

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Tectônica rúptil da Bacia do Amazonas – Estilos
estruturais do Mesozóico-Cenozóico na região de Manaus,
AM**

Vitor Yugo Taga

Orientador: Prof. Dr. Claudio Riccomini

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF-09/29)

TF
T125
VY.t

**São Paulo
2009**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



**TECTÔNICA RÚPTIL DA BACIA DO AMAZONAS – ESTILOS
ESTRUTURAIS DO MESOZÓICO-CENOZÓICO NA REGIÃO
DE MANAUS, AM**

Vitor Yugo Taga

Orientador: Prof. Dr. Claudio Riccomini

DEDALUS - Acervo - IGC

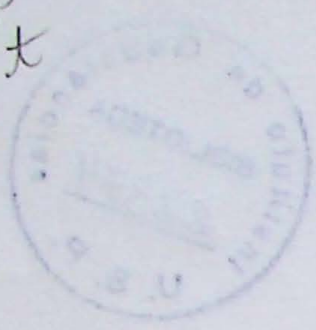


30900026784

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-09/29)

São Paulo
2009

TF
T125
VY.4



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

TECTÔNICA E RÔLE DA BACIA DO AMAZONAS - ESTÍLOS
ESTRUTURAIS DO MESOZOICO-CENOZOICO NA REGIÃO
DE MANAUS, AM

Walter Tugo Tava

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Nicodemi

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FOMATURA

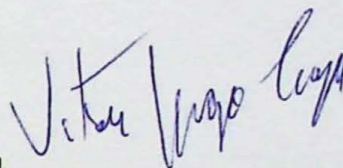
(72-0920)

2008

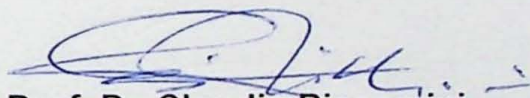
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**TECTÔNICA RÚPTIL DA BACIA DO AMAZONAS – ESTILOS
ESTRUTURAIS DO MESOZÓICO-CENOZÓICO NA REGIÃO
DE MANAUS, AM**

Vitor Yugo Taga



Orientador: Prof. Dr. Claudio Riccomini



MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF-09/29)

São Paulo

2009

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de deixar um agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr. Claudio Riccomini pela orientação, incentivo e, principalmente, paciência.

Ao geólogo Delano Menecucci Ibanez, pela amizade e companhia ao longo da campanha de campo.

Aos meus colegas do Instituto de Geociências ("geo"), em especial três grandes amigos, Marcelo Gaviolli Henriques, Pedro Rabello Crisma e Daphne Silva Pino: invejáveis companheiros que me proporcionaram nada mais que alegria nesses cinco anos de curso.

E finalmente agradeço aos meus pais, Ney e Magda, e minha querida irmã, Aline, pelo amor incondicional ao longo da minha vida.

Resumo

O soerguimento da cordilheira andina, iniciado no Paleógeno e intensificado no Mioceno, impôs um novo cenário as bacias amazônicas: os rios de alta energia que antes fluíam para o Oceano Pacífico no Neocretáceo cederam lugar a grandes lagos, alimentados por meandros de baixa energia no Mioceno, que passaram a fluir lentamente no rumo do Oceano Atlântico, pela foz do rio Amazonas.

As recentes descobertas de hidrocarbonetos na região central da Amazônia, especialmente gás natural, revelaram a importância da compartimentação tectônica na geração de armadilhas estruturais. A compreensão do arcabouço estrutural, bem como da sua evolução tectônica, é essencial na busca de novas áreas potencialmente favoráveis à acumulação de hidrocarbonetos na região amazônica. Este trabalho teve como principal meta a caracterização dos estilos estruturais relacionados à tectônica rúptil da Bacia do Amazonas, na região de Manaus. Para tanto, procurou-se elaborar um modelo tectônico que corroborasse com as informações estruturais obtidas nos levantamentos de campo, mediante a análises de fraturas (falhas e juntas) em mesoescala (escala de afloramento). Com as informações devidamente consolidadas, buscou-se elaborar um modelo tectônico regional, sendo este confrontado com os já propostos na literatura.

Ao analisar o mapa local da rede de drenagens, pôde-se observar uma conspícua relação dessas com as direções preferenciais das estruturas observadas em campo: NW-SE e NE-SW. Os grandes rios, tais como o Negro, o Preto da Eva e o Urubu, acompanham claramente a primeira direção, enquanto que a última relaciona-se com as drenagens dos seus afluentes.

Com base nos dados de falhas normais e famílias de juntas observadas foi possível reconhecer dois regimes tectônicos superimpostos. O mais antigo, de idade neocretácea a Eomioceno foi ativo durante e após a deposição da Formação Alter do Chão, e previamente a deposição da Formação Novo Remanso. Corresponde a um regime distensivo de direção geral NE-SW. O mais novo, de idade pós-Mioceno Superior, afetou a Formação Novo Remanso e as coberturas mais recentes. Corresponde a um regime distensivo de direção NW-SE, neotectônico.

Dessa forma observou-se que, inicialmente, entre o Neocretáceo e o Mioceno Inferior, o eixo do esforço principal máximo (SH_{máx}) situava-se na direção geral NW-SE, e, posteriormente, após o Mioceno, os campos de esforços passaram a atuar ortogonalmente, com SH_{máx} na direção NE-SW.

Abstract

The Andes uplifting, started at Paleogene and intensified during the Miocene, imposed a new scenario for the amazonian basins: the high energy rivers that once flowed to the Pacific Ocean in late Cretaceous gave place to great lakes, fed by low energy meanders in Miocene, that started to flow slowly to the Atlantic Ocean, through the Amazon River mouth.

The recent discovery of hydrocarbons in central Amazon, especially natural gas, revealed the importance of the tectonic framework in the generation of structural traps. The understanding of the structural framework, as its tectonic evolution is essential in the search for new potentially favourable areas for the accumulation of hydrocarbons in the Amazon region. The main goal of this study was the characterization of structural styles related to brittle tectonics of Amazon basin, in the region of Manaus. For that, the aim was to establish a tectonic model that corroborate with the structural information obtained in field survey, based on the analysis of fractures (faults and joints) in mesoscale (outcrop scale). With the information properly consolidated, it was confronted with those already proposed in the literature.

By analyzing the local drainage network map, it could be observed a notable relationship between them and the directions of folds and joints obtained in the field survey: NW-SE and NE-SW. The main rivers, such the Negro, Preto da Eva and Urubu, clearly follow the first direction, while the latter is closely related to the drains of the respective rivers.

Based on the data of normal faults and joint families it was possible to recognise to superimposed tectonic regimes. The older, of late Cretaceous to early Miocene age, was active during and after the deposition of the Alter do Chão Formation, predates the Novo Remanso Formation, and corresponds to a NE-SW-oriented extension. The younger one post-dates the Novo Remanso and the overlying sedimentary covers and corresponds to a NW-SE-oriented of neotectonic character.

Thus it was observed that initially, between the late Cretaceous and early Miocene, the axis of maximum horizontal stress (SH_{max}) was positioned in the general NW-SE direction, and later (Middle to Upper Miocene), the stress started to act orthogonally in a NE-SW-oriented direction.

Sumário

1. Introdução.....	1
1.1 Apresentação.....	1
1.2 Localização da área.....	1
1.3 Objetivo.....	3
1.4 Justificativa.....	3
1.5 Materiais e métodos.....	3
2. Revisão bibliográfica.....	4
2.1 Tectônica regional.....	4
2.2 Unidades litoestratigráficas do Neocretáceo e Mioceno.....	7
2.2.1 Neocretáceo – Formação Alter do Chão.....	7
2.2.2 Mioceno – Formação Novo Remanso.....	7
2.2.3 Perfis lateríticos.....	8
3. Histórico das atividades.....	8
4. Unidades observadas.....	9
4.1. Formação Alter do Chão (Neocretáceo).....	9
4.2. Formação Novo Remanso (Mioceno).....	10
4.3 Crostas lateríticas.....	11
5. Estruturas.....	12
5.1 – AM-01, proximidades do Município Rio Preto da Eva – falhas escalonadas NNW-SSE.....	13
5.2 – AM-04 – falha listrica NE-SW.....	14
5.3 – AM-06 – falhas do Neocretáceo.....	15
5.4 – AM-09 – falhas do Neocretáceo.....	16
5.5 – AM-10 – falha NE-SW.....	17
5.6 – AM-11 – falha listrica NE-SW.....	18
5.7 – AM-13 – falhas escalonadas ENE-WSW, sudoeste de Manaus.....	19
5.8 – AM-15 – falhas escalonadas a sul de Manaus (margem direita do Rio Negro). Formação Novo Remanso.....	20
5.9 – AM-22 – falha NW-SE.....	21
5.10 – Mapa das falhas normais.....	22
5.11 – Mapa das Juntas.....	23
6. Interpretação e discussão dos resultados.....	24
6.1. Falhas sin-sedimentares (Formação Alter do Chão).....	24
6.2 Falhas pós-sedimentares (Formação Novo Remanso).....	24
6.3 Juntas.....	24
6.4 Modelo tectônico.....	26
7. Conclusões.....	27
8. Referências bibliográficas.....	28
Anexo: tabela de fraturas	

A área estudada situa-se numa vasta exposição neocretácea (Formação Alter do Chão), abrangendo os municípios de Manaus, Itacoatiara, Silves e Presidente Figueiredo, como ilustrado na figura 2. Os levantamentos de campo ocorreram nas principais vias de acesso da região: AM-010 (Manaus-Itacoatiara), AM-363 (Itacoatiara-Silves), BR-174 (Manaus-Presidente Figueiredo) e AM-240 (Presidente Figueiredo-Hidrelétrica de Balbina).

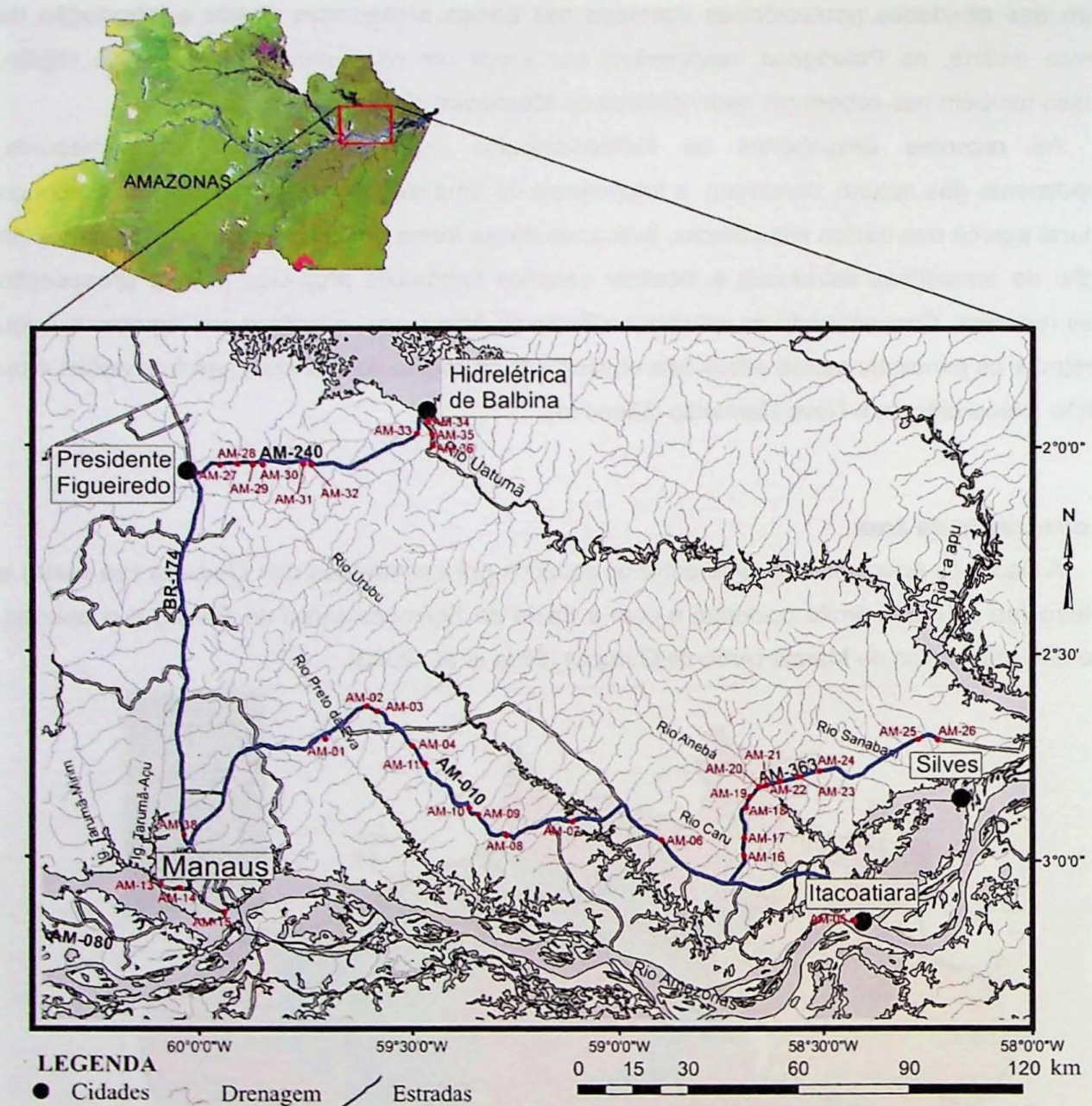


Figura 2 – Mapa detalhado da porção leste do Estado do Amazonas, ilustrando os afloramentos visitados (vermelho) e as principais vias de acesso (azul).

1.3 Objetivo

O projeto aqui exposto teve, como principal meta, caracterizar os estilos estruturais relacionados à tectônica rúptil em um setor da Bacia do Amazonas. Para tanto, procurou-se elaborar um modelo tectônico que corroborasse com as informações estruturais obtidas nos levantamentos de campo, mediante a análises de fraturas (falhas e juntas) em mesoescala (escala de afloramento). Com as informações devidamente consolidadas, buscou-se elaborar um modelo tectônico regional, sendo este confrontado com os já propostos na literatura.

1.4 Justificativa

As extensas exposições de rochas sedimentares deformadas tectonicamente, presentes ao longo das principais vias de acesso na região compreendida entre Manaus e Itacoatiara, AM, oferecem uma excelente oportunidade para a caracterização dos estilos estruturais presentes.

