

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E LETRAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**PADRÃO DE FRATURAMENTO NA MARGEM DO RIO NEGRO NA ORLA DAS
CIDADES DE MANAUS E IRANDUBA-AM**

ANDRÉ SILVA RODRIGUES TOMAZ

Manaus
2016

ANDRÉ SILVA RODRIGUES TOMAZ

**PADRÃO DE FRATURAMENTO NA MARGEM DO RIO NEGRO NA ORLA DAS
CIDADES DE MANAUS E IRANDUBA-AM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas, nível de Mestrado, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia. Área de concentração Domínios da Natureza na Amazônia

Orientador: Profº Dr. Clauzionor Lima da Silva

Manaus
2016

ANDRÉ SILVA RODRIGUES TOMAZ

**PADRÃO DE FRATURAMENTO NA MARGEM DO RIO NEGRO NA ORLA DAS
CIDADES DE MANAUS E IRANDUBA-AM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia pela Banca Examinadora composta pelos membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Adorea Rebello da Cunha Albuquerque – Presidente
PPGEOG/UFAM

Prof. Dr. Márcio Luiz da Silva – Membro 01
INPA/ UFAM

Prof. Dr. Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira – Membro 02
PPGEOG/UFAM

Aprovada em: 18 de fevereiro de 2016.

Local de defesa: Sala Multimídia do prédio do PPGEOG-UFAM.

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

T655p Tomaz, André Silva Rodrigues
Padrão de fraturamento na margem do rio Negro na orla das
cidades de Manaus e Iranduba-AM / André Silva Rodrigues Tomaz.
2016
47 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Clauzior Lima da Silva
Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do
Amazonas.

1. Padrão de fraturamento. 2. Falhas e fraturas. 3. Margem do rio
Negro. 4. Manaus e Iranduba. I. Silva, Clauzior Lima da II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

DEDICATÓRIA

A Deus, meu Senhor, meu Pai, meu bom pastor, razão da minha existência, digno do meu louvor de toda honra e toda glória. Sem Ele não seria possível ter concluído este trabalho. Obrigado, Senhor, por me amar tanto e me presentear com incontáveis bênçãos.

À minha amada esposa, professora, Tatiana Rodrigues do departamento do DLLE/UFAM, que tanto me ajudou na organização deste trabalho. Por todo companheirismo, amor, paciência e incentivo nas horas em que me encontrava desanimado em meio às dificuldades. Vivemos alguns momentos distantes geograficamente durante o período deste mestrado por conta de nossos estudos de Pós Graduação, mas nosso amor só aumentou. Obrigado, por ter usado seu talento como professora para abrilhantar este trabalho com sugestões incríveis. Te amo e sou muito feliz em ser seu marido.

Ao meu filho Samuel Rodrigues que é um presente de Deus. Que com seu sorriso me acalma e me faz ver a vida com muito mais leveza. Te amo muito meu filho e quero sempre o melhor pra sua vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Deus todo poderoso, meu Pai, Senhor da minha vida e criador do universo, que me deu forças e me guia em cada momento, me ajudando a cumprir cada meta e objetivo que possuo. A Ele a Glória e o louvor para sempre.

À minha esposa amada, companheira, amiga e ajudadora, Tati, que me ajudou sobremaneira durante a realização desta pesquisa tornando o meu texto mais coeso e claro. Obrigado pelo apoio e incentivo nos momentos de dificuldades que surgiram durante a realização deste trabalho. A você o meu amor e gratidão.

Ao meu amado filho Samuel, que, mesmo sem saber, foi um incentivo fundamental para a realização desse mestrado e tornou essa caminhada mais leve e cheia de alegria.

À minha querida mãe, Eliana Tomaz, por me incentivar sempre a não parar na graduação e acreditar que eu poderia ir mais longe.

À minha querida avó, Raimunda Rodrigues, pelas orações e palavras de incentivo sempre acreditando que eu era capaz de vencer os obstáculos com a presença de Deus, esforço e dedicação.

Aos meus sogros Josuilton e Miriã, por me apoiarem sempre nos estudos e ficarem com o Samuel, algumas vezes, para que eu me concentrasse mais na pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Clauzionor Lima da Silva.

Ao Prof. Dr. Antônio Fábio Guimarães Vieira e à Profa. Dr. Adorea Rebello da Cunha Albuquerque pelas contribuições ao trabalho no exame de qualificação.

À Profa. Dr. Amélia Regina Batista Nogueira (coordenadora do PPGG de 2013-2015), por sua sensibilidade e acessibilidade.

Ao Prof. Dr. Jose Alberto Lima de Carvalho, pelas conversas enriquecedoras sobre a geomorfologia fluvial amazônica.

À secretária do PPGG, Sra. Graça Luzeiro, pela simpatia e acessibilidade de sempre.

Ao Prof. Dr. José Aldemir de Oliveira, atual coordenador do PPGG, pelas valiosas orientações na reta final dessa dissertação.

Aos colegas de mestrado Anne, Vinicius e Sandra pelos momentos de descontração e apoio.

Aos colegas do curso de Geologia da UFAM, “Metal” e “Tin-tin” pela grande contribuição e ajuda nos trabalhos de campo.

À Universidade Federal do Amazonas, universidade singular que escolhi para cursar minha graduação e Pós Graduação em nível de mestrado.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, pela bolsa de estudos a mim concedida para a realização desta pesquisa.

E, por fim, à CPRM - Superintendência de Manaus, na pessoa do funcionário Gean pela disposição e pelos Cd's e livros fornecidos que foram muito úteis e contribuíram bastante para essa pesquisa.

EPÍGRAFE

“Porque o Senhor teu Deus te põe numa boa terra, terra de ribeiros de águas, de fontes, e de mananciais, que saem dos vales e das montanhas”.

Deuteronômio 8:7

RESUMO

A proposta desta pesquisa foi estudar o padrão de fraturamento na margem do rio Negro nas orlas da Ponta Negra e da região do Tarumã, na cidade de Manaus-AM e na região do município de Iranduba-AM. A etapa inicial do estudo compreendeu a revisão sobre a neotectônica da região e o levantamento de dados geológicos e geomorfológicos existentes, a fim de atualizar o conhecimento e averiguar as necessidades de áreas específicas descritas em campo. A segunda etapa da pesquisa envolveu a análise em sensores remotos. A investigação de campo compreendeu o levantamento geológico e geomorfológico, o mapeamento das camadas e sua faciologia, a identificação e registros das falhas e fraturas presentes nas camadas deformadas, e ocorreu em duas fases, a primeira em janeiro de 2014, e a segunda em março de 2015, envolvendo as margens esquerda e direita do rio. Os métodos desenvolvidos nesta pesquisa envolveram: análise em imagens de satélite Landsat 5 TM 2005, com o auxílio do software Arcgis 10.2 Arc Map, uso dos modelos SRTM (*Shutter Radar Topographic Mission*), análise de imagens fotográficas coletas em campo e elaboração de estereogramas com dados estruturais das fraturas. Os dados estruturais coletados em campo em duas ocasiões distintas, com a ajuda da bússola geológica, foram analisados conforme os métodos convencionais de análise estrutural, segundo as técnicas de Arthaud (1969) e Angelier e Mechler (1977), para tratamento das populações de falhas e fraturas, com a finalidade de determinação dos principais tensores de deformação. No tocante ao padrão de fraturamento da área do Arenito Manaus, na margem esquerda do rio Negro, em geral, as fraturas ou juntas apresentam-se de forma sistemática, mormente abertas, são contínuas e seguem paralelamente a margem do rio Negro. Em um comparativo com dados coletados da margem direita do rio, na região do Iranduba, concluiu-se que as estruturas de fraturas nas duas margens são consideravelmente semelhantes, com estruturas retilíneas. Considerou-se uma forte influência da falha que controla o rio Negro sobre o padrão de fraturamento da margem do rio Negro na orla da cidade de Manaus-AM.

