

SIGNIFICADO DAS REFLETÂNCIAS ANÔMALAS REGISTRADAS NA VEGETAÇÃO  
DA BACIA DO ALTO AMAZONAS

Francisco Mota Bezerra da Cunha  
Petróleo Brasileiro S.A. - Centro de Pesquisas e Desenvolviment  
to Leopoldo A. Miguez de Mello - PETROBRÁS/CENPES  
Cidade Universitária - Ilha do Fundão - Quadra 7  
Rio de Janeiro - RJ - 21.910

RESUMO

A análise automática dos registros multiespectrais do satélite Landsat, na região da Bacia do Alto Amazonas, mostrou refletâncias anômalas da vegetação, agrupadas ao longo do interflúvio dos rios Juruá e Tefê. O fato despertou interesse tendo em vista a possibilidade de estar relacionado à influência de microexsudações gasosas procedentes do campo de gás subjacente ali detectadas através de estudos geoquímicos. Foram realizadas pesquisas que incluíram o levantamento topográfico detalhado da área, estudos florísticos e pedológicos e análises automáticas de imagens adjacentes ao campo de gás. Os trabalhos realizados, principalmente na área de botânica, não foram suficientes para confirmar a possível influência das microexsudações no sistema fitoecológico da região. Com os dados disponíveis, deduziu-se que as refletâncias anômalas decorrem do efeito sazonal, atuante no mês de julho, sobre uma vegetação diferenciada por solos de constituições diferentes.

ABSTRACT

Cluster analysis of Landsat data on the Upper Amazon Basin has revealed unusual clustering of thematic classes along the divid between the Juruá and Tefê rivers, caused by anomalous vegetation reflectances. This has called our attention because the class clustering lies over a gas field and might be related to microseepages. In order to investigate this hypothesis, geochemical investigation, soil mapping and botanical studies have been conducted in the area of the Jurua gas field and additionally Landsat analyses have been made on adjacent frames. The results of the research, mainly of botanical studies were not sufficient to prove or disprove the existence of microssepage effect on the phytoecology. Nevertheless, the available information seems to suggest that the clustering of thematic classes is produced rather by a seasonal change in the vegetation, further differentiated by pedological diversity.

1. INTRODUÇÃO

Geólogos do United States  
Geological Survey (USGS) veri

ficaram que nos arredores de  
alguns campos de petróleo da  
região centro-oeste dos Estados

Unidos ocorriam alterações na constituição química e mineralógica das rochas aflorantes e admitiram a hipótese de terem sido produzidas pela atuação lenta e contínua de microexsudações de petróleo e/ou gás. O fenômeno, resultante do efeito redutor dos hidrocarbonetos e compostos associados, produz a descoloração das rochas e forma halos passíveis de serem registrados em fotografias aéreas e imageamento por satélite (Donovan, 1974 e 1975; Donovan e Dalziel, 1977). Halos cromáticos semelhantes, relacionados também à microexsudações, foram constatados em rochas e solos nas vizinhanças de campos de petróleo na União Soviética (URSS) (Bakhtin, 1974).

Os estudos foram realizados em regiões semi-áridas, onde a vegetação escassa permite a visão, quase integral, dos solos e das rochas aflorantes. Nas regiões florestadas, como a Amazônia, é desconhecida qualquer pesquisa semelhante pois densa vegetação tem desestimulado, a priori, iniciativas de idêntica natureza. Mesmo assim, surgiu a idéia da presença das microexsudações poder ser registrada indiretamente pela vegetação, através de sua influência no sistema fitoecológico.

As microexsudações de hidrocarbonetos devem alterar as condições ecológicas dos solos e deste modo afetar o comportamento da vegetação, principalmente das árvores perenes. Podem favorecer ou inibir o crescimento das plantas, alterar a cor das flores e o tamanho das folhas e até mesmo propiciar o aparecimento de espécies seletivas. Em decorrência disto, e dependendo do caráter, da intensidade e da extensão da área atingida por estes fenômenos, seria alterado o padrão de refletância da vegetação. Da mesma maneira como acontece com as alterações da cor dos solos nas regiões áridas, as alterações na refletância da mata seriam registradas pela visão sinóptica do satélite.