O estudo reveste-se também de importância acadêmica, contribuindo na complementação de informações geológicas (dados estruturais) de uma região ainda carente em estudos na Amazônia. Adicionalmente constitui-se em tema adequado ao treinamento do aluno em técnicas de geologia estrutural

1.5 Materiais e métodos

Ao longo da campanha de campo, foram utilizados: uma bússola tipo Clar, obedecendo assim à notação de rumo de mergulho; e um equipamento de posicionamento global (GPS) para a localização dos afloramentos.

A análise estrutural de falhas e juntas seguiram os procedimentos e classificações apresentados em Angelier (1994) e Dunne & Hancock (1994), respectivamente. As informações estruturais foram devidamente representadas em estereogramas de igual área (rede Schmidt-Lambert), utilizando o *software Stereo32* (versão 1.0.1), tomando sempre o hemisfério inferior como referência. Adotou-se, para os dados de falha, a representação na forma ciclográfica.

Uma vez que os afloramento da região de Manaus caracterizam-se por suas extensas exposições, foram confeccionados, para uma melhor visualização, mosaicos das fotografias tiradas ao longo dos afloramentos visitados. Para a composição das fotos em mosaico e demais edições, foi utilizado o editor de imagens *GIMP* (*GNU Image Manipulation Program*), versão 2.6.6.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Tectônica regional

Um dos primeiros trabalhos referentes à neotectônica na Bacia do Amazonas foi, certamente, o de Sternberg (1950). O autor sugeriu um controle tectônico nos vales da planície amazônica, no qual a morfologia do sistema hidrográfico regional apontaria para lineamentos estruturais relacionados a um sistema de falhas e juntas. Tais fatos seriam comprovados pelo paralelismo (NW-SE) dos rios Negro, Preto da Eva e Urubu, além da formação de ângulos retos ou "joelhos" nas respectivas drenagens desses rios, configurando lineamentos praticamente ortogonais (NE-SW) aos anteriores (figura 3).

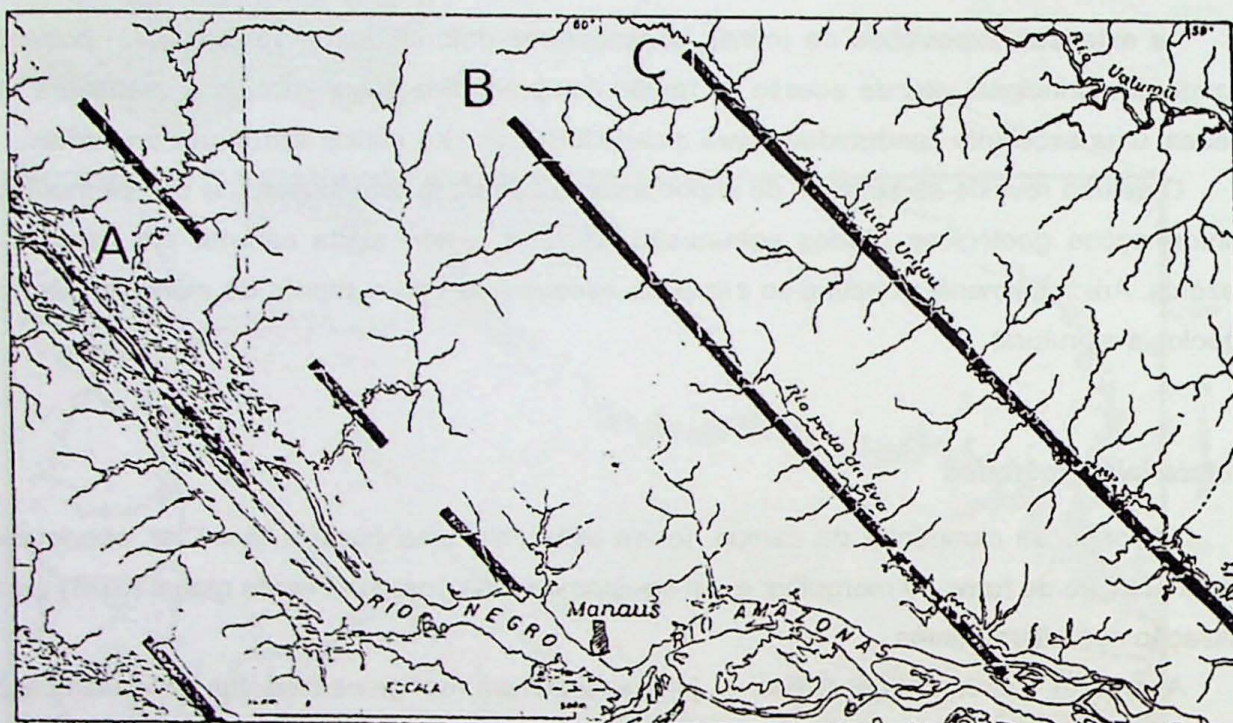


Figura 3 – Paralelismo dos rios Negro (A), Preto da Eva (B) e Urubu (C), e a formação de "joelhos" por suas respectivas drenagens. Sternberg (1950).

Sternberg (1950) supôs ainda que as causas de tais sistemas de fraturas seriam exclusivamente uma resposta a carga sedimentar (efeito "torção") acumulada na foz do Rio Amazonas. Este fato foi revisado em diversos trabalhos, desde a década de 70, inclusive no Projeto Radambrasil (Costa *et al.*, 1978), sendo o último considerado como o primeiro levantamento de grande porte na vasta região amazônica.

Com o auxílio de imagens de satélite, Franzinelli & Igreja (1990) formularam um modelo neotectônico sustentado por: a) sistema de meio-gráben, com eixo de compressão máximo na direção N35-40W; b) sistema transcorrente dextral E-W, com o eixo de compressão máximo NW-SE. Tais afirmações basearam-se em dados de falhas normais e transcorrentes nos arredores do

Baixo Rio Negro (figura 4). Observaram também, nas adjacências do Município de Manaus, estrutura em flor negativa, sugerindo novamente intervenção de caráter transferente na região.

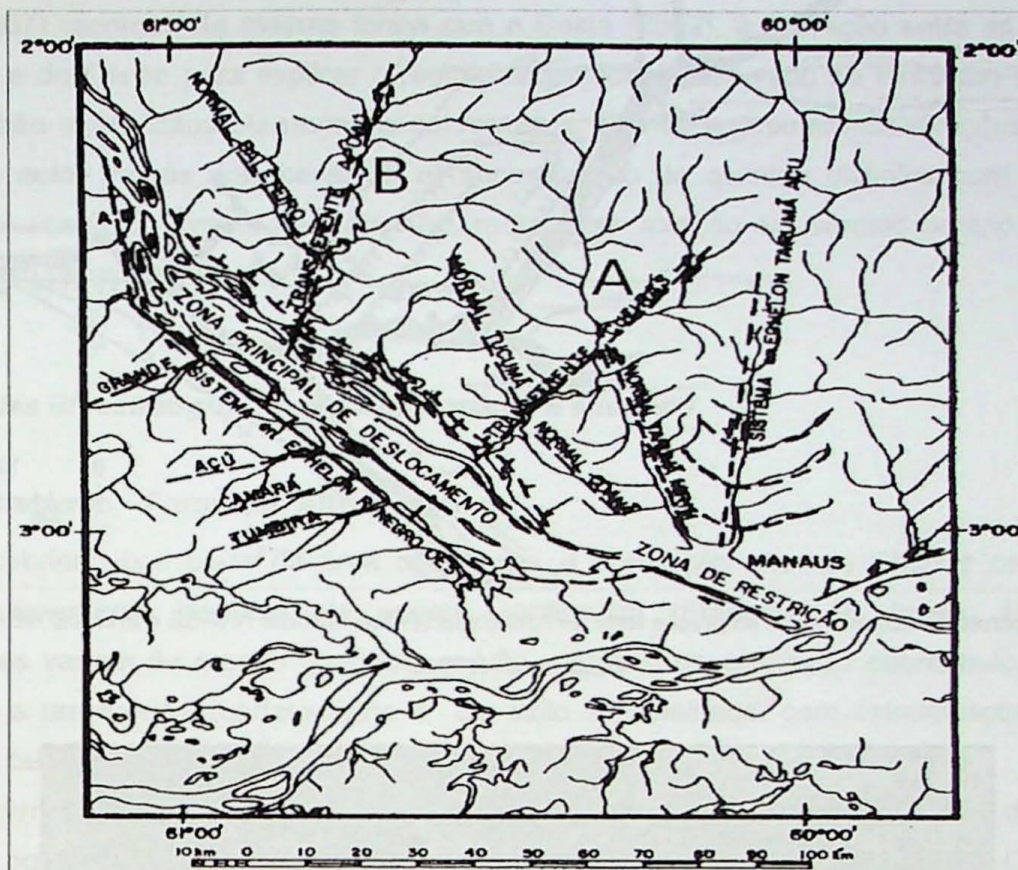


Figura 4 – Lineamentos estruturais do Baixo Rio Negro. Os elementos a serem observados são: 1) o lineamento ao longo do Rio Negro (“Zona principal de deslocamento”), constituindo o sistema de meio-gráben; 2) as falhas transcorrentes de Apuaú (A) e de Cuieras (B). Franzinelli & Igreja (1990).

Sena Costa *et al.* (1996) apontaram que as estruturas mais antigas (Terciário Inferior) presentes na região seriam sistemas de falhas inversas de direção NE-SW, afetando a Formação Alter do Chão. As mais novas constituem dois sistemas de bacias de afastamento (*pull-apart*) associadas a falhas transcorrentes dextrais de direções NE-SW e E-W, sendo a primeira responsável por controlar o traçado do Rio Amazonas a leste de Manaus, e a segunda por definir o paralelismo entre os rios Negro, Preto da Eva e Urubu. (figura 5).

Utilizando-se de interpretações sísmicas e da tectônica salina (movimento de unidades evaporíticas), Costa (2002) apontou uma interação complexa entre as placas Sul-Americana, Nazca, Caribe e Cocos, (figura 6). As fraturas presentes na Bacia do Amazonas, de direções NE-SW e NW-SE, estariam relacionadas a um esforço oblíquo compressivo na porção norte da Placa Sul-Americana, quando essa foi deslocada de encontro às placas do Caribe e de Nazca.

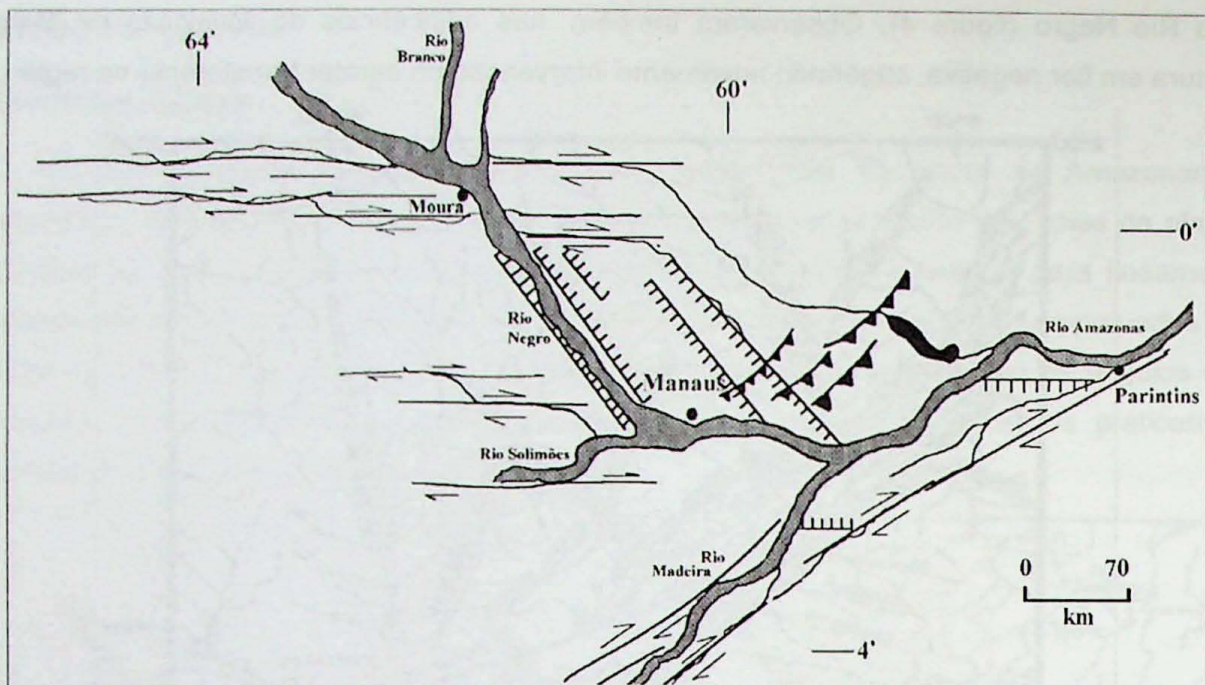


Figura 5 – Estruturas neotectônicas na porção leste do Amazonas (falhas normais NW-SE e inversas NE-SW). Sena Costa *et al.*, (1996).

