizadas do embasamento, composto, em essência, por granodioritos e granitos calcio-alcalinos e alcalinos. A presença de mineralizações auríferas hidrotermais nestas vulcânicas realça a importância de seu reconhecimento em imagens orbitais. A imagem ASTER foi processada segundo algoritmos

baseados em Almeida & Souza Filho (no prelo) e desenhados para realçar diferenças no comportamento espectral das coberturas vegetais. A farta informação geológica presente na imagem, associada à inexistência, em termos regionais, de resposta espectral de solos ou rochas, mostra a presença de relação entre os diferentes litotipos de ocorrência na região com as florestas que os recobrem.

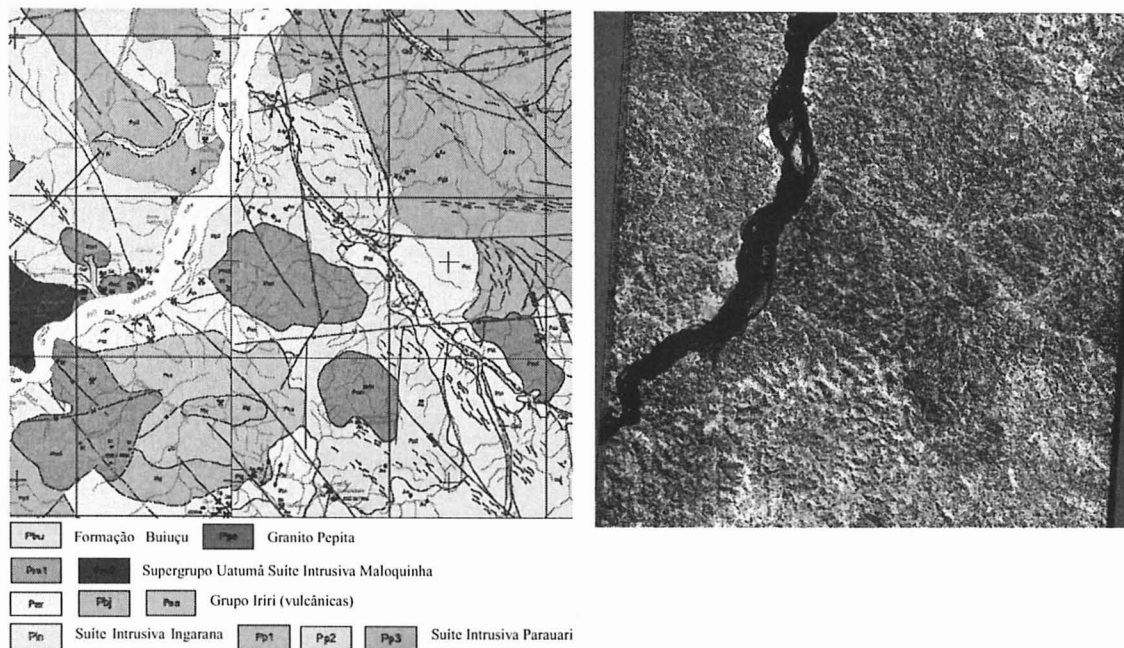


Figura 2 – (A) Excerto dos mapas geológicos da CPRM, Folhas Mamãe Anã e Caracol, Estado do Pará e legenda simplificada do mapa geológico. (B) cena ASTER de 12/10/2003 processada segundo algoritmos derivados de Almeida & Souza Filho (no prelo).

#### 4. Conclusões

A partir de estudo de parcelas de Mata Atlântica sobre rochas com e sem alteração hidrotermal, propõe-se um esboço do funcionamento básico das “anomalias geobotânicas” ou “ambientes insulares” sobre áreas com alteração hidrotermal em florestas tropicais e equatoriais úmidas. Nestes ambientes deverá haver as mesmas espécies que ocorrem regionalmente, mas com alguma seleção, com a não fixação de espécies não adaptadas. Como há um grau de interdependência entre as diversas plantas, pode-se esperar que, pela ausência de um número significativo de espécies, a *anomia geobotânica* tenha um comportamento semelhante ao de uma floresta secundária em recuperação. Assim, sobre áreas com alteração hidrotermal, pode-se esperar tanto uma menor biodiversidade como mais numerosos indivíduos de espécies pioneiras convivendo com espécies climáticas adaptadas àquele ambiente particular.