Palavras Chave: Padrão de fraturamento. Falhas e fraturas. Margem do rio Negro.

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the fracture pattern on the banks of the Black River on the edge of Ponta Negra Beach and the region of Tarumã, in the city of Manaus-AM and the region of Iranduba-AM. The initial stage of the study involved a review of the neotectonics of the region and the survey of existing geological and geomorphological data in order to update the knowledge and determine the specific areas of needs, described in the field. The second stage of the research involved the analysis in remote sensing of high spatial resolution. The field research included the geological and geomorphological survey, mapping the layers and their facies analysis, identification and record of faults and fractures present in the deformed layers, and occurred in two phases, the first in January 2014 and the second one in March 2015, involving the right and the left bank of the river. The methods developed in this research involved: satellite imagery analysis Landsat 5 TM 2005, with the help of software Arcgis 10.2 Arc Map, the use of SRTM models (*Shutter Radar Topographic Mission*), analysis of photographic images collected in the field and preparation of stereograms with structural data of fractures. The structural data collected in the field on two separate occasions, with the help of geological compass, were analyzed according to conventional methods of structural analysis, according to techniques Arthaud (1969) and Angelier and Mechler (1977), for the treatment of fault populations and fractures, for the purpose of determining the principal tensor deformation. Regarding the pattern of fracturing of the area of Arenito Manaus, overall, the fractures or joints are presented systematically, especially open, they are continuous and run parallel to the shore of the Negro River. In a comparison with data collected on the right bank of the river, in the Iranduba region, it was found that that on both sides fracture structures are pretty similar, with rectilinear structures. There might be a strong influence of the fault that controls the Black River on the fracture pattern of the Black River on the edge of the city of Manaus-AM.

Keywords: Fracturing pattern. Faults and fractures. Black River.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Destaque da Área de estudo localizada às margens do Rio Negro que banha parte dos municípios de Manaus e Iranduba no Estado do Amazonas. Landsat TM 2005, bandas 1, 2 e 3.....	15
Figura 02: Mapa geológico da área de estudo que abrange parte das margens dos municípios de Manaus e Iranduba e seu entorno.....	16
Figura 03: Classificação dos tipos de fraturas conforme Fossen (2012, p.168).....	21
Figura 04: Classificação de tipos de fraturas conforme experimentos de mecânica de rocha (FOSSEN, 2012, p.171).....	22
Figura 05: GPS e caderneta utilizados no trabalho de campo na margem do rio Negro em janeiro de 2014 e março de 2015.....	27
Figura 06: Obtenção dos dados de direção e mergulho das fraturas em campo utilizando a bússola geológica, na margem do rio Negro.....	28
Figura 07: Plotagem dos pontos de coleta no software Arc Gis Arc Map 10.2 sobre a imagem Landsat 2005 da área de estudo.....	29
Figura 08: Mapa de pontos de coleta de dados, às margens direita e esquerda do rio Negro nos municípios de Manaus e Iranduba - AM.....	30
Figura 09: Registro de camadas arenosas, argilosas avermelhadas e ferruginizadas no Arenito Manaus. Ano 2015.....	31
Figura 10: Padrão de fraturamento em arenito Manaus na orla do rio Negro. Em (A) mostra padrão sistemático de fraturas abertas orientada paralelamente à margem. Em (B), outra família de fraturas foi mapeada cotando nível ferruginizado do paleossolo da unidade geológica. (C) a característica das fraturas mostra que estas são contínuas. Em (D) com diferentes espaçamentos. Em (E), três famílias de fraturas foram notadas. Em (F), observou-se que algumas fraturas estão associadas a estruturas maiores.....	32
Figura 11: Aspectos geométricos das fraturas na orla do rio Negro, em arenito Manaus. Em (A) fraturas abertas e revezadas; (B) curvilínea; (C) em famílias retilíneas; (D) preenchidas com óxidos de ferro ou manganês; (E) e (F) preenchidas por sílica ou por minerais secundários.....	33

Figura 12: Estereogramas das fraturas obtidas na praia da Ponta Negra (Manaus-AM), mostrando as curvas ciclográficas para 110 medidas de fraturas obtidas no arenito (diagrama a esquerda) e o diagrama de isovalores à direita.....	35
Figura 13: Diagrama de roseta das orientações das fraturas obtidas no arenito na Praia da Ponta Negra (Manaus-AM). O intervalo é de 10 em 10 graus.....	36
Figura 14: Aspectos geométricos das fraturas na margem direita do rio Negro, em arenito Manaus. Em (A) Fraturas retilíneas paralelas à margem direita do Rio Negro, (B) Fratura transcorrente sinistral de família retilínea, (C) Fraturas abertas e revezadas e (D) Fraturas retilíneas.....	37
Figura 15 – Estereograma das fraturas obtidas na margem direita do rio Negro.....	38
Figura 16- Diagrama de roseta com as orientações das fraturas obtidas na margem direita do rio Negro, na região do Iranduba.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 Caracterização da Área de Estudo.....	15
2.1 Localização.....	15
2.2 Geologia.....	16
2.3 Geomorfologia.....	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
3.1 Conceitos para Análise de raturamento.....	19
3.2 Fratura e Deformação Rúptil.....	19
3.3 Terminação de Fraturas.....	23
3.4 Análise Estrutural de Fraturas.....	23
3.5 Formação de Falhas.....	24
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
4.1 Geoprocessamento.....	26
4.2 Campo.....	26
4.3 Materiais.....	26
4.4 Pós-campo.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1 Características Geológicas/ Litológicas da Área Estudada.....	30
5.2 Análise do Padrão de Fraturamento.....	31
5.2.1 Análise e Características do Padrão de Fraturas: Margem Esquerda do Rio Negro.....	31
5.2.2 Análise Estrutural das Fraturas: Margem Esquerda do Rio Negro.....	34
5.2.3 Análise e Características do Padrão de Fraturas: Margem Direita do Rio Negro.....	36
5.2.4 Análise Estrutural das Fraturas: Margem Direita do Rio Negro.....	38
5.3 Descrição das Falhas na Área de Estudo.....	39
6 CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS	42
ANEXO.....	45

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Manaus originou-se na segunda metade do século XVII, com a construção do Forte de São José da Barra, na margem esquerda do rio Negro. Foi elevada à vila em 1832 com o nome de Vila da Barra, em 24 de outubro de 1848, foi elevada à categoria de cidade, com o nome de cidade da Barra do Rio Negro. Somente em 4 de Setembro de 1856, recebeu o nome de Manaus, em homenagem aos Manaós, o mais importante grupo étnico indígena habitante da Região (SEPLAN, 2007).