## 2. INVESTIGAÇÕES PRELIMINARES

O interflúvio dos rios Juruá e Tefé foi utilizado como área-teste, por representar a única área conhecida na Amazônia onde existem microexsudações gasosas possivelmente oriundas do campo de gás subjacente, como sugerem as análises geoquímicas de amostras de solo (Rezende et al., 1980). Primeiramente procedeu-se a análise automática dos registros multispectrais da cena 151-15 (SRB), contidos no jogo de fitas magnéticas (fitas CCT - Compatible Computer Tapes) tomadas pelo satélite Landsat-1 em 13/07/76. A cena, que engloba a região do baixo curso do rio Juruá (figura 1), foi analisada no sistema General Electric IMAGE-100 (I-100), instalado no Laboratório de Tratamento Digital de Imagens (LTDI) do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) em São José dos Campos - SP.

ÁREA DE ESTUDO

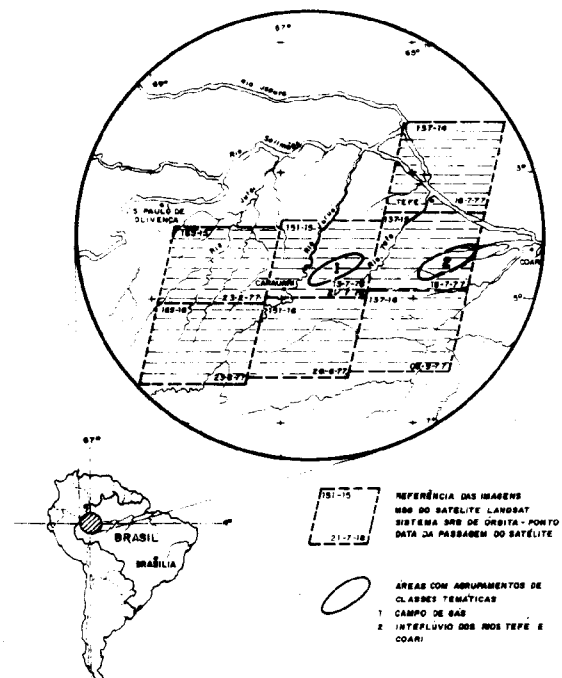


FIG. 1

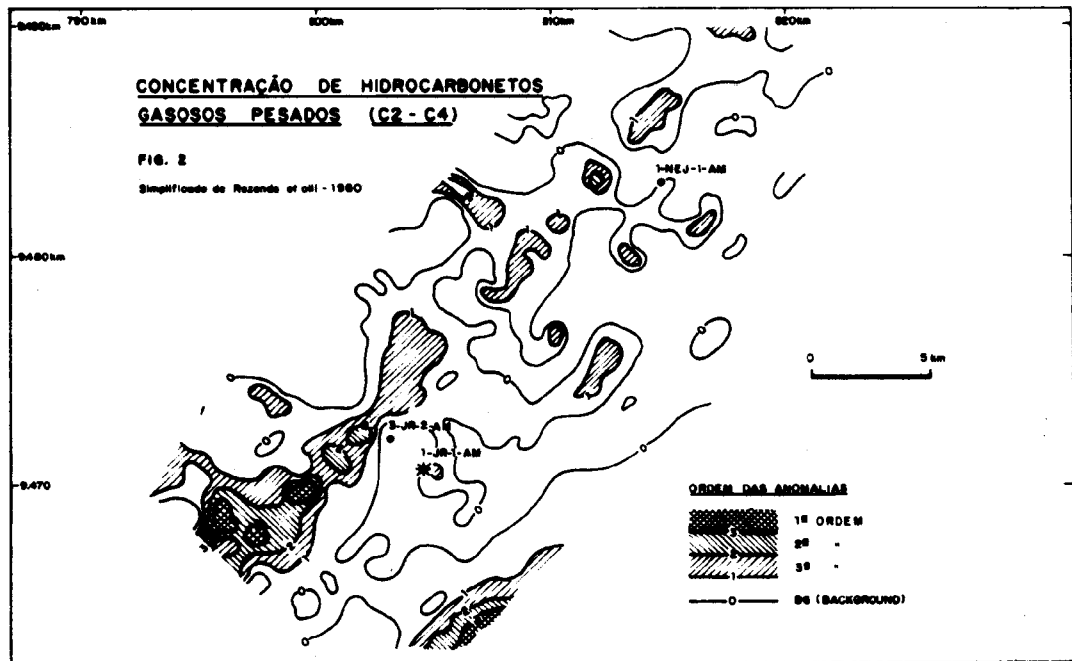
Inicialmente, utilizaram-se as técnicas rotineiras do alargamento (stretching) e fracionamento (ratioing) das faixas espectrais, tentando realçar possíveis nuances de reflectância na mata. Os resultados não satisfatórios destas análises motivaram o emprego de um sistema de classificação não supervisionado conhecido como Media-K, com o qual foi realçado um agrupamento de classes temáticas ao longo do divisor d'água Juruá-Tefê, cuja distribuição assemelhava-se àquela das microexsudações de hidrocarbonetos gasosos pesados detectados na análise geoquímica (figura 2). O agrupamento foi