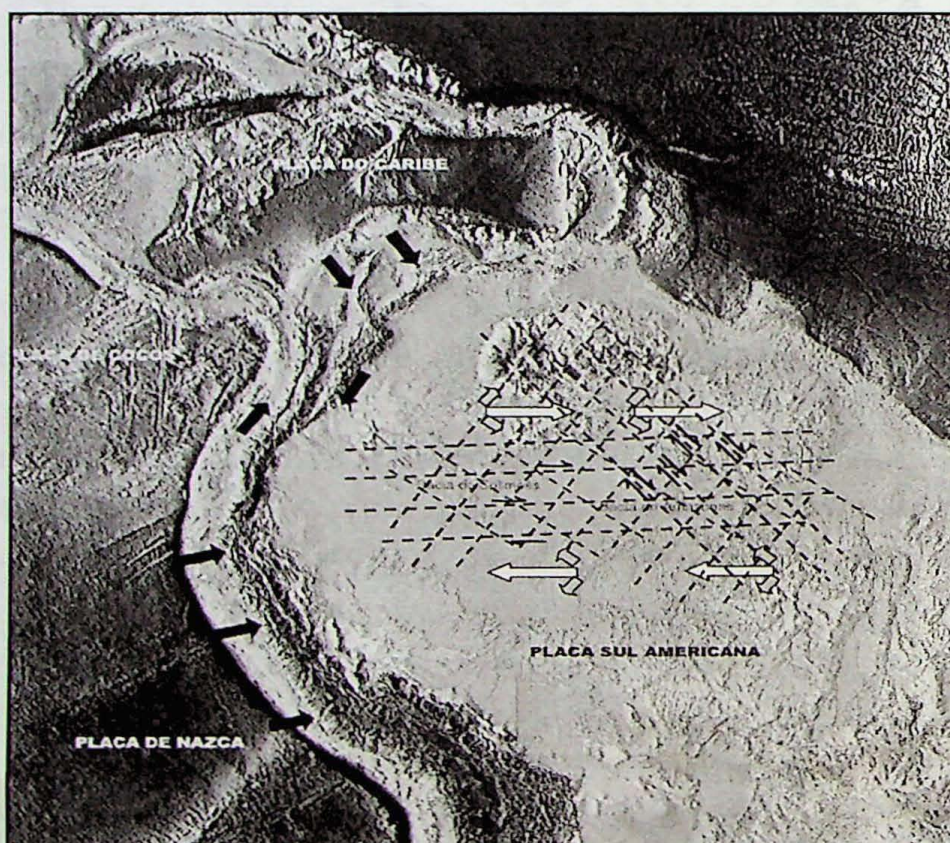


Figura 6 – Interação das placas adjacentes à placa Sul-Americana (setas em preto), sugerindo um binário dextral (setas em branco) para as bacias amazônicas. Costa (2002).

Para determinar um modelo compatível com as diversas direções (NW, NE, ENE e WNW) de falhas normais encontradas nos trechos Manaus-Itacoatiara e Manaus-Presidente Figueiredo, Soares (2007) recorreu, da mesma forma que a Costa (2002), à interação entre as placas Sul-Americana e do Caribe para explicar o regime distensional observado na formação neocretácea Alter do Chão e depósitos pleistocenos sobrepostos. Devido às numerosas direções das falhas normais, o autor propôs dois cenários: a) superposição de eventos distintos com orientações variadas; b) um único evento de distensão, radial, com rotação em sentido horário, fixando na vertical o eixo de maior esforço (σ_1).

2.2 Unidades litoestratigráficas do Neocretáceo e Mioceno

2.2.1 Neocretáceo – Formação Alter do Chão

Recobrimo boa parte da área de estudo, a Formação Alter do Chão é composta por rochas sedimentares clásticas de origem continental (Franzinelli & Igreja, 1990), cujas composições variam de arenito quartzoso médio a grosso de coloração esbranquiçada (arenito caulinitico) a um arenito quartzoso fino a um siltito avermelhado, com estratificações cruzadas acanalada, tabular e plano-paralela (Soares, 2007).

A formação teve o seu nome consagrado na nomenclatura estratigráfica da Bacia do Amazonas por Caputo (1972), que a atribuiu a um ambiente fluvial a flúvio-lacustre. Costa (2002) atribuiu a essa unidade um sistema fluvial de alta energia, que se prolongava até as bacias sub-andinas, período em que, segundo Soares (2007), o sentido do fluxo medido nos estratos cruzados e eixo de canal era predominantemente para WSW.

Sobreposta à Formação Alter do Chão ocorrem geralmente unidades de intemperismo, como crostas lateríticas e latossolos amarelos (Costa, 1991; Costa 2002; Sarges, 2005; Soares, 2007).

2.2.2 Mioceno – Formação Novo Remanso

Desenvolvida sobre a formação cretácea e limitada por superfícies de descontinuidades, a Formação Novo Remanso aflora nas proximidades das margens dos rios Solimões e Amazonas, sendo constituída por arenitos ferruginosos grossos e arenitos finos a médios friáveis (Sarges, 2005). Sobrepostos aos últimos têm-se argilas maciças laminadas. A unidade é limitada na base por crosta laterítica colunar, porosa, e no topo por crosta também laterítica, maciça, localmente pisolítica (Horbe *et al.* 2004).

Soares (2007) dividiu a formação em duas partes distintas, denominando-as, informalmente, de inferior e superior, sendo essas separadas por um horizonte de paleossolo

laterítico e diferenciadas por sua coloração. A unidade inferior é composta por arenitos finos a grossos, mal selecionados, com grânulos e seixos de quartzo e argila, possui coloração geral vermelha-arroxeadada, gradando a róseo-amarelado. A unidade superior é composta por arenito fino a pelítico, caulinitico, de coloração bege-esbranquiçada. A análise de pequenas estratificações cruzadas na última unidade apontam uma paleocorrente de sentido preferencialmente para SE.

A posição estratigráfica da Formação Novo Remanso foi estabelecida por Soares (2007), através da análise de material esporo-polinico. A presença da espécie-guia *Grimmsdalea magnaclavata*, aponta para uma idade Mioceno Médio a Superior, que permite considerar como uma nova unidade estratigráfica na Bacia do Amazonas.

2.2.3 Perfis lateríticos

Os perfis lateríticos desenvolveram-se extensamente nas áreas de ocorrência dos sedimentos mesozóicos-cenozóicos da região de Manaus, principalmente na formação cretácea do Alter do Chão. O termo laterito é usado para designar rochas formadas (ou em formação) por meio de intenso intemperismo químico das rochas preexistentes, podendo ser compacto, maciço, coeso ou incoeso, terroso ou argiloso, com coloração variando de vermelho, violeta, amarelo, marrom e até esbranquiçado (Costa, 1991).

Segundo Silva (2005), após a atuação de um regime compressivo que deformou os estratos da Formação Alter do Chão, a região passou por período de relativa estabilidade no Mioceno, no qual possibilitou a formação dos horizontes lateríticos sobre os depósitos neocretáceos.

Costa (1991) classificou as crostas lateríticas em dois grupos principais, de acordo com o seu grau de evolução: a) crostas lateríticas maduras (Eoceno-Oligoceno); b) crostas lateríticas imaturas (Pleistoceno). Os perfis maduros caracterizam-se por formar horizontes melhor diferenciados, sob a forma de platôs ou morros, exibindo maior complexidade de horizontes, texturas, estruturas e mineralogia. Apesar de estarem distribuídos por toda a região amazônica, os lateritos imaturos apresentam-se na forma de relevos jovens, ocorrendo comumente em horizonte concrecionário ferruginoso.

Para Costa (1991), o reconhecimento e caracterização desses horizontes lateríticos constituem uma excelente ferramenta para a datação correlativa nos estudos neotectônicos ("pós-cretáceos") na região Amazônica.

3. Histórico das atividades

Sobre as atividades desenvolvidas ao longo deste ano, pode-se dizer, de modo geral que o cronograma inicialmente proposto foi cumprido com êxito.

Encontra-se a seguir a relação das atividades realizadas neste projeto:

Atividades\Meses	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Pesquisa bibliográfica	X	X	X	X	X	-	-	-	-
Trabalhos de campo	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Análise dos dados de campo	-	X	X	X	X	-	-	-	-
Integração dos dados	-	-	-	-	-	X	X	X	-

4. Unidades observadas

4.1. Formação Alter do Chão (Neocretáceo)

A Formação Alter do Chão sustentou a maior parte dos dados obtidos. Em campo, caracterizou-se por duas litologias distintas, da base para o topo: a) arenito médio a grosso caulinitico, de coloração cinza-esbranquiçada, intercalada a camadas centimétricas de arenito fino a siltiloso avermelhado apresentando, geralmente, estruturas como estratificações cruzadas acanaladas, plano-paralelas, e, em alguns locais, paleocanais (AM-06, figura 7); b) arenito fino a siltiloso, avermelhado, apresentando-se muito alterado (AM-22, figura 8)



Figura 7 – Base da Formação Alter do Chão, indicando a presença de paleocanais no arenito caulinitico.



Figura 8 – Topo da Formação Alter do Chão, apresentando-se, na maioria das exposições, bem alterado.

4.2. Formação Novo Remanso (Mioceno)

O único afloramento observado da Formação Novo Remanso (loca AM-15), localizado ao sul da capital Manaus, as margens esquerda do Rio Negro. É constituído basicamente por arenitos médios a grossos, de coloração vermelha a arroxeada, apresentando estratificações cruzadas acanaladas métricas (figura 9). Foram observadas também numerosos fragmentos fósseis de galhos de tamanho centimétrico a decimétrico (figura 10).



Figura 9 – Estratificação cruzada acanalada da Formação Novo Remanso.



Figura 10 – Fragmentos de galhos observados por todo o afloramento do Novo Remanso.

4.3 Crostas lateríticas

Crostas Lateríticas foram observadas frequentemente sobre a Formação Alter do Chão. Caracterizam-se por formar crostas ferruginosas persistentes ocorrendo tanto na forma de pisólitos centimétricos (figura 11), como em grandes colunas métricas, maciças ou porosas, extremamente resistentes, denominada em campo de “couraça” (figura 12). Sobre as crostas lateríticas ocorre um típico latossolo de coloração amarelada (figura 11).

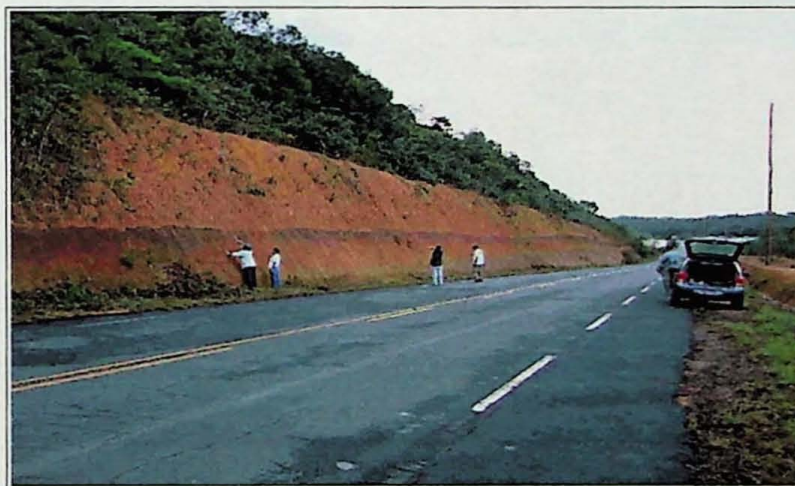


Figura 11 – AM-07 – Ilustração da continuidade da crosta laterítica pisolítica (porção escura). Acima da última tem-se o latossolo amarelo.



Figura 12 - AM-05, Município de Itacoatiara – crosta ferruginosa (“couraça”).

5. Estruturas

A análise dos dados obtidos em campo permitiram reconhecer duas direções estruturais principais, NE-SW e NW-SE representadas por falhas de componente normal. Essas direções mostram evidentes relação no controle da orientações das drenagens e rios locais, como antes observados em mapas de drenagens (*e.g.* Sternberg, 1950) e de lineamentos (*e.g.* Costa, 2002; Silva, 2005). As falhas normais de direção NW-SE representam as direções preferenciais dos rios Preto da Eva, Urubu e Anebá, assim como o Rio Negro, a oeste de Manaus e da área estudada. Já as falhas de direção NE-SW, as mais numerosas em campo, aparentam acompanhar regularmente as direções das drenagens perpendiculares ou seja, os afluentes dos rios citados.

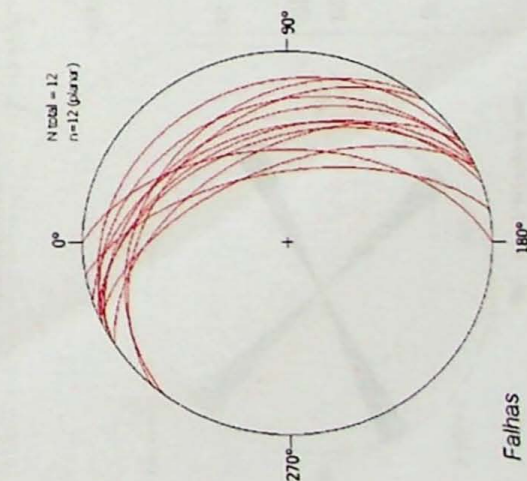
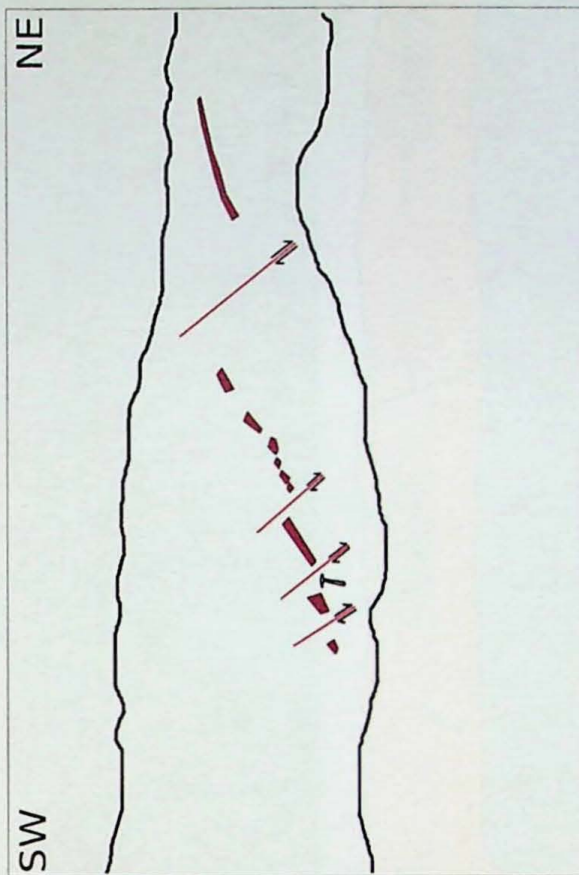
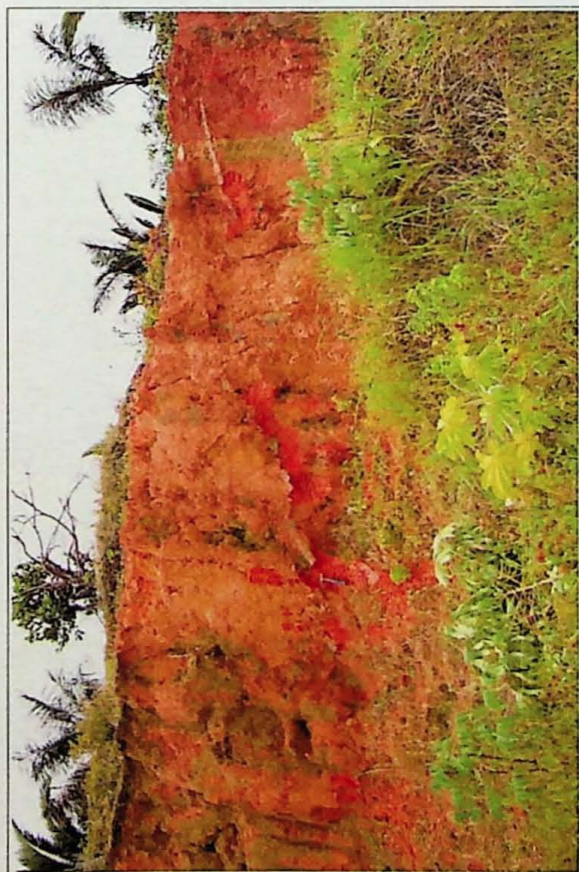
Obedecendo aproximadamente as mesmas direções NE-SW e NW-SE das falhas, as famílias de juntas ocorrem em praticamente toda a extensão da área estudada. Elas estão melhor desenvolvidas no arenito caulínítico da Formação Alter do Chão (figura 13), mas ocorrem também nas unidades mais recentes.