Iranduba foi instituído município em 1963, sob a Lei nº 7 do mesmo ano, tendo como governador em exercício o Sr. Anfremon D' Amazonas Monteiro. Em 1964, o Governador Arthur César Ferreira Reis com a Lei nº 41, de 1964 extingue o município. Em 1981, foi desmembrado dos municípios de Manacapuru e Manaus pela Emenda Constitucional nº 12 passando a constituir município autônomo (BELTRÃO, 2002; SEPLAN, 2007).

As nascentes do Solimões estão localizadas nos Andes e o Rio Negro, afluente da margem esquerda do Solimões, provém do Escudo das Guianas. Os dois possuem vastas bacias com características diferentes a respeito do relevo, climas e tipos de rochas que definem a qualidade de suas águas e as cargas sólidas. Ambos percorrem centenas de quilômetros antes de se encontrarem (FRANZINELLI, 2011).

O padrão geomorfológico do rio Negro é controlado por uma zona de falhas normais ou conjunto de falhas que controla o leito desse rio. Nessa linha de abordagem, os estudos de Igreja e Franzinelli (1990), Silva (2005), Silva *et al.* (2007) e Silva e Rossetti (2009) são extremamente relevantes. A importância desse fato diz respeito não somente ao condicionamento do rio à estrutura geológica em épocas geológicas recentes, mas também aos processos que levaram a migração fluvial do rio (migrações e capturas de drenagens) e as razões da erosão nessas margens. Segundo Silva *et al.* (2007), o curso anterior do rio Negro está situado na região do rio Ariáú, cerca de 40 km, a leste do curso atual, ou seja, uma nova dinâmica fluvial se desenvolveu com formação e evolução da paisagem em tempos modernos.

A combinação do processo de sedimentação e da atuação de falhas tectônicas leste-oeste, fez com que esse rio migrasse o seu curso fluvial para a atual posição

(Silva, 2007). Os registros de falhas geológicas na região de Manaus (AM) são bastante significativos, os quais são reportados em vários estudos por Silva *et al.* (1994), Silva *et al.* (1995), Silva *et al.* (2004), Silva (2005), Silva *et al.* (2007), Val e Silva (2011), Campos *et al.* (2011), Ramos *et al.* (2011) e Ribeiro *et al.* (2011).

Diversos trabalhos são realizados para a identificação de falhas no território brasileiro. Destacamos aqui uma pesquisa realizada em uma seção geológica da zona leste de Manaus, em que Ribeiro *et al.* (2009) registrou falhas normais, inversas e transcorrentes. A realização desse trabalho ocorreu por meio da cartografia da zona de falha nessa área, a partir do uso de imagens GeoEye (agosto de 2010) para identificação do lineamento e do mapeamento de feições estruturais.

Em outro trabalho, Silva e Rosetti (2014) afirmam que a atuação das falhas geológicas causa significativas mudanças na paisagem amazônica, influenciando, inclusive, a dinâmica fluvial dos rios amazônicos.

Esses estudos têm demonstrado a existência de falhas que deformam a formação geológica local e exercem controle no relevo e nos rios da região. Nesse contexto, o propósito dessa dissertação está voltado para a descrição do padrão de fraturamento na margem do rio Negro nas orlas das cidades de Manaus-AM e Iranduba-AM.

Portanto, os aspectos geológicos, sobretudo litológicos (tipo de rochas e suas particularidades) e estruturais (tipos de falhas e fraturas suas orientações ou atitudes) e geomorfológicos (forma do relevo e os processos erosivos) são investigados para compor a descrição do padrão de fraturamento na área de estudo.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

A área de estudo está localizada em parte dos municípios de Manaus e Iranduba, limitada nas coordenadas 3°02' 79,29" Sul - 60°21' 84,50" Oeste 3°02' 79,29" Sul - 60°05' 48,91" Oeste 3°12' 37,77" Sul - 60°21' 84,50" Oeste 3°12' 37,77" Sul - 60°05' 48,91" Oeste, com extensão aproximada de 189, 403473 km² compreendendo parte das margens esquerda e direita do rio Negro (Figura 01).

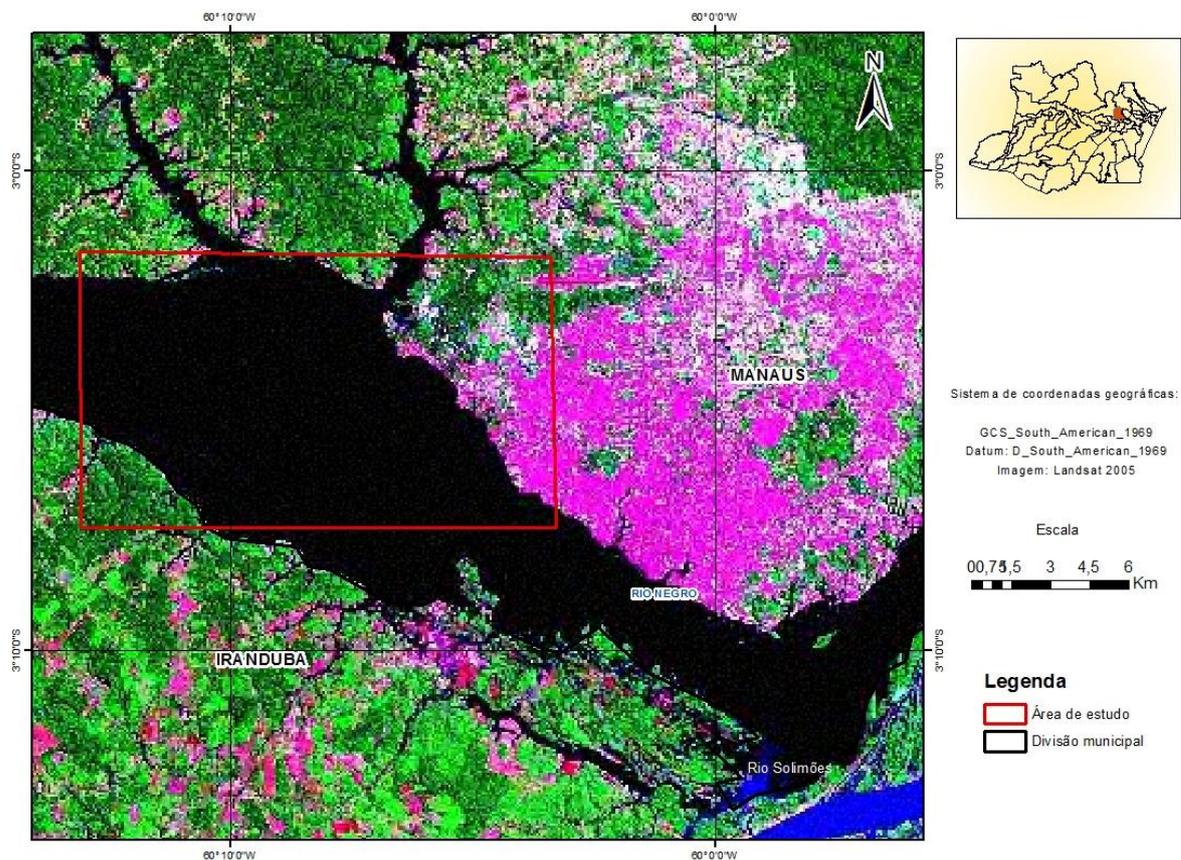


Figura 01: Destaque da Área de estudo localizada às margens do Rio Negro que banha parte dos municípios de Manaus e Iranduba no Estado do Amazonas. Landsat TM 2005, bandas 1, 2 e 3.