Juruá.

### 3. TRABALHOS REALIZADOS

#### 3.1 - Levantamento topográfico detalhado

Com o propósito de verificar o condicionamento da topografia às estruturas de superfície e também a correlação do agrupamento de classe temáticas com o relevo, foram confeccionados mapas topográficos com controle altimétrico, na escala de 1/100.000 e curvas de nível a intervalos de 5 metros. Na figura 3 é apresentada, de forma simplificada, apenas uma parte dos mapas confeccionados.

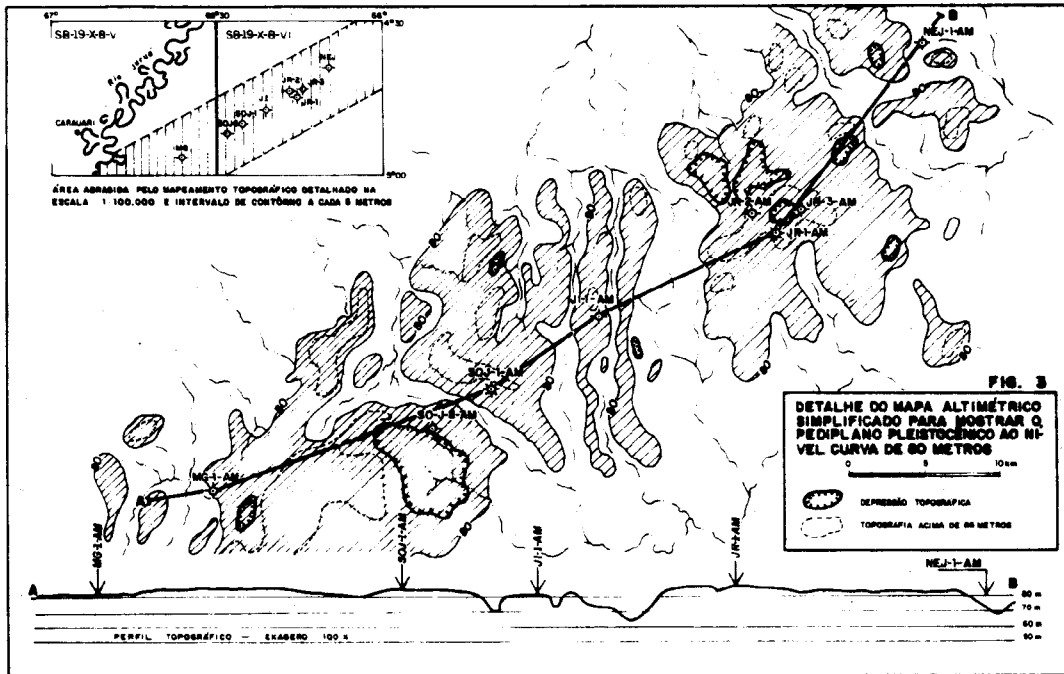


atribuído à existência de vegetais diferenciados pelo efeito isolado ou combinado dos seguintes fatores:

- Topografia elevada
- Solo de constituição diferente
- Menor abundância d'água
- Efeito sazonal
- Influência das microexsudações

Em vista destas possibilidades foram programados trabalhos adicionais que incluíram o levantamento topográfico detalhado, estudos florístico e pedológico e análises automáticas de censo adjacentes ao campo de gás do rio

A observação dos mapas mostrou o domínio de uma superfície aplainada, disposta preferencialmente ao nível das cotas 80 e 85 metros de altitude, na qual encontram-se entalhados os vales e cabeceiras da atual rede de drenagem, além de depressões topográficas rasas (bacias de colmatagem). Os grandes divisores são tabulares e o perfil topográfico assume o aspecto de tabuleiros abaulados. Em um único local, próximo à margem direita do rio Juruá e a sudeste da cidade de Carauari, foi encontrado uma elevação cuja cota atinge 110 metros, constituindo uma situação anômala, já que



as maiores altitudes eram esperadas na porção mais central do divisor d'água.

A superfície aplainada corresponde ao pediplano pleistocênico, do qual existem numerosos vestígios na região do Alto Amazonas e que pertence à unidade morfológica maior denominada de Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental (Oliveira et al., 1977). A este nível erosivo estão associados produtos residuais de intemperismo como bauxita e laterita.

Os mapas foram confeccionados com base nos nivelamentos topográficos das linhas sísmicas, ficando portanto restritos a área da estrutura do campo de gás e deste modo atendem parcialmente os objetivos iniciais, pois não permitem um estudo morfoestrutural mais amplo.