Figura 13 – Exemplo de famílias de juntas (em azul) no arenito caulínítico da Formação Alter do Chão.

Nas próximas páginas serão expostos os principais afloramentos que ilustram as estruturas aqui mencionadas.

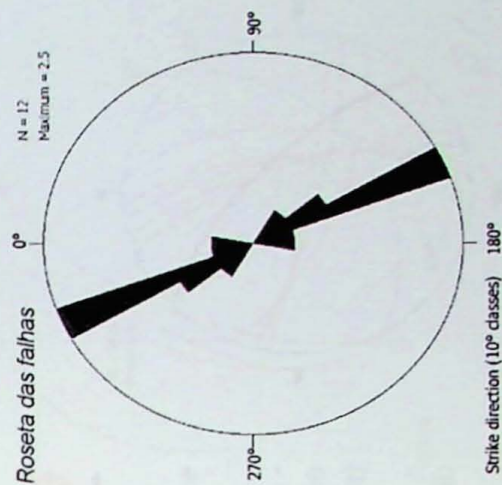
5.1 AM-01, proximidades do Município Rio Preto da Eva – falhas escalonadas NNW-SSE



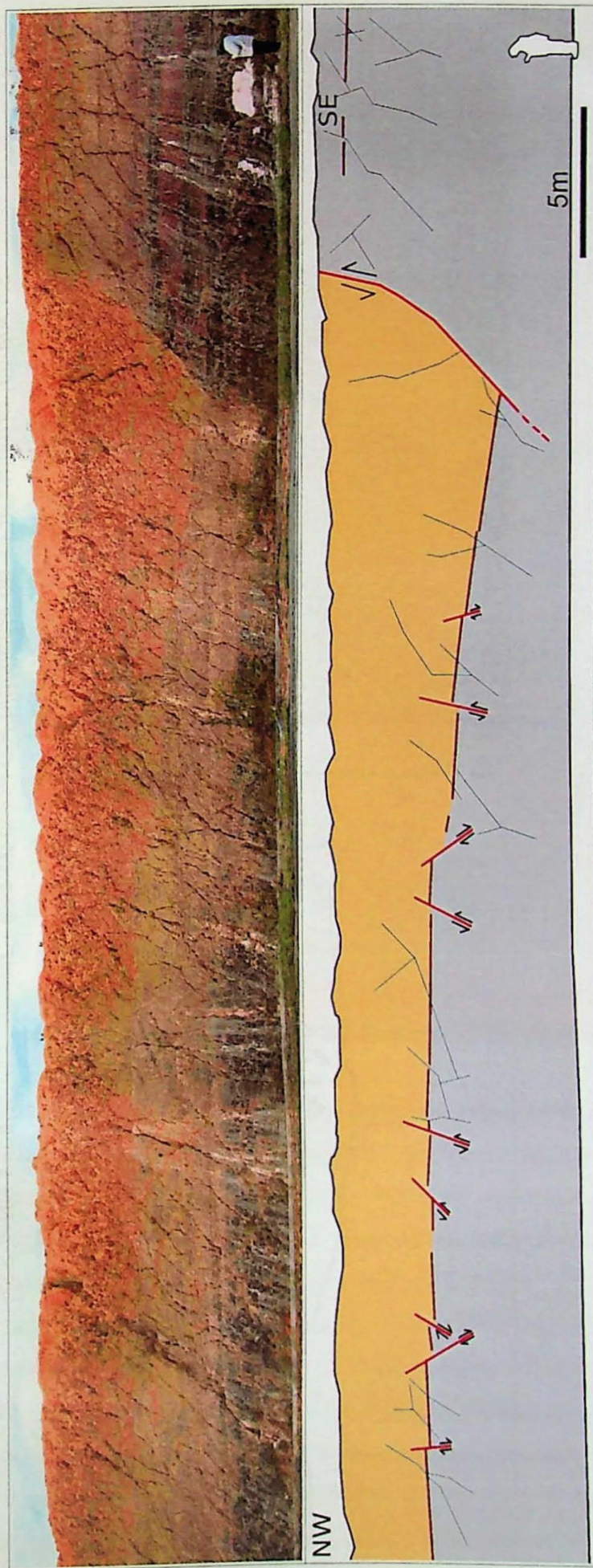
- Coordenadas: lat: 02° 42' 00.11" S
long: 59° 42' 27.71" W

- Deslocamentos da crosta laterítica maciça (em cinza na foto e em marrom no esboço) em meio a um arenito friável de coloração amarelo-avermelhado, sendo este o produto da laterização da Formação Alter do Chão;

- notar que, como ilustrado no diagrama de roseta, as falhas denotam uma direção aproximada a do Rio Preto da Eva, localizado a poucos metros do afloramento.

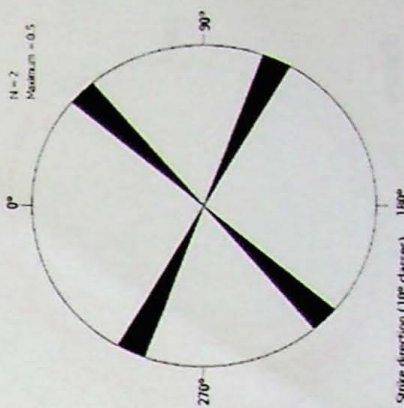
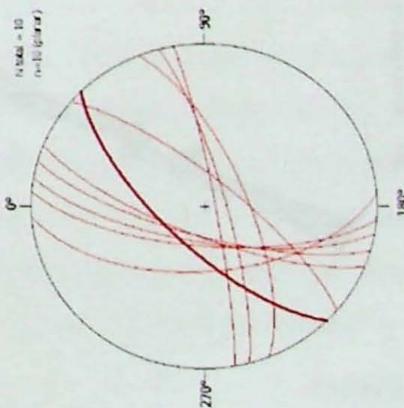


5.2 – AM-04 – falha lística NE-SW

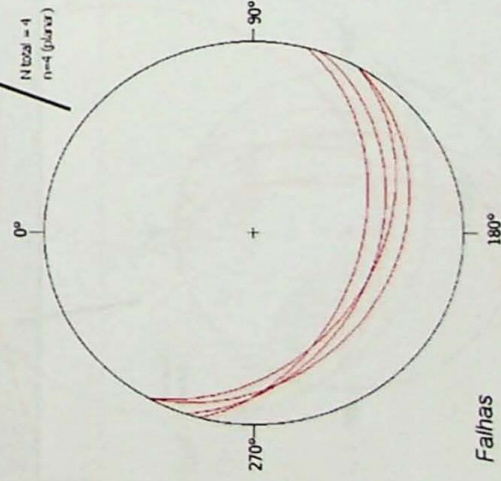
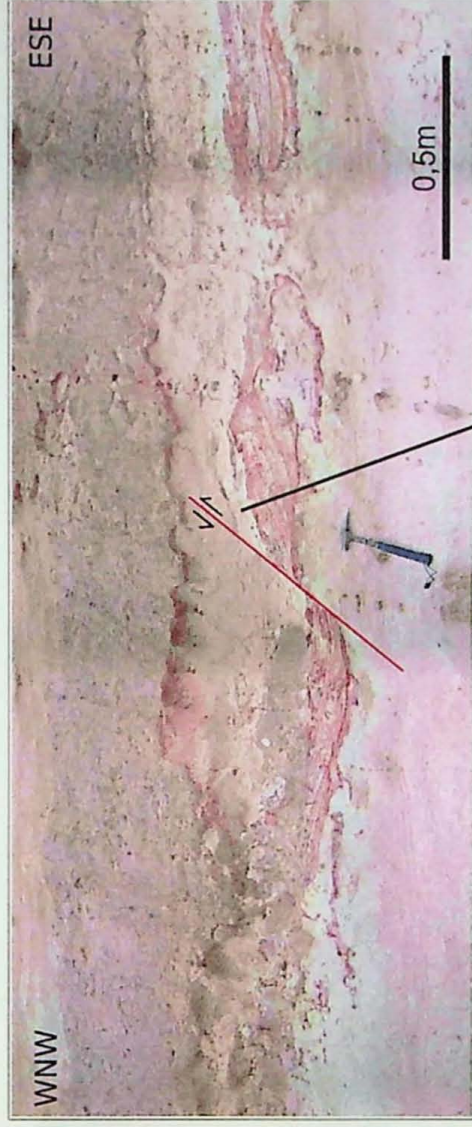
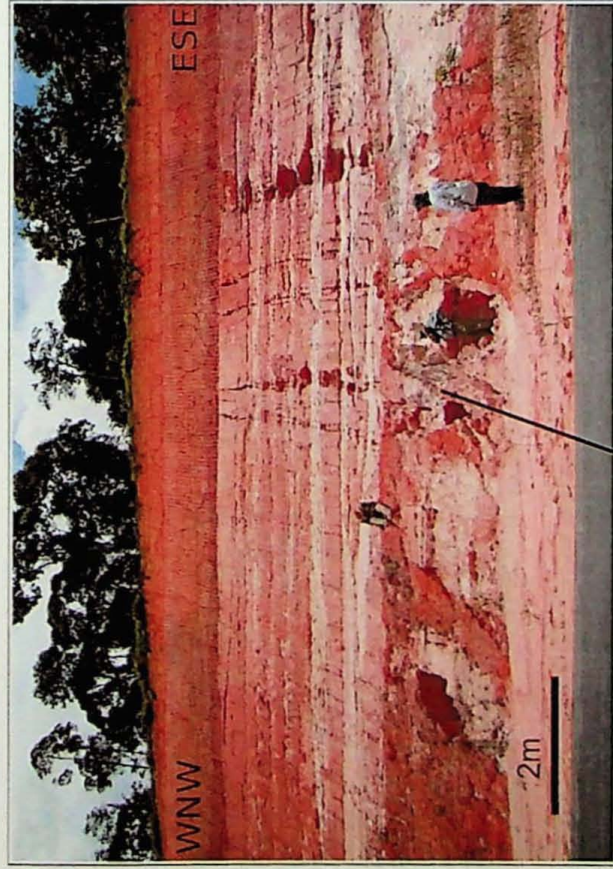


- Coordenadas: lat: 02° 43' 12.61" S
long: 59° 30' 49.88" W

- No estereograma à esquerda: falha lística (centro do afloramento) marcada em negro. As demais são as pequenas falhas escalonadas na crosta laterítica (porção NW do corte) sobre o arenito caulinitico da Formação Alter do Chão;
- o diagrama em roseta ilustra as direções da família de juntas. Notar que a direção NE-SW é condizente com a direção da falha principal.



5.3 – AM-06 – falhas do Neocretáceo

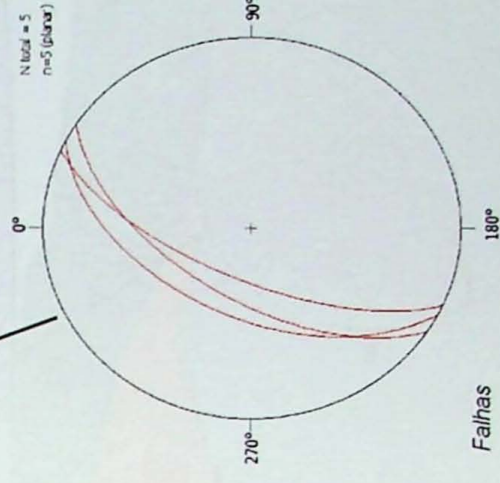


- Coordenadas:

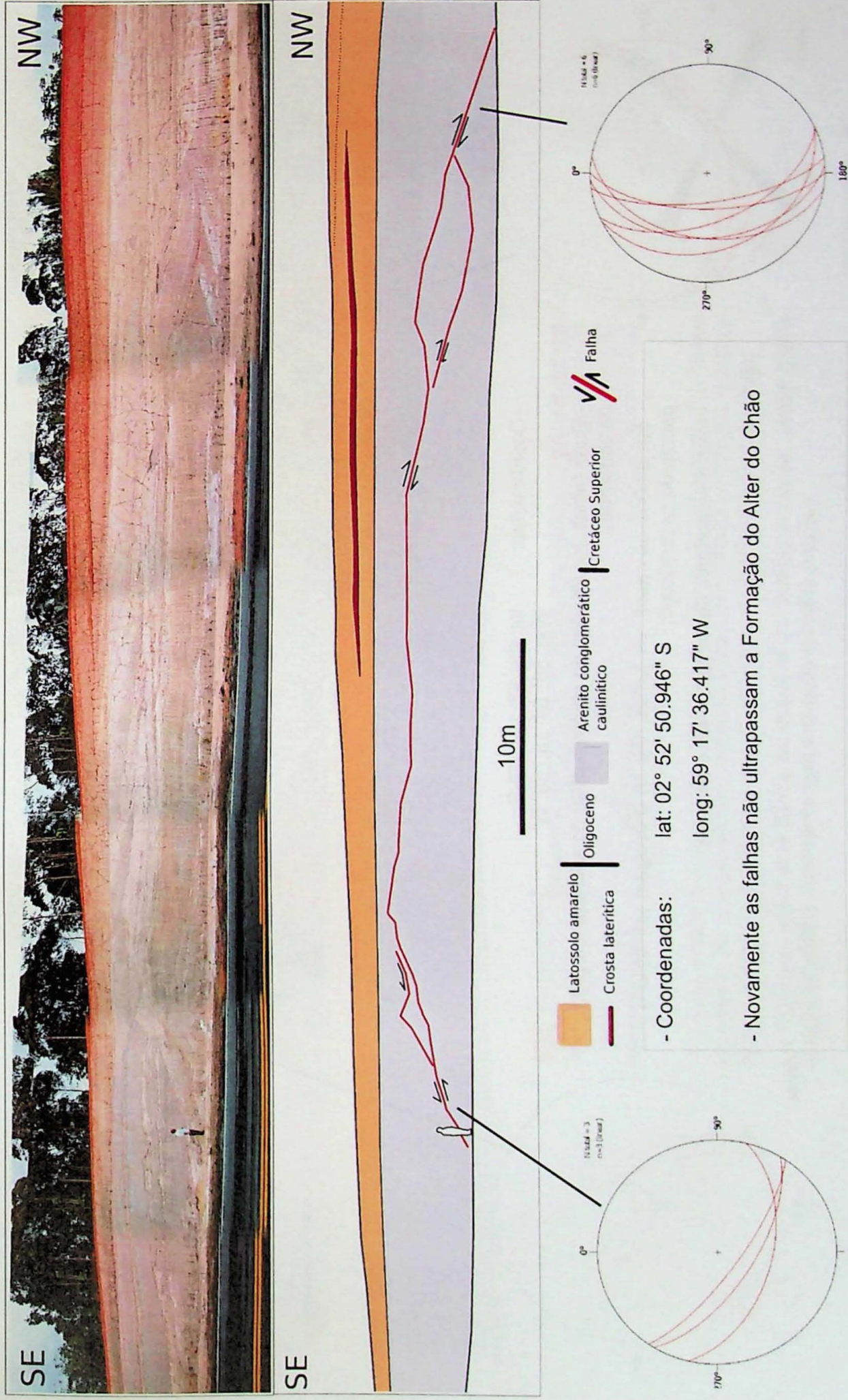
lat: 02° 57' 19.127" S

long: 58° 54' 18.756" W

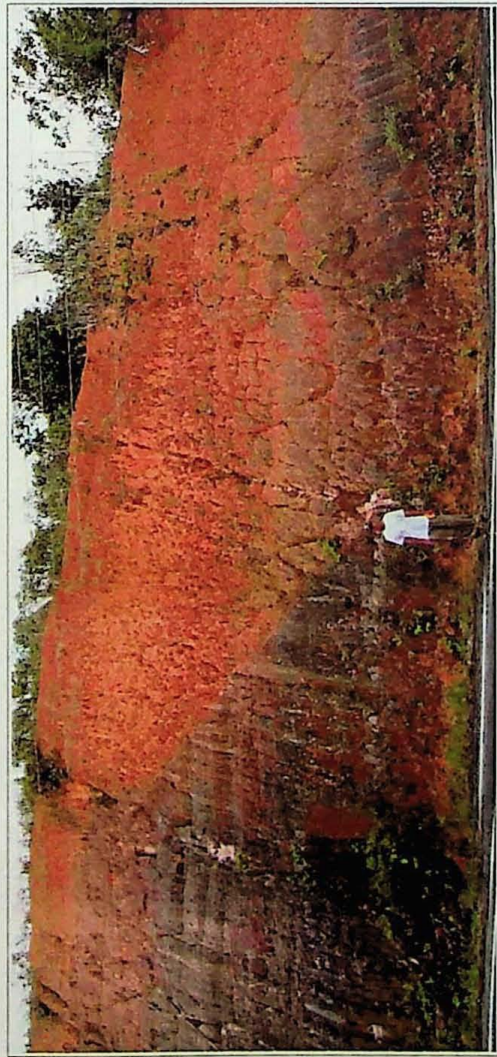
- Duas falhas, localizadas no primeiro platô do afloramento (foto da esquerda);
- em ambos os casos, as falhas não se propagam por todo o pacote do neocretáceo;
- tratam-se portanto de falhas sin-sedimentares.



5.4 – AM-09 – falhas do Neocretáceo

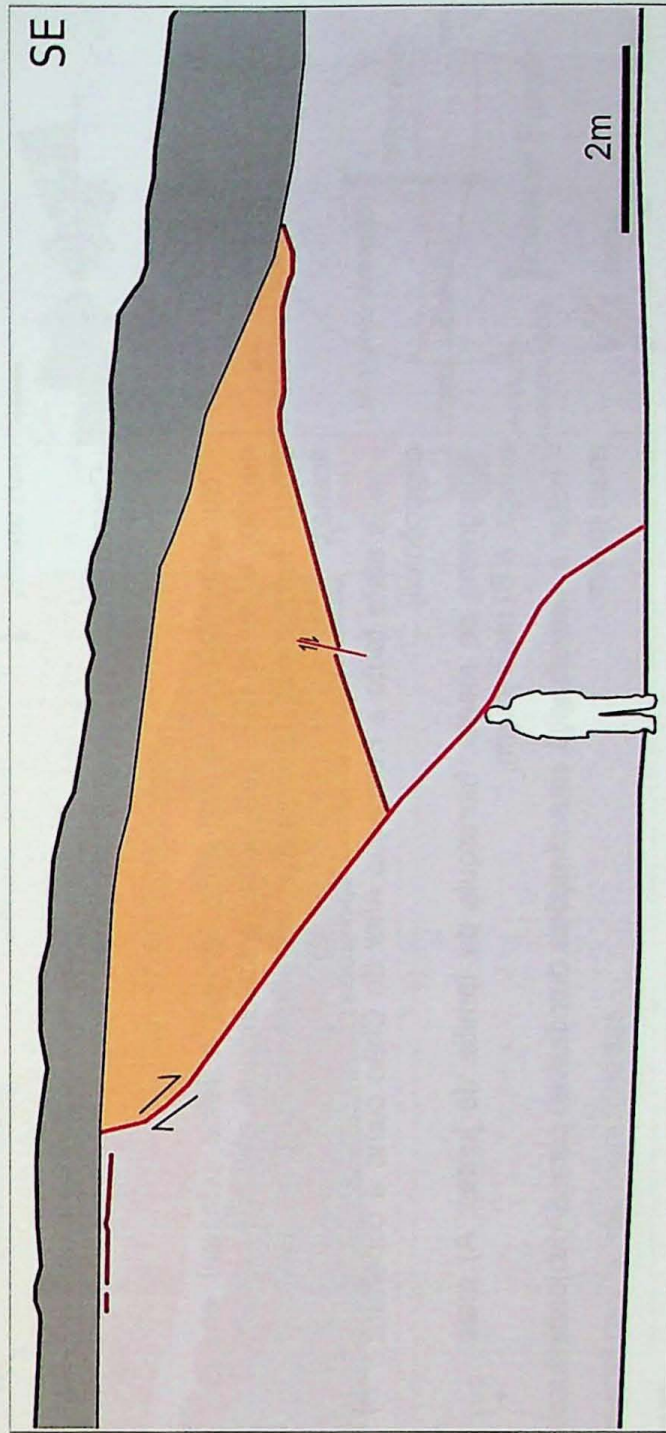
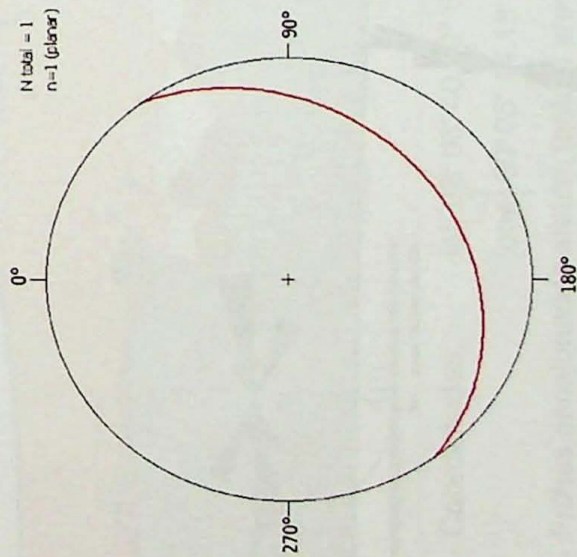
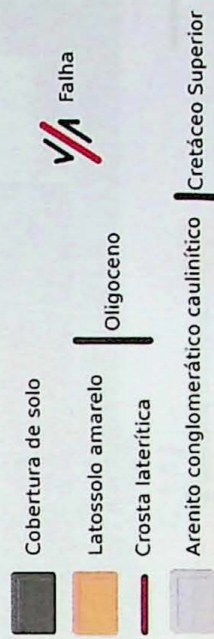


5.5 – AM-10 – falha NE-SW

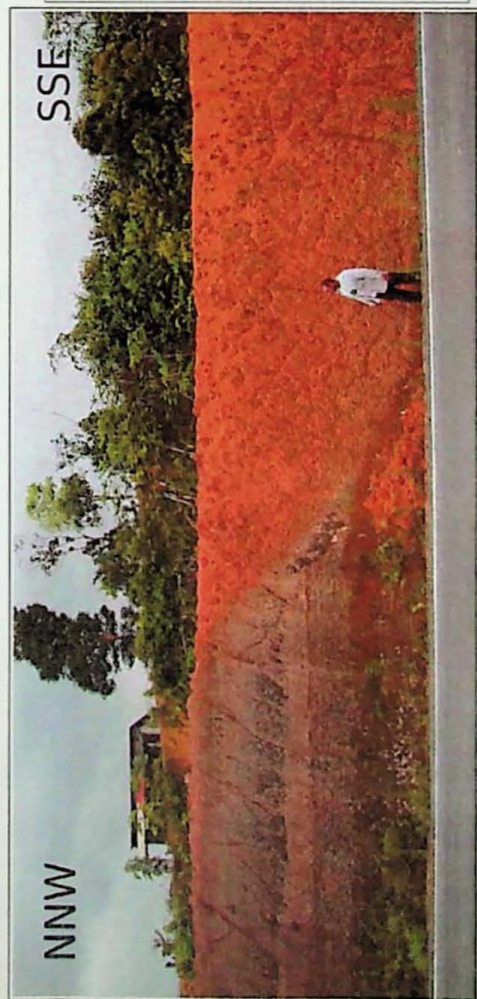


- Coordenadas: lat: 02° 52' 25.27" S
long: 59° 22' 00.36" W

- Falha com rejeito de aproximadamente 8m, afetando a unidade cretácea (Formação Alter do Chão) e o laterito paleógeno (latossolo amarelo).



5.6 – AM-11 – Falha listrica NE-SW



NNW

SSE

2m

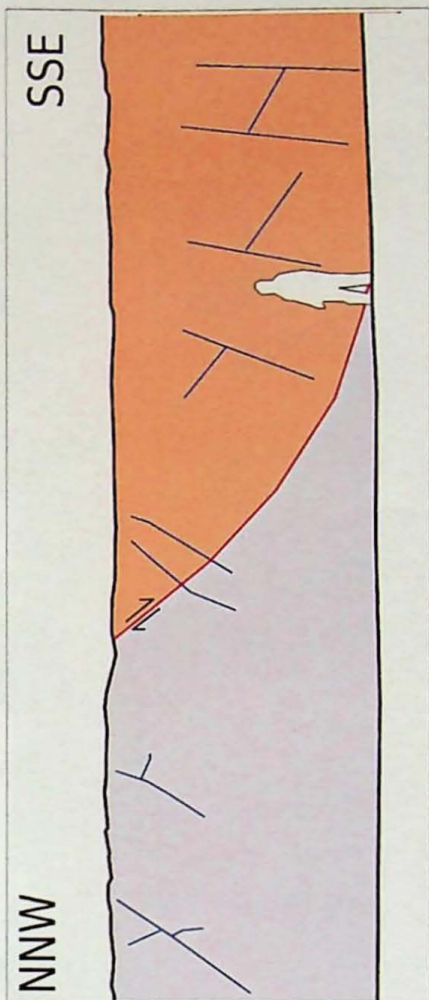
Latossolo amarelo
Crosta laterítica

Oligoceno

Arenito conglomerático
caulinítico

Cretáceo Superior

Falha Juntas



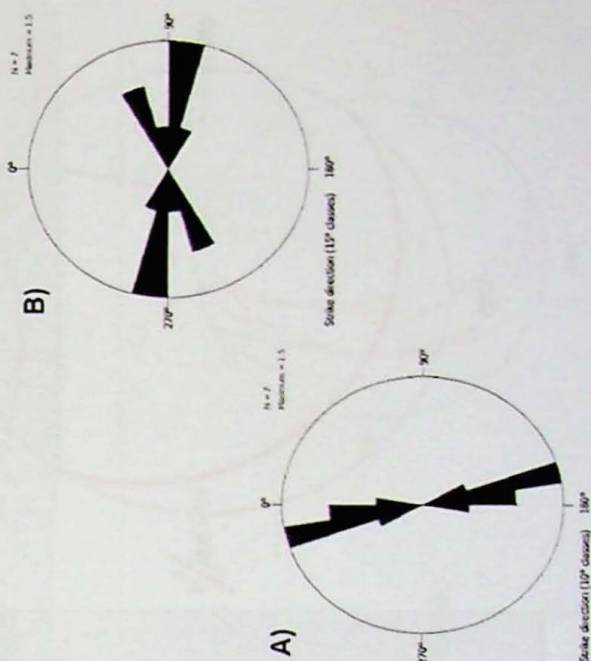
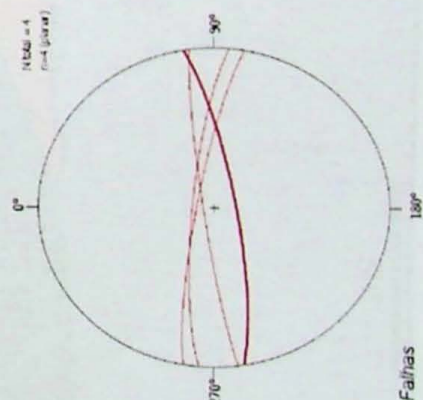
SSE