2.2 Geologia

O substrato geológico da região de Manaus compreende os sedimentos e rochas sedimentares da Formação Alter do Chão (Figura 02), de idade Cretáceo/Paleógeno da Bacia do Amazonas (CUNHA *et al.*, 1994). Particularmente nessa área, o empilhamento estratigráfico é composto pelo arenito e/ou siltito conhecido localmente como "Arenito Manaus", (ALBUQUERQUE, 1922). Na Praia da Ponta Negra, em Manaus, esse tipo litológico aflora na época seca do rio.

Nessa região acima das rochas sedimentares da Formação Alter do chão as camadas são bastante friáveis, compostas por uma sequência de camadas arenosas e argilosas avermelhadas e ferruginizadas, sobreposto por camadas argilo-arenosa caulinitas, ambas bastante intemperizadas. É nessa sucessão sedimentar que foi desenvolvido o Latossolo Argilo-arenoso amarelado, contendo o horizonte laterítico ferruginoso e/ou aluminoso presente nas colinas e tabuleiros do relevo de Manaus (SILVA *et al.* 2007).

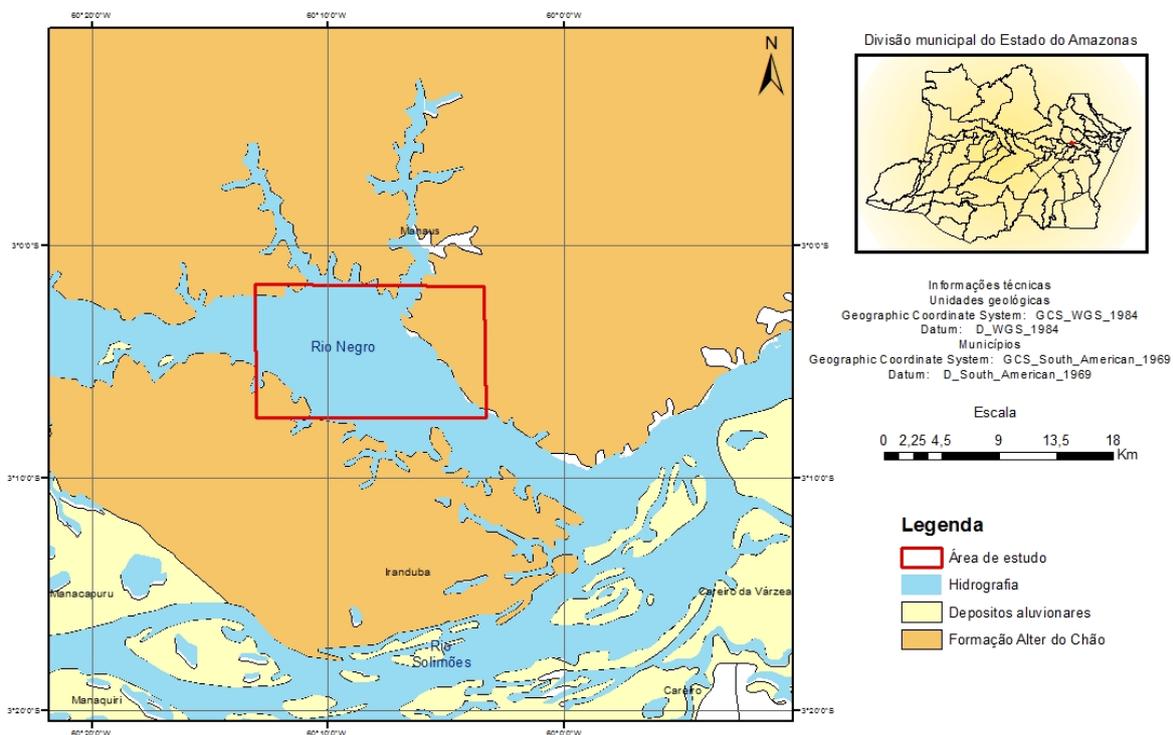


Figura 02: Mapa geológico da área de estudo que abrange parte das margens dos municípios de Manaus e Iranduba e seu entorno.

Fonte: CPRM (2006).

Segundo Costa (1996), as estruturas mais antigas na região leste do Amazonas, onde está inserida a cidade de Manaus, correspondem a falhas inversas e dobras orientadas na direção NE-SW, que afetam os sedimentos da Formação Alter do Chão e respondem pelo sistema de colinas delineando alinhamentos com altitudes de até 200 m.

De acordo com Franzinelli (2011), o último trecho do Rio Negro desenvolve-se ao longo de um pequeno *gráben de trend* estrutural N 40E e N65W, sendo que o último segmento do Rio Solimões apresenta a direção N40E. A confluência dos rios Negro e Solimões ocorre no cruzamento das direções estruturais N40E e N65W.

2.3 Geomorfologia

A área de estudo, segundo Costa *et al.* (1978) é classificada do ponto de vista morfoestrutural como Planalto Dissecado Rio Trombetas – Rio Negro. Essa unidade foi identificada por Nascimento, Mauro e Garcia (1976), na folha SA.21 Santarém e tem na Folha SA. 20 Manaus, seus limites ocidentais.

Os relevos que compõem essa unidade possuem altimetria em torno de 150 metros e estão talhados sobre os sedimentos da formação barreiras na maior parte, enquanto a noroeste destacam-se litologias das Formações Trombetas e Prosperança (COSTA *et al.* 1978)

Ainda de acordo com Costa *et al.* (1978) , as características geomorfológicas do Planalto Dissecado Rio Trombetas- Rio Negro são dadas por um relevo de interflúvios tabulares, predominantemente em toda unidade, o que lhe confere a qualificação de “dissecado”. A cidade de Manaus encontra-se na área dos interflúvios tabulares, por estes se localizarem na parte leste da unidade, próximo ao contato com a Folha SA. 21 Santarém.

Esse relevo, denominado como interflúvios tabulares, apresenta topos de extensão entre 750m e 1.750m, separados por vales alargados e de fraco grau de aprofundamento, onde os rios elaboram estreitas faixas de planície.

Segundo Nascimento *et al.* (1976), as condições geomorfológicas desse Planalto refletem a intensa atuação dos processos erosivos, resultando uma grande

faixa de dissecação em interflúvios com encostas ravinadas, interflúvios tabulares (it), interflúvios tabulares com drenagem densa, colinas e ravinas.

De acordo com Vieira (2008), em seu estudo sobre as voçorocas presentes na cidade de Manaus, a altimetria do relevo da região não ultrapassa os 120 metros e é classificado como interflúvio tabular, recortado por uma rede de canais (igarapés). A principal característica o sítio urbano de Manaus são os interflúvios tabulares (platôs) que finalizam em encostas côncavas, convexas a retilíneas.