Já na Província Aurífera de Tapajós, onde a cobertura vegetal pode ser considerada total, salvo exceções locais, a imagem permite delinear muitas das unidades litológicas mapeadas pela CPRM, incluindo-se aí maior detalhamento da presença de diferentes rochas vulcânicas ácidas. A apresentação destes resultados de sensoriamento remoto na PAT demonstram a viabilidade de explorar a resposta espectral realçada da vegetação em florestas equatoriais e tropicais em estudos geológicos, uma noção que, em relação a ocorrências de intensa alteração hidrotermal, é sustentada pelos dados de campo na primeira parte deste artigo. A identificação da presença de alteração hidrotermal nas rochas vulcânicas do Grupo Iriri é um objetivo já definido e considerado viável pelos autores.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fapesp pelo financiamento da pesquisa (processos 98/06913-6R e 98/2567-6).

## Referências

- Almeida, T.I.R. & Souza Filho, C.R. Principal component analysis applied to feature oriented band ratios of hyperspectral data: a tool for vegetation studies. **International Journal of Remote Sensing**, (no prelo).
- Beljavskis, P.; Garda, G.M.; Juliani, C. Características das mineralizações auríferas no Grupo Serra do Itaberaba, Guarulhos, SP. **Revista do Instituto Geológico**, v.14, n.1, p. 21–29, 1993
- Bognar, L.K.; Hall, A.; Adam, E.; Thain, S.C.; Nagy, F.; Millar, A.J. The circadian clock controls the expression pattern of the circadian input photoreceptor, phytochrome B. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 96, p. 14652–14657, 1999.
- Goetz, A.F.H.; Rock, B.N.; Rowan, L.C. Remote Sensing for Exploration: an overview. **Economic Geology**, v.78, n.4, p.573–590, 1983.
- Florinsky, I.V. & Kuryakova, G.A., Influence of topography on some vegetation cover properties. **Catena**, v. 27, p.123–141, 1996.
- Hodcroft, A.J.T. & Moore, J.McM. Remote Sensing of Vegetation – A promising exploration tool. **Mining Magazine**, p. 274–279, 1988.
- Juliani, C. **Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos Grupos Serra do Itaberaba e São Roque na região das serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da cidade de São Paulo, SP**. 1993. 703p. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993.
- Juliani, C.; Rye, R.O.; Nunes, C.M.D.; Snee, L.W.; Corrêa-Silva, R.H.; Monteiro, L.V.S.; Bettencourt, J.S.; Neumann, R.; Alcover Neto, A., Paleoproterozoic volcanic-hosted quartz–alunite epithermal deposits in the Tapajós Gold Province, Amazonian Craton, Brazil. **Chemical Geology**. No prelo.
- Lefèvre, M.J. Télédétection d'anomalies géobotaniques appliqué à la recherche minière par la méthode de traitement d'images. **Bulletin Géologique de France** v.7, t24, n. 1 p.127–130, 1982.
- Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons, 1994. 750p.
- Paradella, W.R. & Bruce, W.D. *Geobotânica por sensores remotos: uma revisão*. **Revista Brasileira de Geociências**, v.19 n.4 p. 425–435, 1990.
- Paradella, W.R. A GIS and a geobotanical investigation based on TM-Landsat and DEM for geological mapping in the tropical rain forest (Brazilian Amazon region). In: IGARSS'92. Proceedings, v. 1, p. 631–633, 1992.
- Paradella, W.R.; Silva, M.F.F. da; Rosa, N. de A.; Kushigbor, C.A. A geobotanical approach to the tropical rain forest environment of the Carajás Mineral Province (Amazon Region, Brazil), based on digital TM data and DEM data. **International Journal of Remote Sensing**, v.15, n. 8, p. 1633–1648, 1994.
- Paradella, W.R.; Santos, A.R. dos; Dall'Agnol, R.; Pietsch, R.W.; Sant'Anna, M.V. A geological investigation based on airborne (Sarex) and spaceborne (RADARSAT-1) SAR integrated products in the Central Serra dos Carajás Granite Area, Brazil. **Journal Canadien de Télédétection** v.24 n.4 p. 376–392, 1998.
- Rowan, L.C.; Crownley, J.K.; Schmidt, R.G.; Ager, C.M.; Mars, J.C. Mapping hydrothermally altered rocks by analyzing hyperspectral image (AVIRIS) data of forested areas in the Southeastern United states. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 68p. 145–166, 2000.
- Schwaller, M.R. **Remote sensing for geobotanical prospecting**, 1984. 118p. PhD Thesis. University of Michigan. 1984. 118p.
- Ustin, S.L.; Smith, M.O.; Jacquemoud, S.; Verstraete, M.M.; Govaerts, Y. **Vegetation mapping for earth sciences**. In: **Manual of Remote Sensing: Remote Sensing for the Earth Sciences** v.3, p.189–248, 1998.
- Yost, E. & Wenderoth, S. The reflectance spectra of mineralized trees. In: 7<sup>th</sup> Int. Symp. On Remote sensing of Environment, 1071, Ann Arbor, EUA. **Proceedings**, p. 269–284, 1971.