NNW

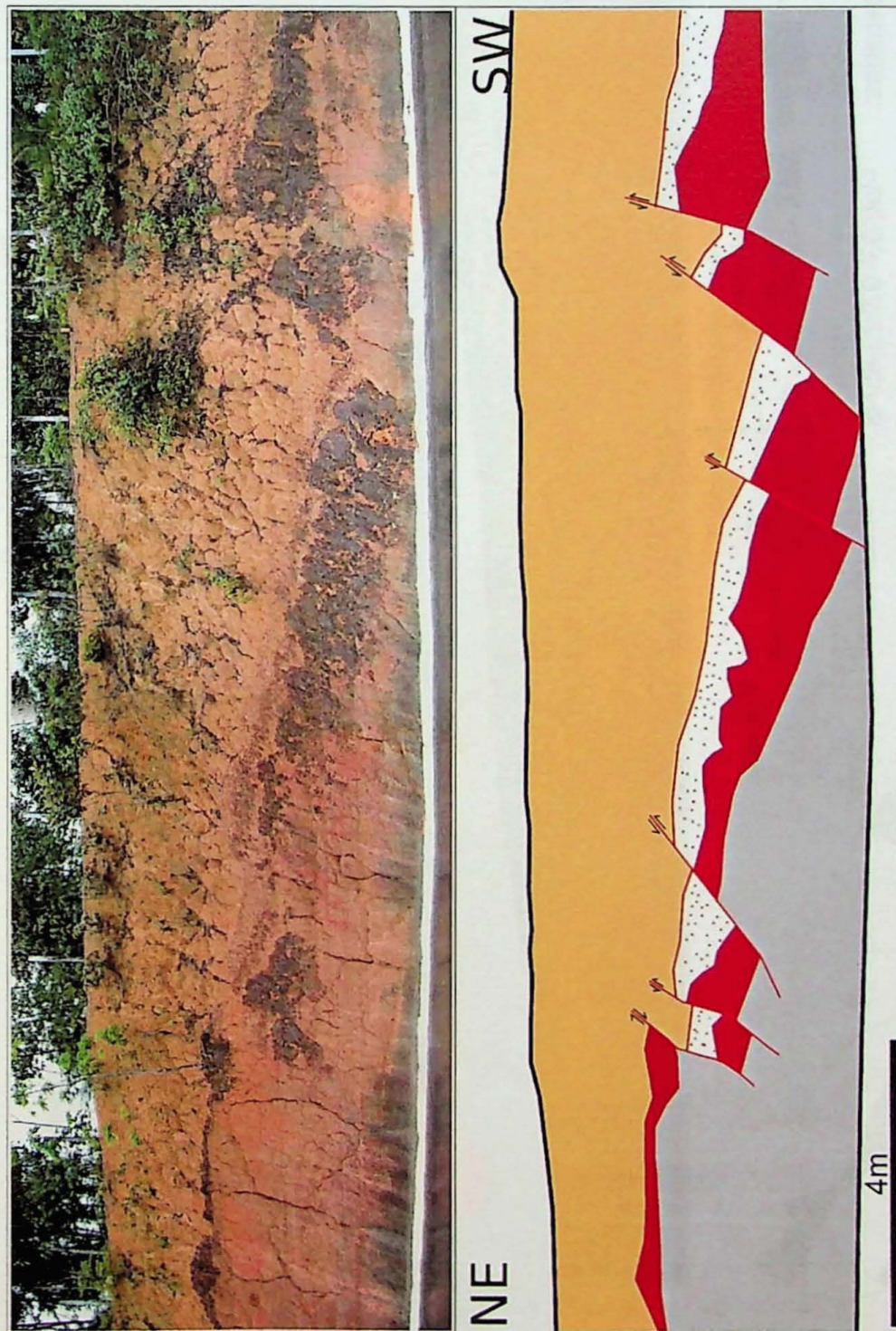
2m

- Coordenadas: lat: 02° 45' 47.91" S
long: 59° 29' 04.81" W

- No estereograma a esquerda tem-se a falha principal em negro, e as demais são falhas escalonadas, observadas em crosta ferruginosa centimétrica no afloramento (não ilustrado acima);
- falha afeta tanto a Formação Alter do Chão como a cobertura oligocênica;
- diagrama de roseta: hierarquia da família de juntas: A) mais antiga; e B) mais jovem;
- notar a semelhança nas direções das falhas com a da junta mais jovem.

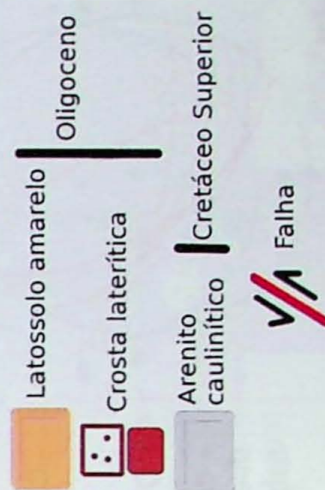
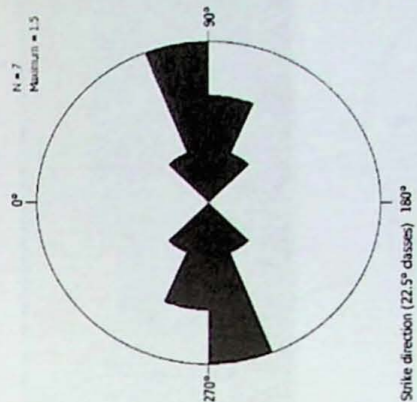
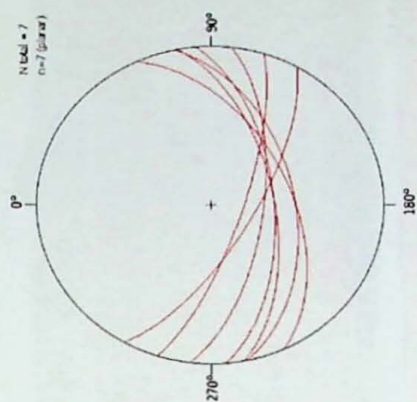


5.7 - AM-13 – Falhas escalonadas ENE-WSW, sudoeste de Manaus

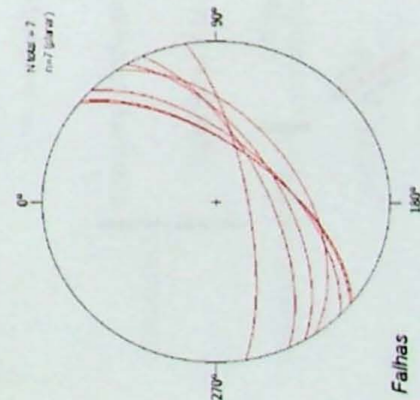
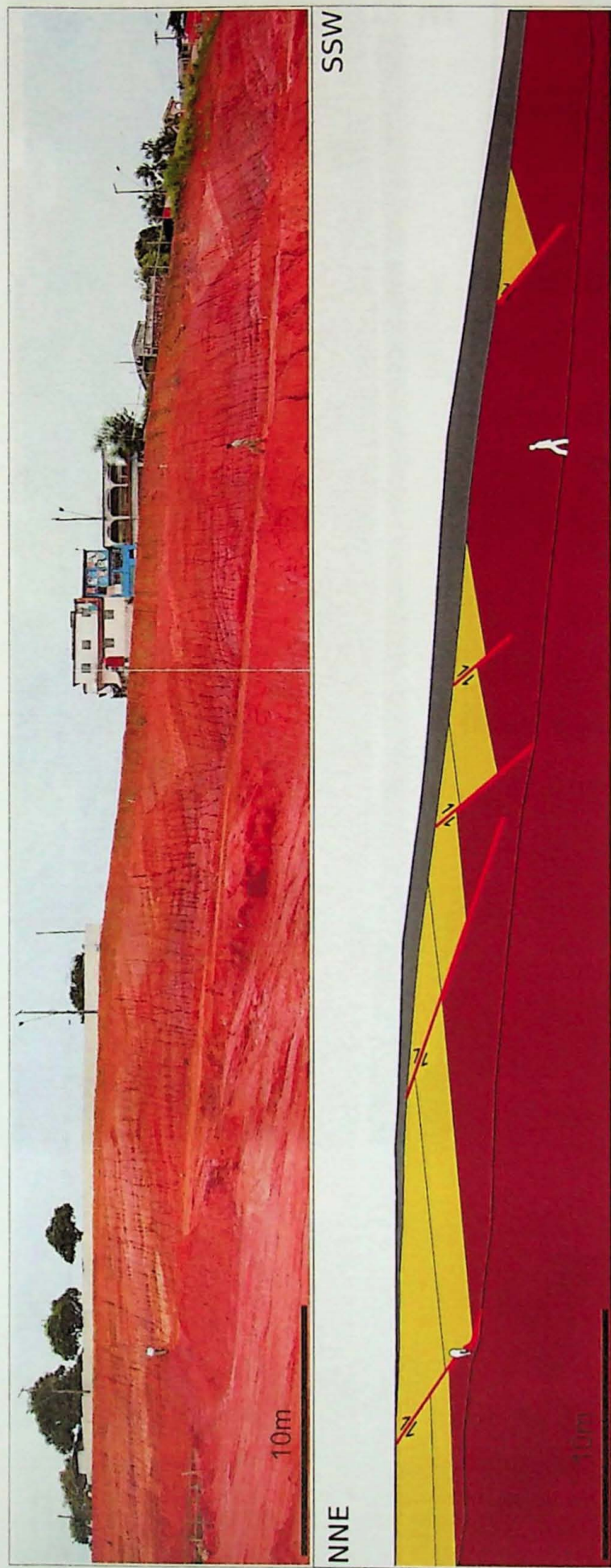


- Coordenadas: lat: 03° 03' 40.20" S
long: 60° 05' 14.18" W

- Falhas escalonadas afetam tanto o arenito caulinitico do Alter do Chão como os lateritos do Oligoceno;
- diagrama de roseta ilustra a direção preferencial das falhas mencionadas.

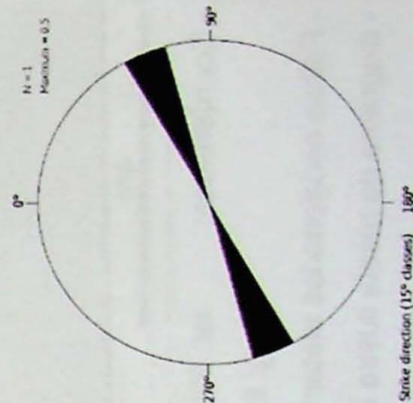


5.8 – AM-15 – falhas escalonadas a sul de Manaus (margem direita do Rio Negro). Formação Novo Remanso

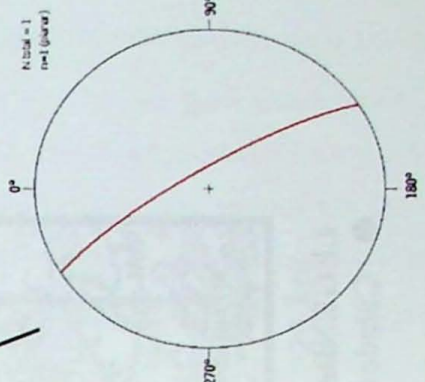
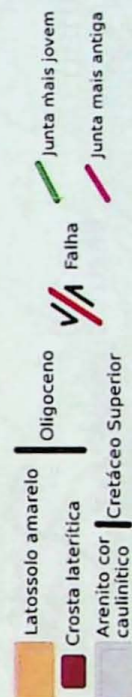
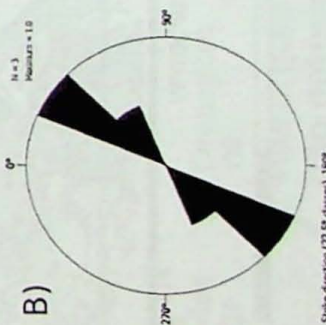
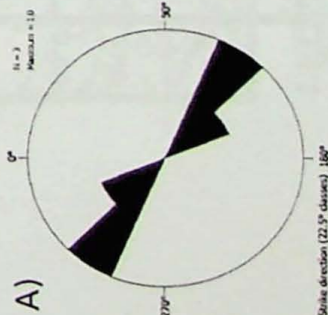
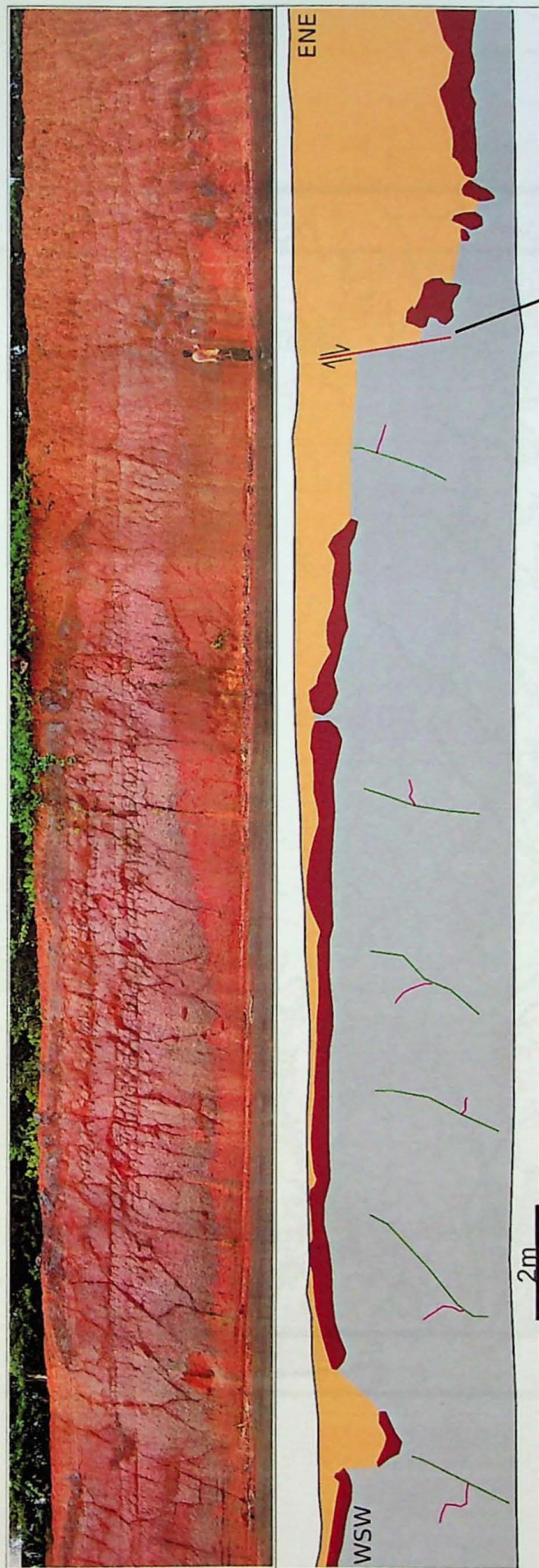


- Coordenadas: lat: 03° 07' 23.85" S
long: 59° 56' 27.72"W

- O único afloramento da Formação Novo Remanso na área estudada;
- diagrama de roseta: junta preenchida por arenito conglomerático. Notar que a direção desta é coerente com a direção das falhas escalonadas (diagrama esquerdo).