Entre as zonas geográficas de Manaus ocorre uma diferenciação no que se refere a extensão desses platôs e às características das encostas. Na Zona Oeste, onde se concentra maior parte desta pesquisa, apresenta platôs mais extensos e com encostas retilíneas, longas e de baixa declividade. As outras zonas possuem encostas que variam de grande a baixa com variadas extensões (VIEIRA, 2008).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Conceitos para Análise de Fraturamento

A Geologia Estrutural é o ramo da geologia que estuda a forma e a geometria externa e interna das rochas, investigando os processos deformacionais da litosfera e as estruturas resultantes dessas deformações, e lida com a geometria, distribuição e formação de estruturas planares: falhas, fraturas, dobras, foliação. e lineares: lineação, estrias, eixo de dobras. (LOCZY, 1976; LADEIRA, 1976; TEIXEIRA *et al.*, 2008; FOSSEN, 2012).

Ramsay (1987) descreve que as fraturas ou juntas são as estruturas mais comumente expostas na superfície da Terra, que ocorrem em todos os tipos de rochas, incluindo sedimentos inconsolidados ou consolidados (litificados), portanto, rochas sedimentares, rochas ígneas e metamórficas. A escala de desenvolvimento das estruturas desse tipo pode variar desde a escala microscópica (observada em lâmina delgada de rocha) até grandes distâncias em certas regiões.

3.2 Fratura e Deformação Rúptil

A rocha é submetida à deformação por fraturamento quando sua resistência à ruptura é excedida, em um contexto de ambiente rúptil. O regime rúptil é “aquele em que as condições físicas promovem mecanismos de deformação rúptil, tais como deslizamento friccional ao longo de contatos de grãos e rotação e fratura de grãos.” (FOSSEN, 2012, p.166). O ambiente rúptil compreende aquele situado próximo à superfície da Terra, no âmbito da litosfera, onde as condições da rocha são frágeis e, quando submetida a esforços, perdem a coesão, rompendo-se.

O termo é amplo e envolve conceitos de juntas, fissuras, diáclases e fraturas. Qualquer descontinuidade plana ou subplana, despontada em uma direção em comparação às outras duas, formada por esforço externo, como, por exemplo, tectônico, ou interno (térmico ou residual), trata-se de uma fratura, que pode ser classificada como de cisalhamento (superfícies de deslizamento) e fraturas abertas

ou de extensão (juntas, fissuras e veios), conforme Ragan (1985), David, Reynolds, Kluth (2012) e Fossen (2012).

As fraturas podem ser classificadas de várias formas. Fraturas de cisalhamento (ou superfície de deslizamento) são aquelas ao longo da qual há um movimento relativo, paralelo à fratura (DAVIS, REYNOLDS, KLUTH, 2012). Uma fratura de cisalhamento se diferencia de uma falha pela primeira apresentar deslocamento pequeno na escala de milímetro a decímetro, enquanto que as falhas são descontinuidades com rejeito maior.

As fraturas que apresentam deslocamento perpendicular às paredes são classificadas como fraturas extensionais, juntas, fissuras, veios e diques. As juntas, por sua vez, apresentam pouco ou nenhum deslocamento visível a olho nu, sendo classificadas como fraturas extensionais verdadeiras. Fissura é o termo usado quando as fraturas são preenchidas por ar ou outro fluido, enquanto que os veios são preenchidos por minerais e diques quando preenchidos por magma (FOSSEN, 2012).

As fraturas compressivas (FOSSEN, 2012), também chamadas de fraturas de fechamento, são aquelas onde não há espaço entre as paredes das superfícies ou são preenchidas por materiais não mobilizados. Um exemplo de feição associada a fraturas compressivas são os estilólitos, que são estruturas de compactação com superfície muito irregular em vez de plana.

Uma maneira adequada de estudar diversos aspectos da formação de fraturas é por meio de experimentos de mecânica de rochas, desenvolvidos sob esforços diferenciais e pressões confinantes variadas.

Fraturas extensionais geralmente se deformam sob baixa ou nenhuma pressão confinante, desenvolvem-se de modo perpendicular a σ_3 . Caso as fraturas extensionais se formem em condições em que pelo menos um dos eixos de esforços seja distensivo, dessa forma estas são verdadeiras fraturas tensionais, geralmente encontradas próximo à superfície, pois lá valores negativos de σ_3 são comuns (FOSSEN, 2012).

As fraturas de cisalhamento, por outro lado, resultam em padrões de deformação típicos de deformação plástica. As diferenças entre fraturas extensionais e de cisalhamento podem ser expressas, segundo Fossen (2012), da seguinte

forma: Enquanto as fraturas extensionais se abrem de modo perpendicular a σ_3 , as fraturas de cisalhamento são obliquas a σ_3 em um ângulo que depende principalmente das propriedades da rocha e do estado de esforços. O ponto de partida no estudo de fraturas de rochas, antes de classificar a fratura é o início do faturamento, que se dá quando há um esforço diferencial que exceda a resistência da rocha.

Na Figura 03 encontra-se a classificação dos tipos de fratura conforme Fossem (2012).