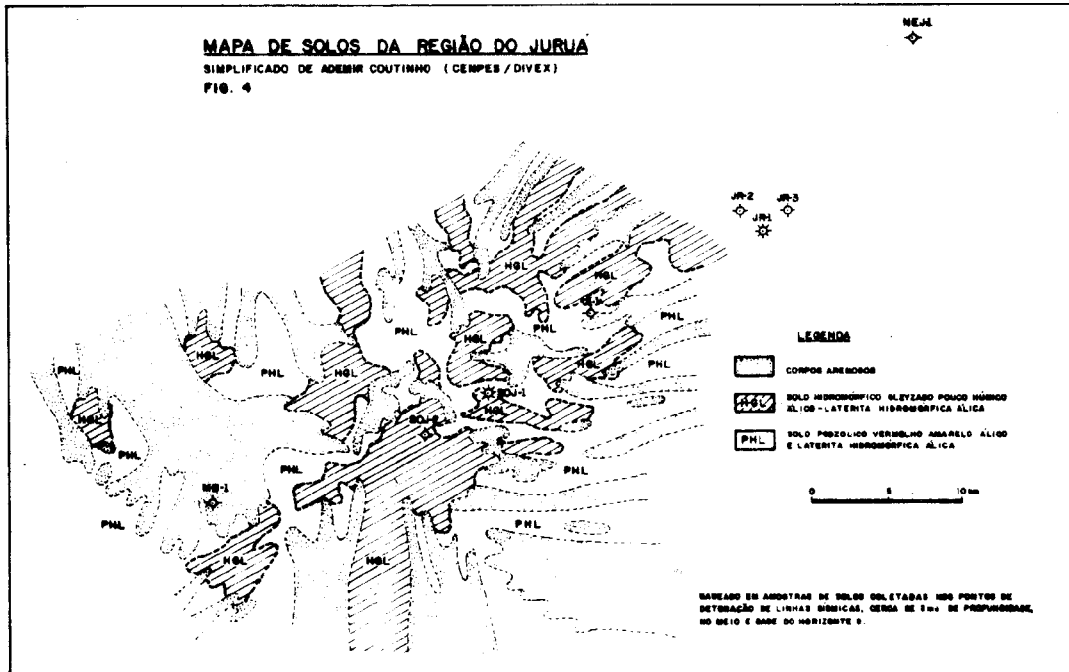
### 3.2 - Levantamento Pedológico

No reconhecimento dos solos da região contamos com a participação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), tendo o pedólogo Guido Ranzani visitado a localização MG-1-AM (Monguba) e ali constatado a presença dos solos Podzólico Vermelho Amarelo Plíntico e Gley Pouco Húmico. Estas informações, juntamente

com as do projeto RADAMBRASIL (Souza e Serruya, 1977), permitiram o conhecimento dos principais tipos de solos encontrados na região estudada.

No Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello (PETROBRÁS/CENPES), o geólogo Ademir Coutinho, com base em amostras de solos coletadas nos pontos de tiro das linhas sísmicas, confeccionou o mapa detalhado de solos, abrangendo os arredores das localidades MG-1-AM, SOJ-1-AM, SOJ-2-AM e JI-1-AM (fig. 4). O mapa, apesar de restrito em área, mostra aspectos interessantes quando examinados conjuntamente com os mapas de drenagem e estrutural.

Constatou-se que o solo mais antigo e dominante na região é o Podzólico Vermelho Amarelo Álico e sobre ele é encontrado o solo Hidromórfico Gleyzado Pouco Húmico. Este último, por provir de sedimentos recentes (Serruya et al., 1976), deveria ser encontrados preenchendo áreas topograficamente mais baixas. Entretanto, na área mapeada, ele ocupa posições topográficas elevadas, a grosso modo ao nível da cota de 80 metros. Ambos os tipos de solo contêm abundantes disseminações de



laterita hidromórfica alíca. Sobre estas unidades pedológicas maiores, encontram-se espalhadas manchas e cordões de solos arenosos cujos teores de areia atingem até 100%.

O formato e a distribuição do solo hidromórfico gleizado, e principalmente dos corpos arenosos, levou-nos a deduzir que representam vestígios de paleodrenagens (drenagem palimpséstica) sobre a superfície aplainada pleistocênica, e por conservarem ainda as suas características mineralógicas, é evidente que as areias são relativamente mais novas.

A paleodrenagem definida pelos corpos arenosos, em linhas gerais, assume a disposição radial centrífuga semelhante ao padrão da drenagem contemporânea. A repetição do padrão distributivo de drenagem, em épocas diferentes, evidencia que a área tem se mantido topograficamente elevada. O fato desta área encontrar-se superposta a um alto estrutural, permite aventar-se a hipótese dela estar sujeita a reativações estruturais recentes ou ainda, resultar de uma compactação diferencial.

### 3.3 - Avaliação do Comportamento Vegetal

Graças à cooperação e ao interesse demonstrado pelo bo-

tânico João Murça Pires, do INPA, contamos com a participação desta instituição no estudo florístico da mata do interflúvio Juruá-Tefé. Equipes de especialistas, organizadas e orientadas pelo botânico, visitaram as localidades JR-1-AM, NEJ-1-AM, JI-1-AM e MG-1-AM com o objetivo de identificar e classificar os vegetais existentes na região e procurar indícios do efeito das microexsudações no sistema fitoecológico.

Os botânicos do INPA apresentaram dois relatórios preliminares, que reportaram, principalmente, a identificação e classificação dos vegetais existentes nas áreas visitadas. Havia interesse em comparar a vegetação dos arredores das localidades produtoras de gás, no caso a localização JR-1-AM, com a vegetação das localidades não produtoras. Nos relatórios são mencionadas concentrações de determinadas espécies de vegetais mas não foi observada nenhuma seletividade relacionada à presença de gás. Acredita-se que estas concentrações de vegetação resultem de variações locais de tipo e/ou qualidade diferente de solos. Por exemplo, foi observado que há abundância de *Zamia* sp no baixio sedimentar rico em húmus, existente nas proximidades da localização JR-1-AM. Atualmente o INPA está reali-

zando uma classificação mais minuciosa, com base em detalhes identificados em laboratório, e estabelecendo comparação com os vegetais de outras localidades da Amazônia.