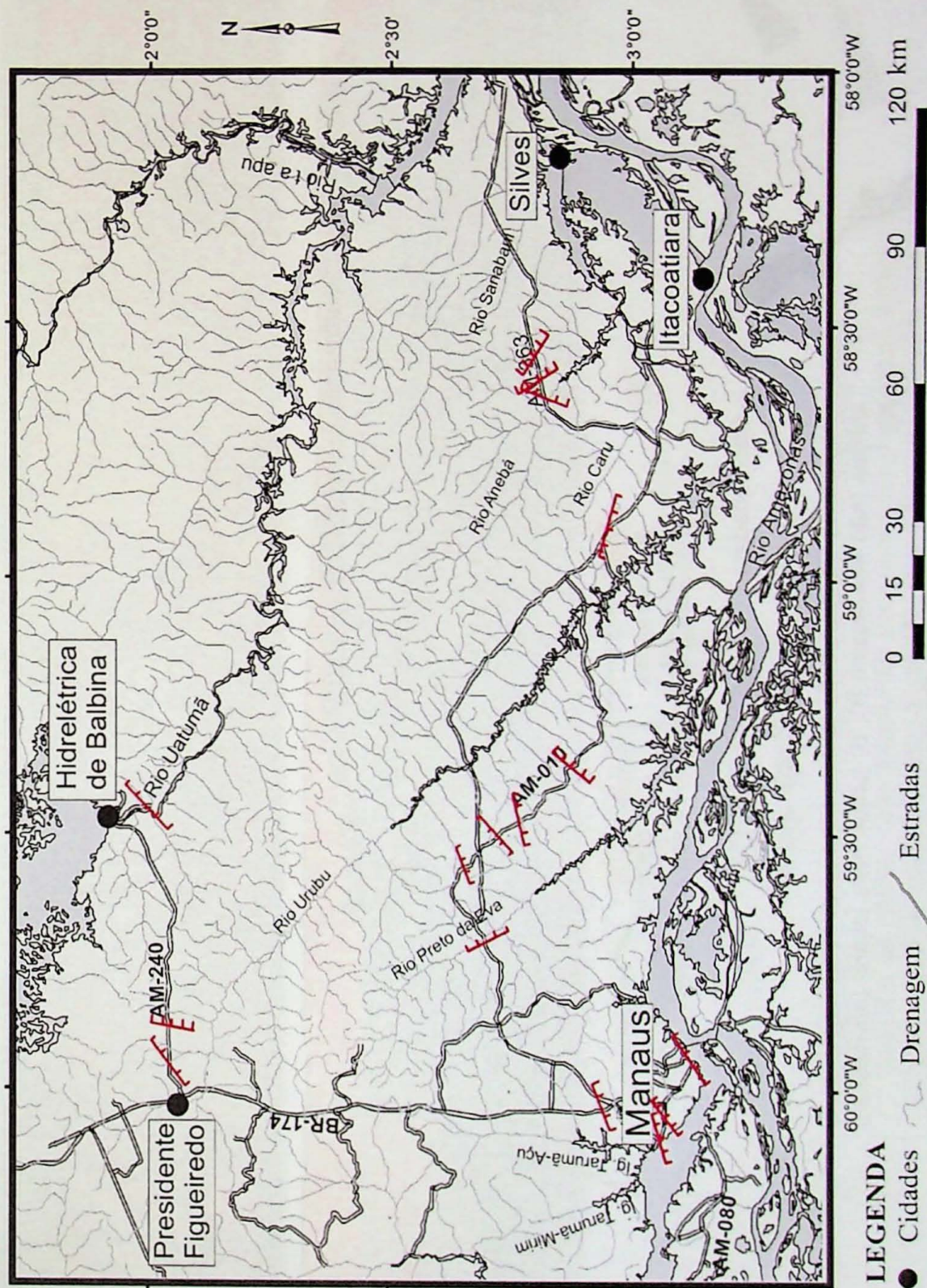


5.9 – AM 22 – Falha NW-SE

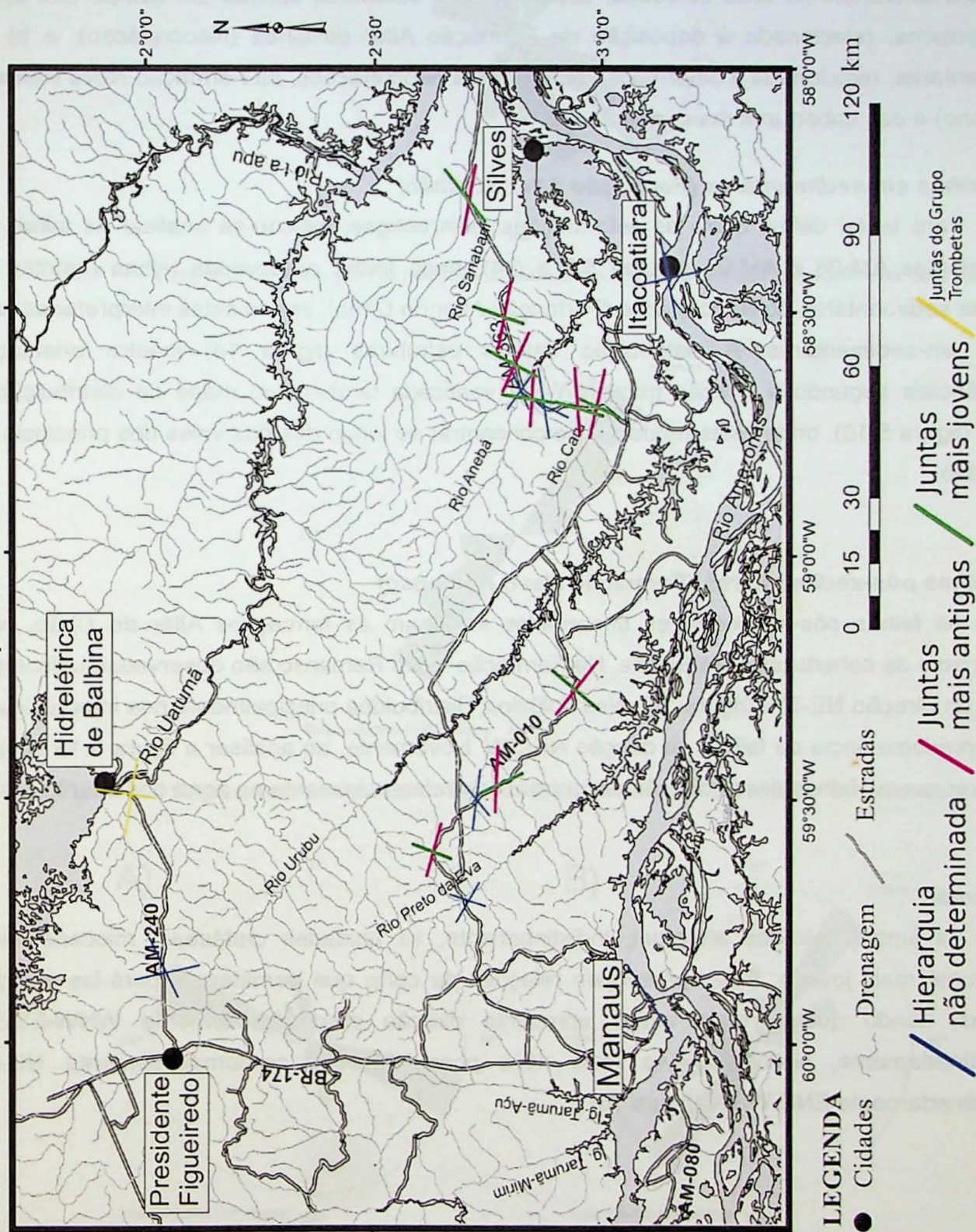


- Coordenadas: lat: 02°48' 52.963" S
long: 58°38'33.290" W
- Hierarquia da família de juntas determinada: A) juntas mais antigas (não atravessam B); B) juntas mais jovens (atravessam A);
- observar a relação da direção das juntas mais antigas (A) com a falha medida (diagrama direito)

5.10. - Mapa das falhas normais



5.11 – Mapa das Juntas



6. Interpretação e discussão dos resultados

A partir dos dados de campo, tornou-se evidente a forte relação das direções das falhas e juntas com a atual configuração da rede hidrográfica regional. Baseando-se nas duas principais unidades aflorantes na área estudada, separou-se as estruturas obtidas em campo em: a) sin-sedimentares, relacionada à deposição da Formação Alter do Chão (Neocretáceo); e b) pós-sedimentares, relacionada à deformação dos estratos neocretáceos, da Formação Novo Remanso (Mioceno) e das coberturas mais jovens.

6.1. Falhas sin-sedimentares (Formação Alter do Chão)

Para tentar definir quais as deformações mais antigas, buscou-se analisar as falhas dos afloramentos AM-06 e AM-09 (figuras 5.3 e 5.4), onde foram observadas falhas restritas aos pacotes sedimentares do Neocretáceo (Formação Alter do Chão), sendo estas interpretadas como falhas sin-sedimentares. A distribuição dessas estruturas (figura 14) mostra orientações preferenciais segundo a direção geral NW-SE, verificada também no mapa de distribuição de falhas (figura 5.10), onde estas tendem a se concentrar ao longo dos vales dos principais rios da região.

6.2 Falhas pós-sedimentares (Formação Novo Remanso)

As falhas pós-sedimentares observadas seccionam as formações Alter do Chão, Novo Remanso e as coberturas mais jovens. Na Formação Novo Remanso são observadas unicamente falhas de direção NE-SW (figura 15). Nos colúvios, distribuídos principalmente nos interflúvios, há nítida predominância de falhas de direção NE-SW. Novamente, ao analisar a figura 5.10 pode-se observar que as falhas dessa direção encontram-se preferencialmente na zona dos interflúvios.

6.3 Juntas

As juntas medidas afetaram, indistintamente, as unidades cretáceas, miocenas e as coberturas mais jovens. Elas apresentam relações de corte que permitem separá-las em duas famílias, sendo que a mais antiga apresenta direção predominantemente WNW-ESE, e subordinadamente, NNW-SSE. A mais nova possui direção predominantemente NE-SW, subordinadamente ENE-WSW (figura 16).

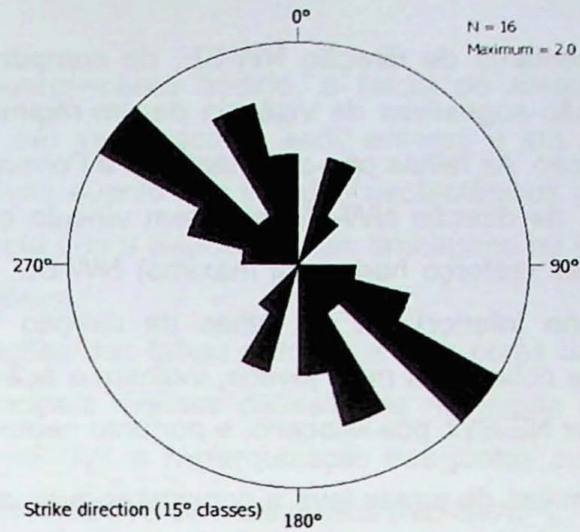


Figura 14 – Diagrama de roseta para as direções das falhas sin-sedimentares na Formação Alter do Chão.

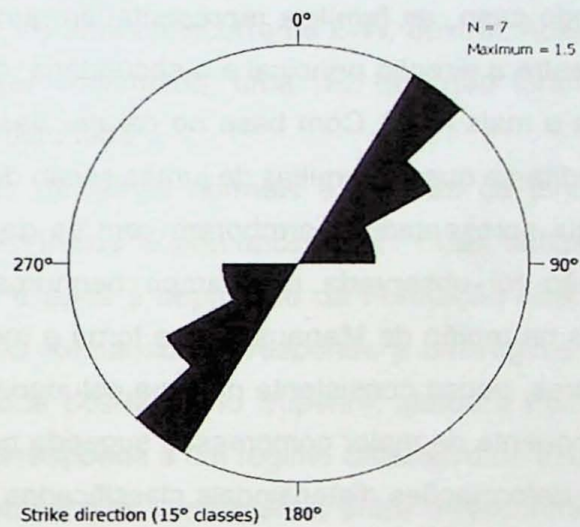


Figura 15 – Diagrama de roseta para as direções das falhas escalonadas da Formação Novo Remanso.

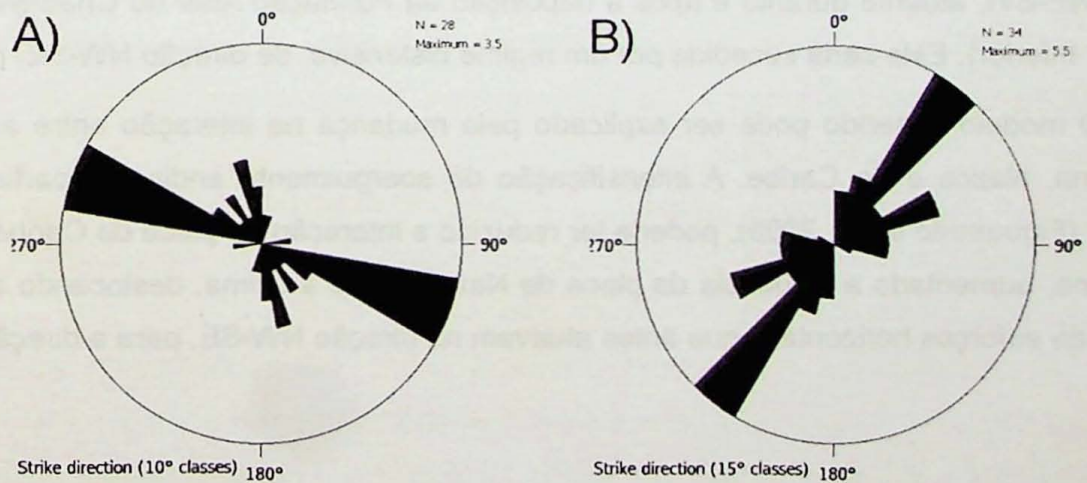


Figura 16 – Diagrama de roseta para as direções das famílias de juntas, sendo: A) juntas mais antigas; B) juntas mais jovens.