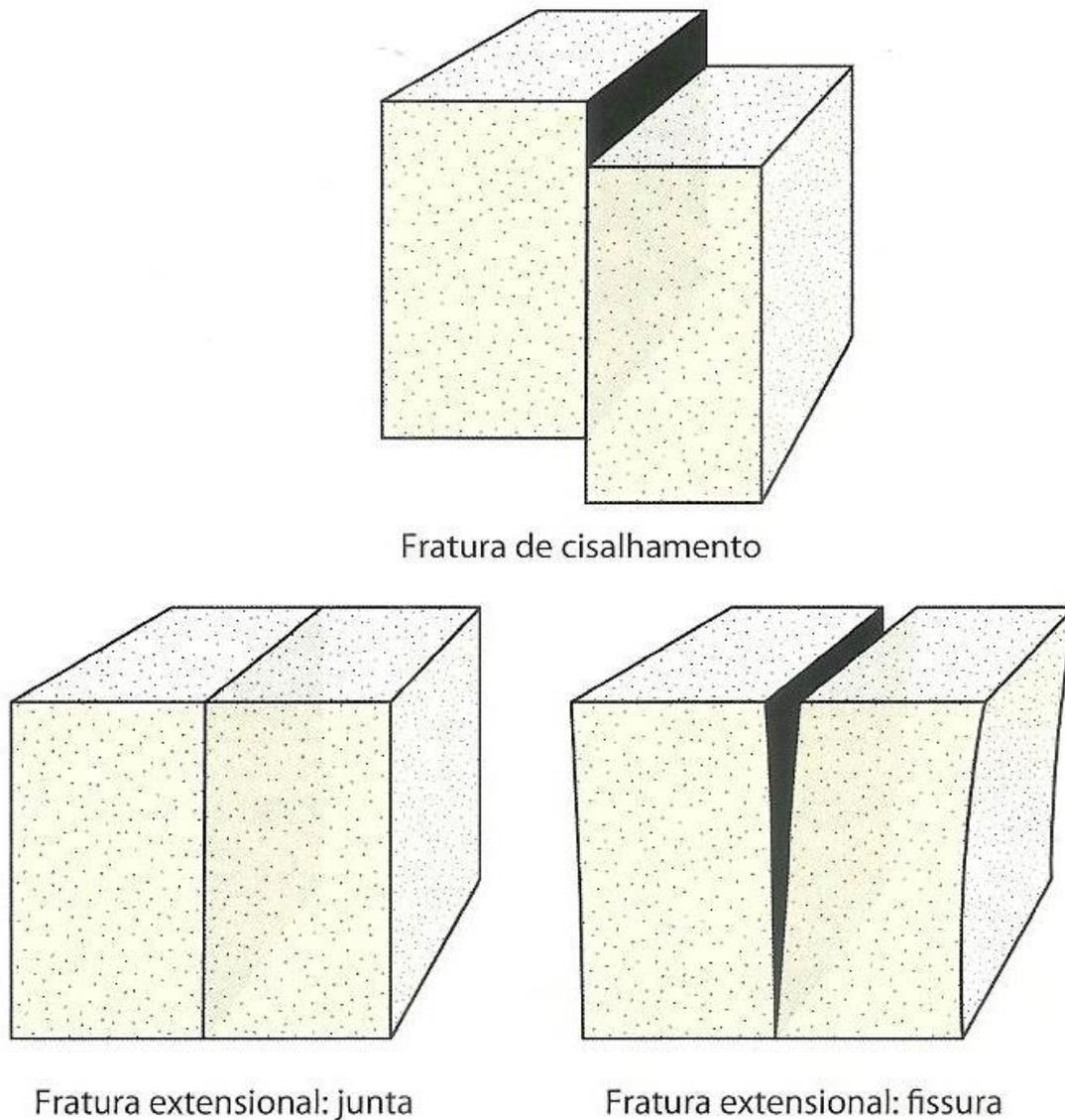


Figura 03: Classificação dos tipos de fraturas conforme Fossem (2012, p.168).

Segundo Fossen (2012), no campo de mecânica de fraturas, as fraturas são classificadas de quatro modos, como ilustra a Figura 04. As fraturas ditas de Modo I compreendem as abertas ou de extensão, onde o deslocamento da ruptura é perpendicular às paredes das fraturas. Já as fraturas classificadas como de Modo II ocorre movimento de deslizamento ou cisalhamento perpendicular à borda da fratura. A fratura de Modo III é dita como fratura de rasgamento, por apresentar deslizamento paralelo à borda. As de Modo IV são do tipo de fechamento, compressivas, as quais geram as feições do tipo estilolitos. As Fraturas Híbridas são a combinação das fraturas de cisalhamento (Modo II ou Modo III) e a de tensão (I).

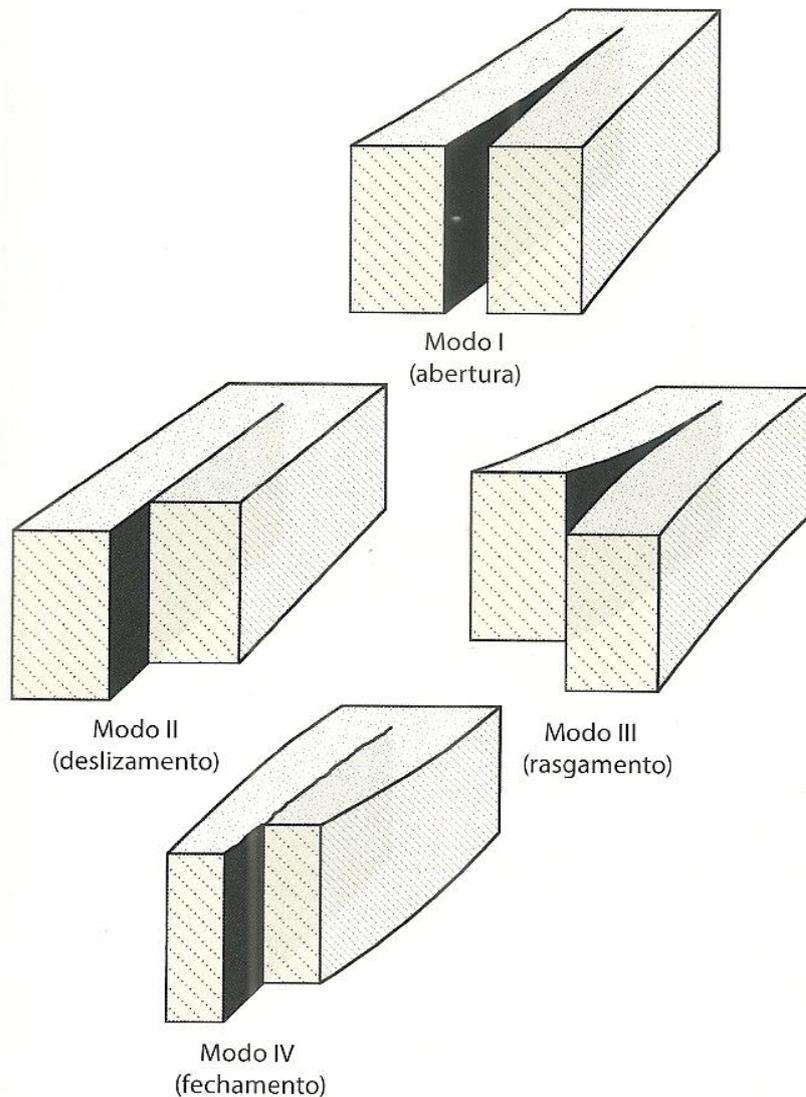


Figura 04: Classificação de tipos de fraturas conforme experimentos de mecânica de rocha (FOSSEN, 2012, p.171).

O espaçamento entre fraturas pode ser de milímetros a dezenas de metros e essa variação pode estar relacionada ao tipo de rocha, podendo apresentar-se espaçadas em camadas de arenito e muito próximas em rochas sedimentares pelíticas, tais como, argilito ou siltito. Em alguns casos, onde há intercalação de camadas diferentes um tipo arranjo ou distribuição de juntas pode ocorrer, enquanto que em outro caso nenhuma pode ser encontrada (RAMSAY, 1987).

3.3 Terminação de Fraturas

Na terminação das fraturas é possível reconhecer várias feições resultantes da dissipação do esforço ou mesmo na interação entre superfícies fraturadas. Estas são ditas terminações, observadas em planta, e podem ser do tipo: *wing cracks* ou fraturas extensionais que ocorrem na terminação de fraturas de cisalhamento. Outro tipo comum são as fraturas com padrão rabo-de-cavalo; fraturas do tipo *splaying*, as quais podem apresentar com movimento sintético à falha principal e fraturas antitéticas, cuja orientação diverge com relação à estrutura principal (FOSSEN, 2012).