A única observação, quanto ao comportamento anômalo das plantas, mencionada pelo INPE, diz respeito ao pouco desenvolvimento das árvores nos arredores da locação JR-1-AM, cujos troncos são finos e não atingem bitola comercial. Tivemos oportunidade de observar, através de fotografias panorâmicas que, naquela localidade, as árvores são finas, retilíneas e excessivamente altas. Este aspecto de crescimento desproporcional caracteriza um desequilíbrio hormonal conhecido como gigantismo, que pode ser ocasionado, entre outras causas, por solos ricos em betumen ou em minerais radioativos (Brooks, 1972). Na opinião do botânico Murça Pires, este aspecto peculiar da vegetação na região do rio Juruá decorre dos solos excessivamente arenosos e pobres em nutrientes.

### 3.4 - Análise automática de cenas adjacentes ao campo de gás

Com o intuito de verificar se o mesmo tipo de agrupamento de classes temáticas, observado no interflúvio dos rios Juruá e Tefé, ocorre em outras localidades da região do Alto Amazonas, procedemos à análise automática dos registros multiespectrais das cenas adjacentes ao campo de gás do rio Juruá (figura 1). O sistema de análise consistiu de um algoritmo de classificação não supervisionado conhecido como "Média-K" (Miranda e Cunha, 1981). Na aplicação deste sistema é escolhida a área de interesse (área de treinamento), que é ampliada para a escala de 1/100.000, onde é feita a contagem e ordenação dos píxeis, segundo o valor do brilho (grey level), de cada píxel em cada canal. Com os valores obtidos, são estabelecidas classes de pí-

xeis que têm afinidade espectral. Em seguida utilizando-se a rotina do processo denominado Maxver (Máxima Verossimilhança), os píxeis de qualquer parte da cena são classificados de acordo com a semelhança espectral com qualquer das classes previamente estabelecidas. À estas classes são atribuídas cores que podem ser alarmadas ou extintas, independentemente, no display de televisão do I-100. Nas cenas examinadas foram estabelecidas arbitrariamente 5 a 6 classes temáticas, tendo por base as maiores populações de píxeis com afinidade espectral.

Das cenas analisadas, somente a cena 137-15 (SRB) mostrou agrupamentos de classes semelhantes ao da área-teste, igualmente ocorrendo ao longo dos divisores d'água, nos interflúvios do rio Tefé com os afluentes de margem esquerda do rio Coari.

### 3.5 - Investigação do Efeito Sazonal

O exame de fotografias panorâmicas coloridas de baixa altitude da locação JR-1-AM, tiradas em meados de setembro de 1979, mostrou a existência abundante de árvores com as copas desprovidas de folhas, demonstrando a grande influência sazonal, no caso a desfolhagem, na mata desta região. Observou-se que somente os registros espectrais tomados por satélite no mês de julho apresentam, quando submetidos ao tratamento automático, os agrupamentos anômalos de classes temáticas. As cenas examinadas correspondem a passagens nos dias 13/7/77 e 21/7/78 que possivelmente coincidiram com o apogeu de um fenômeno sazonal como, por exemplo, a floração.

## 4. CONCLUSÕES

Os trabalhos realizados, principalmente na área de botânica, não foram suficientes para testar a possibilidade das microexsudações influírem no sistema fitoecológico da

região. Os dados disponíveis sugerem que os agrupamentos a nomalos de classes temáticas, observadas nas análises automáticas, ao longo de determinados interflúvios, decorrem do efeito sazonal sobre uma associação vegetal ali desenvolvida às custas de solos de constituições diferentes.