6.4 Modelo tectônico

As falhas sin-sedimentares de direção NW-SE, de componente normal, observadas na Formação Alter do Chão, são sugestivas da vigência de um regime distensivo de direção geral NE-SW durante o Neocretáceo. As falhas pós-sedimentares à Formação Alter do Chão e prévias à Formação Novo Remanso, de direção NW-SE, sugerem vínculo com um regime distensivo de direção NE-SW, com SHmáx (esforço horizontal máximo) NW-SE, ativo durante o Paleógeno a início do Neógeno (Mioceno Inferior). Já as falhas de direção NE-SW, pós-sedimentares à Formação Novo Remanso e coberturas mais jovens, indicam a ação de um regime distensivo de direção NW-SE, com SHmáx NE-SW, pós-Mioceno, e portanto neotectônico.

A orientação das famílias de juntas leva a considerar duas possibilidades: na primeira, as duas famílias representariam juntas de distensão, com direções de SHmáx paralelos as suas direções principais, WNW-ESE e NE-SW, para as famílias mais velha e mais jovem, respectivamente. No segundo caso, as famílias representariam juntas híbridas, com direção de SHmáx na bissetriz aguda entre a direção principal e a secundária, ou seja, NW-SE para a família mais antiga, e NE-SW para a mais nova. Com base no caráter das falhas observadas, todas de componentes normais, acredita-se que as famílias de juntas sejam de distensão.

Parte dos dados aqui apresentados corroboram com os da literatura, mas há um ponto crucial de discordância: não foi observada em campo nenhuma estrutura que sugerisse a presença de falhas inversas na região de Manaus, o que torna o modelo transcorrente dextral E-W, sugerido por vários autores, pouco consistente na área estudada. Isso é ainda mais crítico se for considerado que a componente de maior compressão sugerida pelo modelo, com direção NW-SE, atuaria justamente nas deformações distensionais classificadas aqui como as mais recentes, de direção NE-SW.

Pode-se propor, para a região estudada, a vigência inicial de um regime distensivo de direção NE-SW, atuante durante e após a deposição da Formação Alter do Chão (Neocretáceo a Mioceno Inferior). Este seria sucedido por um regime distensivo, de direção NW-SE, pós-Mioceno.

O modelo sugerido pode ser explicado pela mudança na interação entre as placas Sul-Americana, Nazca e do Caribe. A intensificação do soerguimento andino, a partir do Mioceno Superior (Figueiredo *et al.*, 2009), poderia ter reduzido a interação da placa do Caribe sobre a Sul-Americana, aumentando a influência da placa de Nazca sobre a última, deslocando a direção dos campos de esforços horizontais, que antes atuavam na direção NW-SE, para a direção NE-SW.

7. Conclusões

Desde o início do soerguimento andino, a Bacia do Amazonas passou por diversas reconfigurações, registradas em seus pacotes sedimentares e em sua rede hidrográfica. Esta última foi de extrema relevância quanto aos estudos neotectônicos na região de Manaus, aliás, não somente nesta região, visto que a disposição das drenagens na Amazônia sempre despertou a curiosidade de muito estudiosos.

Utilizando-se das direções das falhas normais e bem como da sua evolução cronológica, foram caracterizados os principais regimes de esforços na região de Manaus, cujas direções preferenciais são NW-SE e NE-SW. A hierarquização das juntas auxiliou na determinação nos lineamentos mais antigos (WNW-ESE) e os mais jovens (NE-SW).

Grande parte dos dados trabalhados neste projeto corroboraram com as informações propostas na literatura. No entanto, discordâncias foram encontradas quanto ao modelo sugerido pela maioria dos autores: um sistema transcorrente E-W, dextral. Apesar da coerência do modelo, em campo este não pôde ser confirmado, uma vez que não foram observadas estruturas de componente inversa na área estudada.

Com base nos dados de falhas normais e famílias de juntas observadas foi possível reconhecer dois regimes tectônicos superimpostos. O mais antigo, de idade neocretácea a Eomioceno foi ativo durante e após a deposição da Formação Alter do Chão, e previamente a deposição da Formação Novo Remanso. Corresponde a um regime distensivo de direção geral NE-SW. O mais novo, de idade pós-Mioceno Superior, afetou a Formação Novo Remanso e as coberturas mais recentes. Corresponde a um regime distensivo de direção NW-SE, neotectônico.

Dessa forma observou-se que, inicialmente, entre o Neocretáceo e o Mioceno Inferior, o eixo do esforço principal máximo (SHmáx) situava-se na direção geral NW-SE, e, posteriormente, após o Mioceno, os campos de esforços passaram a atuar ortogonalmente, com SHmáx na direção NE-SW.

8. Referências bibliográficas

- Angelier, J. 1994. *Fault slip analysis and paleostress reconstruction*. In: Hancock (ed.) *Continental deformation*. Pergamon, Oxford, p.53-100.
- Caputo, M.V.; Rodrigues, R.; Vasconcelos, D.N.N. 1972. Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Rio Amazonas. In: *Congresso Brasileiro de Geologia, 26. Anais... Belém: SBG, 3: 35-46*.
- Costa, A.R.A. 2002. *Tectônica cenozóica e movimentação salífera na Bacia do Amazonas e suas relações com a geodinâmica das placas da América do Sul, Caribe, Cocos e Nazca*. Tese de Mestrado – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 237p
- Costa, J.B.S.; Bemerguy, R.L.; Hasui, Y.; Borges, M.S.; P, F.J.C.R.; Bezerra, P.E.; Fernandes, J.M.G.; Costa, M.L. 1996. Neotectônica da região amazônica: aspectos estruturais, tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Geonomos*, Belo Horizonte, 4 (2): 23-44,
- Costa, R.C.R.; Natali Filho, T.; Oliveira, A.A.B. 1978. *Geomorfologia*. In: PROJETO RADAMBRASIL. Folha SA-20-Manaus. Rio de Janeiro: DNPM/Ministério de Minas e Energia, p.165-244.
- Cunha, M.L. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, 21 (2):146-160.
- Dunne, W.M. & Hancock, P.L. 1994. Paleostress analysis of small-scale brittle structures. In: Hancock, P.L., editor, *Continental Deformation*. Oxford, Pergamon, p.101-120.
- Figueiredo, J.; Hoorn, C.; van der Ven, P.; Soares, E. 2009. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: Evidence from the Foz do Amazonas Basin. *Geology*, 37 (7): 619 - 622.
- Franzinelli, E. & Igreja, H. 1990. Utilização de Sensoriamento Remoto na Investigação do Baixo Rio Negro e Grande Manaus. In: VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1990, Manaus. *Anais do VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Manaus : INPE, 3:641-648*.
- Horbe, A.M.C.; Nogueira, A.C.R.; Roza, J.M.G. 2004. Evidências de dois episódios de lateritização na região de Novo Remanso – AM. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 42. 2004, Araxá. *Anais... Araxá: SBG (CD-ROM)*.
- Sarges, R.R., 2007. *Relações entre as estruturas tectônicas, sedimentação coluvial e geomorfogênese da região de Manaus, Amazonas*. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 109p.
- Silva, A. J.P. ; Vasconcelos, A. M. ; BAHIA, R. B. C. 2003 . Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. In: Luiz A Bizzi; Carlos Schobbenhaus; Roberta M. Vidotti e João H. Gonçalves.. (Org.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, p. 55-86.
- Silva, C.L., 2005. *Análise tectônica cenozóica da região de Manaus e adjacências*. Tese de

Doutorado – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, 282p.

Soares, E.A.A., 2007. *Depósitos pleistocenos da região de confluência dos rios Negro e Solimões*.

Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências, São Paulo, 205p.

Sternberg, H.O., 1950. Vales tectônicos na planície amazônica? *Revista Brasileira de Geografia*, 12 (4): 3-26.

TF-09/29

Aluno: Vitor Yugo Taga

Orientador: Prof. Dr. Claudio Riccomini

Tectônica rúptil da Bacia do Amazonas – Estilos estruturais do Mesozóico-Cenozóico na região de Manaus, AM

Tabela de medida de fraturas

Afloramento	Coordenada UTM			Coordenada Geográfica		Litologia	Medidas das fraturas		Observações	
	Zona	X (m)	Y (m)	Latitude	Longitude		Falhas	Juntas		
AM-01	21	199079	9700521	2d42'00.060"S	59d42'24.390"W	Formação Alter do Chão	115	85	afloramento do outro lado da estrada	
							138	57		
							066	58		
							072	40		
							068	45		
							058	50		
							062	35		
							065	28		
							038	30		
							042	35		
058	18									
080	60									
066	42									
090	50									
AM-02	21	212955	9707080	2d38'51.975"S	59d34'55.028"W	Formação Alter do Chão	310	85	Juntas mais recentes	
							308	85		
							130	80		
							131	85		
							132	85		
							328	85		
							292	75		
							116	78		
							020	89		Juntas mais antigas
							207	86		
			206	85						

AM-03	21	213507	9706880	2d38'58.519"S	59d34'37.182"W	Formação Alter do Chão	165	55	222	89	
							315	70	024	88	
							170	85	137	82	
							266	57			
AM-04	21	220494	9699046	2d43'13.890"S	59d30'51.642"W	Formação Alter do Chão	158	70			
							292	75			
							286	75			
							130	76			
							275	70			
							165	80			
AM-05	21	339460	9651738	3d09'00.551"S	58d26'42.844"W	Formação Alter do Chão	280	72	007	87	
									078	85	
									176	86	
									082	87	
									192	76	
									118	84	
									005	77	
									164	85	
									355	87	
									270	86	
									007	83	
									310	84	
							354	82			
							356	84			
							171	83			
							080	88			
							199	40			
							195	47			
							210	40			
							Falhas sin-sedimentares				

AM-06	21	288293	9673204	2d57'19.127"S	58d54'18.756"W	Formação Alter do Chão	210	32	Falhas sin- sedimentares
							294	68	
							297	52	
							303	60	
AM-08	21	245117	9674470	2d56'35.272"S	59d17'36.417"W	Formação Alter do Chão			Falhas sin- sedimentares
							310	86	
							319	89	
							209	85	
AM-09	21	237701	9681348	2d52'50.946"S	59d21'35.991"W	Formação Alter do Chão	066	85	Falhas sin- sedimentares
							194	52	
							215	75	
							212	65	
AM-10	21	236892	9682096	2d52'26.550"S	59d22'02.125"W	Formação Alter do Chão	268	63	Falhas sin- sedimentares
							235	40	
							262	68	
							244	40	
AM-11	21	236754	9694279	2d45'50.087"S	59d22'05.789"W	Formação Alter do Chão	246	53	Falhas sin- sedimentares
							244	30	
							182	30	
							143	28	
							170	80	Falha principal
							005	80	
							010	82	
							352	85	
							170	80	
							185	89	
							024	85	
							192	87	
							162	80	
							182	80	
							165	82	
							159	86	
							273	88	Juntas mais recentes
							262	89	
							268	83	
							242	88	
							258	85	Juntas mais antigas
							079	85	
							078	89	

AM-13	20	823794	9661206	3d03'41.479"S	60d05'16.022"W	Formação Alter do Chão	155	52							
							198	75							
							210	70							
							187	65							
							175	60							
							168	50							
							169	60							
AM-14	20	826083	9662348	3d03'04.131"S	60d04'02.060"W	Formação Alter do Chão	063	50	Afloramento muito alterado						
							325	25							
							128	62	340	85	Preenchimento por arenito conglomerático				
AM-15	20	840046	9654284	3d07'25.130"S	59d56'29.557"W	Formação Novo Remanso	134	60							
							145	50							
							041	60							
							170	75							
							215	55							
													302	85	Juntas mais recentes
													292	83	
		168	89												
AM-16	21	311684	9667142	3d00'37.710"S	58d41'41.680"W	Formação Alter do Chão	010	82	Junta antiga						
							158	89	Juntas mais recentes						
							350	89							
AM-17	21	311075	9673426	2d57'13.303"S	58d42'01.086"W	Formação Alter do Chão	300	88							
							102	89	Junta antiga						
							358	82							
AM-18	21	311200	9681140	2d53'01.979"S	58d41'56.661"W	Formação Alter do Chão	027	86							
							179	86							
							130	88							
							102	87							
							105	89							
													281	85	

AM-19	21	311714	9682040	2d52'32.704"S	58d41'39.975"W	Formação Alter do Chão		282	85	Juntas mais recentes
								283	86	
								178	75	
								193	72	
AM-20	21	314124	9687590	2d49'32.136"S	58d40'21.682"W	Formação Alter do Chão		194	72	Juntas mais antigas
								315	82	
								235	88	
								096	89	
								330	85	
								045	88	
AM-21	21	316851	9688634	2d48'58.274"S	58d38'53.339"W	Formação Alter do Chão		132	88	
								112	65	
								058	80	
AM-22	21	317470	9688798	2d48'52.963"S	58d38'33.290"W	Formação Novo Remanso ?		322	85	Juntas mais recentes
								298	85	
								308	70	
								234	66	
								023	88	
AM-23	21	325025	9690734	2d47'50.272"S	58d34'28.587"W	Formação Alter do Chão		038	82	Juntas mais antigas
								336	75	
								308	72	
								042	70	
AM-24	21	331203	9692260	2d47'00.853"S	58d31'08.487"W	Formação Alter do Chão		056	60	Juntas mais recentes
								012	85	
								308	86	
								312	83	
								193	89	
AM-25	21	356490	9699950	2d42'51.437"S	58d17'29.412"W	Formação Alter do Chão		028	70	Juntas mais antigas
								153	87	
								337	82	
								140	89	
								195	85	
AM-27	21	173047	9772914	2d03'07.720"S	59d56'21.522"W	Formação Alter do Chão		192	80	Juntas mais recentes
								216	85	
								152	80	

DOAÇÃO

TGC-USP

Data: *05.02.10*