3.4 Análise Estrutural de Fraturas

A análise estrutural de fraturas envolve a obtenção de medidas de orientação cartográfica a partir de bússola geológica, descrição da estrutura e classificação para obtenção do padrão de fraturamento através de diagramas estruturais. As medidas das fraturas podem ser realizadas segundo notação geológica tradicional, seja conforme a notação americana em rumo ou azimute (por exemplo, N25E/80SE ou N25/ 80SE) ou em notação Clar, a qual se obtém o azimute do mergulho da superfície fraturada (115/80, para a mesma notação acima descrita). As populações das famílias de fraturas são plotadas em diagramas estruturais (Schmidt-Lamber) para determinação dos principais eixos dos esforços que levam à formação dessas estruturais sob a forma de projeções ciclográficas e também de curvas de isovalores

para determinação das paleotensões, conforme as técnicas de Arthaud (1969) e Angelier e Mechler (1977). Essas técnicas já são empregadas utilizando recursos computacionais modernos, o que facilitam a determinação dos vetores de deformação.

3.5 Formação de Falhas

As deformações rúpteis nas rochas da crosta terrestre resultam falhas, que representam descontinuidades, tanto em termos mecânicos quanto hidráulicos (TEIXEIRA *et al.*, 2008; MOLINARI, 2010). Na descrição de Fossen (2012, p.204) “Uma falha é uma descontinuidade com deslocamento paralelo às suas paredes e dominada por mecanismos de deformação rúptil”.

Quanto à geometria das falhas, Fossen (2012) afirma que as falhas não verticais separam a capa (bloco superior) da lapa (bloco inferior). Em complemento, Teixeira *et al.* (2008) sugere que as falhas sejam classificadas com base em elementos geométricos e mecânicos.

Na classificação geométrica das falhas, segundo Teixeira *et al.* (2008) é levado em consideração o mergulho do plano de falha (classificação que divide as falhas em dois grupos: falhas de alto ângulo, se o mergulho do plano de falha for superior a 45° , e falhas de baixo ângulo, se for inferior a 45°), a forma da superfície de falha (classificação que categoriza as falhas em planares e curvas, a primeira quando a variação da direção da superfície encontra-se no intervalo de aproximadamente 5, e a segunda está ligada a regimes distensivos) e o movimento relativo entre os blocos (essa classificação divide as falhas em normais, reversas ou de empurrão).

O terceiro aspecto levado em consideração na classificação geométrica sugerida por Teixeira *et al.* (2008) refere-se aos tipos de rejeito (classificação que leva em consideração os componentes geométricos do deslocamento entre dois pontos previamente contíguos, em lados opostos da falha, e que são medidos no plano de falha. Nessa classificação, o rejeito total em falhas normais e reversas, corresponde ao rejeito de mergulho, e rejeito direcional corresponde às falhas transcorrentes, e o rejeito total às falhas oblíquas). Suppe (1985) apresenta cinco

critérios para o reconhecimento e localização de falhas: (1) descontinuidade estrutural, (2) descontinuidade litológica, (3) deformação na zona de falha, muitas vezes com rochas enfraquecidas associadas com características de afloramento pobre. (4) deformação da superfície da terra relacionada a falha, em caso de falhamento recente, e (5) sedimentos e padrões de sedimentação relacionados a falha, em caso de falhamento sindeposicional.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A etapa inicial do estudo compreendeu a revisão sobre a neotectônica da região e o levantamento de dados geológicos e geomorfológicos existentes, a fim de atualizar o conhecimento e averiguar as necessidades de áreas específicas descritas em campo.

4.1 Geoprocessamento

A segunda etapa da pesquisa envolveu o processamento digital de imagens e a confecção de mapas de localização e mapa geológico utilizando o software Arc Gis Arc Map 10.2. A imagem escolhida para a realização da identificação de áreas erosivas foi a do satélite Landsat sensor TM 5, ano de imageamento 2005, resolução 30 metros.

A análise de imagens de satélite envolveu o uso de software específico. O programa escolhido foi o software Arcgis 10.2 Arc Map, por se adequar de forma mais precisa aos objetivos de análise dessa pesquisa. Após essa etapa, algumas combinações de bandas (RGB) foram geradas para melhorar a visualização das cenas. Após a combinação das bandas foram gerados os mapas de localização da área de estudo e o mapa geológico.

4.2 Campo

A terceira etapa compreendeu o levantamento geológico e geomorfológico em campo, identificação e registros das falhas e fraturas presentes nas camadas deformadas e ocorreu em duas fases, a primeira em janeiro de 2014, e a segunda em março de 2015.

4.3 Materiais

Na execução do trabalho de campo foram utilizados os seguintes materiais:

- GPS Garmin eTrex Vista, para a obtenção das coordenadas geográficas dos pontos de observação de faturamento.
- Barco de pequeno porte para a travessia do rio Negro para a realização da coleta de dados.
- Bússola Geológica Prof. Dqy-1 - Tipo Brunton, para a obtenção das direções de mergulho das fraturas encontradas em campo.
- Máquina fotográfica modelo Samsung ST150F.

Ao encontrar uma população de fraturas era realizada a coleta das coordenadas geográficas por meio de um GPS (Figura 05). Logo após esse registro de localização, eram retiradas fotografias digitais das populações de fraturas encontradas.



Figura 05: GPS e caderneta utilizados no trabalho de campo na margem do rio Negro em janeiro de 2014 e março de 2015.

Os dados de direção e mergulho das fraturas foram coletados em campo posicionando a bússola sobre a fratura encontrada (Figura 06). Após a obtenção das medidas as mesmas foram registradas em caderneta de campo em notação Clar para serem trabalhadas posteriormente para a composição dos resultados dessa pesquisa.



Figura 06: Obtenção dos dados de direção e mergulho das fraturas em campo utilizando a bússola geológica, na margem do Rio Negro.

Os dados estruturais coletados em campo foram analisados conforme os métodos convencionais de análise estrutural, segundo as técnicas de Arthaud (1969) e Angelier e Mechler (1977), para tratamento das populações de falhas e fraturas com a finalidade de determinação dos principais tensores de deformação.

4.4 Pós-campo

Após a etapa de campo, os dados de coordenadas geográficas foram inseridos no programa Arc Gis Arc map 10.2 (Figura 07). Foram criados os shapes de pontos de coleta e plotados na imagem georreferenciada do satélite Landsat 5 para a confecção do mapa de pontos de coleta da área de estudo.