Na área de locação JR-1-AM foi reconhecido um baixio sedimentar rico em humus. As manchas de solo Hidromórfico Gleyzado Húmico devem estar associadas a áreas deste tipo, ora encontradas em partes topográficas mais elevadas. Este tipo de solo, mais rico em nutrientes, tem condições de propiciar o desenvolvimento de uma vegetação mais exuberante. Nas passagens de satélite no mês de julho deve ter sido registrado, por exemplo, o apogeu do período de floração ou de folhas novas desta vegetação.

Juntamente com as manchas de solos mais ricos, ocorrem os cordões arenosos e o solo Podzólico, com laterita disseminada. A laterita é um produto residual do intemperismo e, como tal, deve ser facilmente encontrada na superfície de aplainamento pleistocênico da região. Ela torna de solos

impermeáveis e pobres, dando margem à presença de vegetação mal desenvolvida.

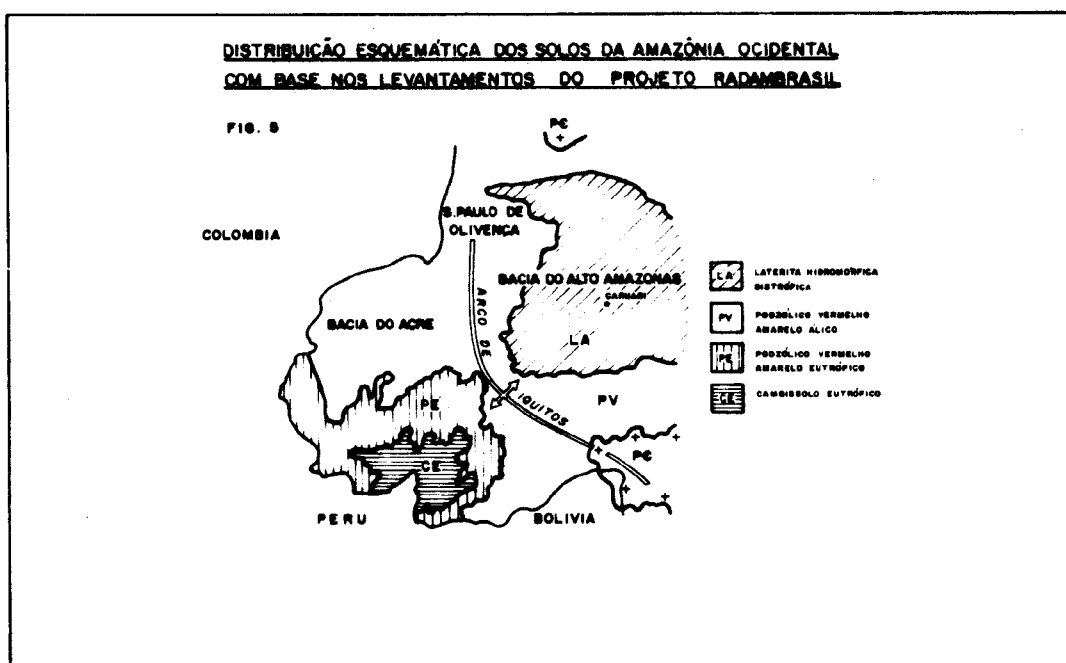
A figura 5 mostra, de forma esquemática, a distribuição de solos na região Amazônica Ocidental, onde pode ser observada a abundância de solos lateríticos na região da Bacia do Alto Amazonas. Sendo a laterita abundante em toda a região, para que ele influencie na vegetação somente de determinados locais deve ser necessário, por exemplo, que ali ocorram maiores concentrações. O soerguimento relativo destes locais pode ter favorecido as concentrações de laterita pelo fato de expor à erosão o horizonte B, concrecionário, do solo Podzólico.

## 5. SÍNTESE DO TRABALHO

O quadro apresentado a seguir sintetiza as observações e a hipótese formulada:

### Observações

- 1) A análise automática dos registros multiespectrais por satélite mostra uma diferenciação de classes temáticas ao longo de determinados interflúvios
- 2) Na região há o predomínio de solo Podzólico Vermelho Amarelo Alíco
- 3) Manchas de solo Hidromórfico Gleyzado e cordões



- arenosos são encontrados sobre o solo Podzólico Vermelho Amarelo Álico
- 4) Os cordões arenosos assumem uma distribuição radial
  - 5) A laterita ocorre disseminada em toda a região
  - 6) Determinadas espécies de vegetais encontram-se concentradas aleatoriamente
  - 7) Efeito sazonal atuando no mês de julho
  - 8) Mata da região é comum a solos pobres.

### Hipótese

O agrupamento de classes temáticas ao longo de determinados interflúvios, observado na análise automática dos registros espectrais tomados por satélite, é decorrente do efeito sazonal no mês de julho, sobre uma vegetação diferenciada às custas de solos de constituições diferentes que ocupam posições topograficamente mais altas. No solo Hidromórfico Gleyzado, rico em humus, há o desenvolvimento de vegetação exuberante. No solo Podzólico, nas areias e lateritas pobres em nutrientes e impermeáveis, a vegetação é pouco desenvolvida.

### Corolário

Manchas de solos de constituições diferentes, dispostas sobre solo Podzólico Vermelho Amarelo Álico em áreas localmente soerguidas, favorecem o desenvolvimento na mesma região de vegetação exuberante associada a uma vegetação mais pobre. O efeito sazonal no mês de julho sobre esta associação, registrado pelo imageamento por satélite, produz na análise automática dos registros espectrais agrupamento de classes temáticas anômalo ao padrão regional.

### 6. BIBLIOGRAFIA

BAKHTIN, V.V. Formation of Halos Above Ore and Oil-Gas Deposits - International Geology Review, Falls Church, Va. 16(1): 75-79, 1974.

BROOKS, R.R. Geobotany and Biogeochemistry in Mineral Exploration, Harpers Geoscience Serie - Harper & Row, Publishers, 290 p. 1972.

DONOVAN, T.J. Petroleum Microseepage at Cement, Oklahoma: Evidence and Mechanism. American Association of Petroleum Geologist Bull., Tulsa, 58(3) 429-446, 1974.

DONOVAN, T.J. Progress Report on Landsat Study of Alteration Aureoles in Surface Rocks Overlying Petroleum Deposits. - United State Department of Commerce - National Technical Information Service - Open-File Report N76-16522, Nov. 1975.

DONOVAN, T.J. and DALZIEL, M. C. Late Diagenetic Indicators of Buried Oil and Gas - United State Department of the Interior - USGS - Open-File Report 77-817, 44 p, 1977.

MIRANDA, F.P. e CUNHA, F.M.B. da Automatic Analysis of Landsat Multispectral Data as a Source of Additional Information for Hydrocarbon Exploration in the "Alto Amazonas"/BASIN - Presented in COGEO DATA-IAMG, Meeting for South America, Rio de Janeiro-RJ, 14-17 Dec. 1981.

OLIVEIRA, A.A.B. de; PITTHAN, I.H.L. e GARCIA, M.G.L. - Folha SB.19 JURUÁ - II Geomorfologia in Projeto RADAMBRASIL, MME-DNPM, vol. 15, 91-142, Rio de Janeiro-RJ, 1977.

REZENDE, W.M. de (in memoria); MELLO, M.R. e BETTINI, C. Detecção de Hidrocarbonetos por Prospecção Geoquímica Terrestre. - Anais do XXXI Congresso da Sociedade de Brasileira de Geologia, Camboriú-SC, vol. 1, 431-443, Out. 1980.

SERRUYA, N.M.; SOUZA, L.F.P. de e CUNHA, N.G. da Folha SC-19 Rio Branco - III Geomorfologia in Projeto RADAMBRASIL, MME-DNPM, vol. 12, 169-312, Rio de Janeiro-RJ, 1976.



SOUZA, L.F.P. de e SERRUYA,  
N.M. Folha SB.19 JURUÁ -  
III Pedologia in Projeto  
RADAMBRASIL, MME-DNPM, vol.  
15, 143-274, Rio de Janei  
ro-RJ, 1977.