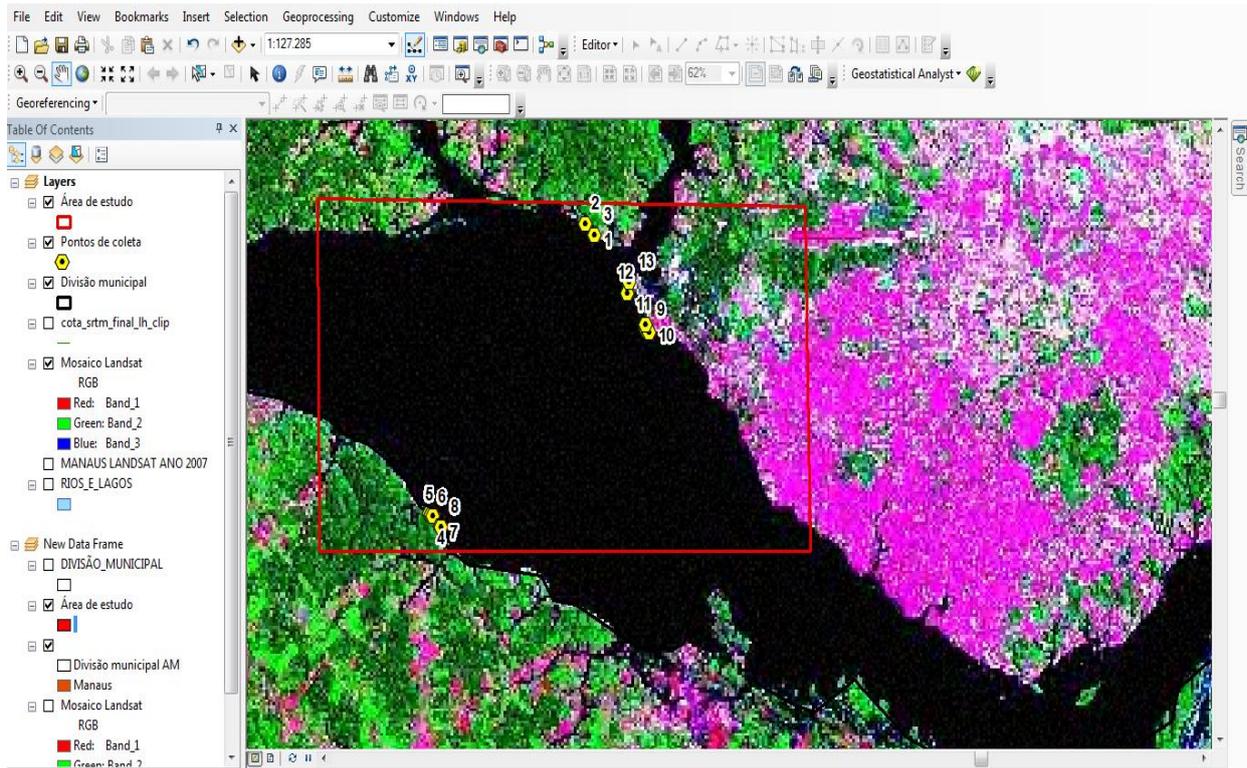


Figura 07: Plotagem dos pontos de coleta no software Arc Gis Arc Map 10.2 sobre a imagem Landsat 2005 da área de estudo.

As medidas de direção e mergulho das fraturas obtidas em notação Clar na etapa de campo foram inseridas em um site denominado Visible Geology para a realização do tratamento estatístico dos dados e sua visualização através de esteriogramas e diagramas de roseta.

A interpretação dos diversos produtos, informações geológica, geomorfológica e estrutural, foram integrados com o objetivo de determinar o comportamento tectônico das estruturas associadas e suas relações com o quadro neotectônico na área de estudo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a etapa de coleta de dados em campo, foi gerado o mapa de pontos de coletas de dados estruturais das fraturas com base na imagem Landsat 5 TM 2005 da cidade de Manaus, produto do software Arc Gis Arc Map 10.2 (Figura 08).

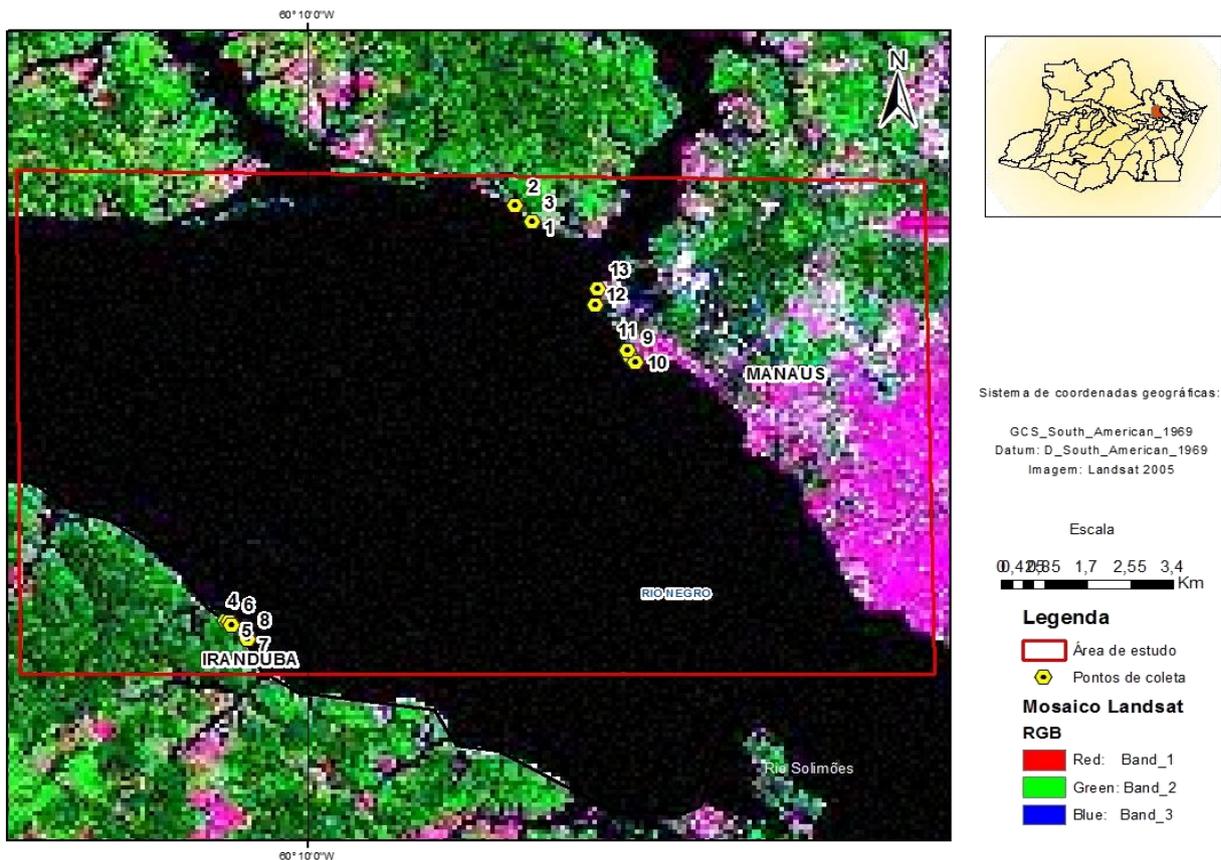


Figura 08: Mapa de pontos de coleta de dados, às margens direita e esquerda do rio Negro nos municípios de Manaus e Iranduba - AM.

5.1 Características Geológicas/ Litológicas da Área Estudada

Como já descrito na sessão de geologia da área de estudo, o substrato geológico da região de Manaus compreende os sedimentos e rochas sedimentares da Formação Alter do Chão ou grupo Javari, onde o empilhamento estratigráfico é composto pelo Arenito Manaus.

Como esperado, como característica litológica do Arenito Manaus, foram identificados na área de estudo uma sequência de camadas arenosas, argilosas avermelhadas e ferruginizadas, como ilustra a Figura 09:



Figura 09: Registro de camadas arenosas, argilosas avermelhadas e ferruginizadas no Arenito Manaus. Ano 2015.

5.2 Análise do Padrão de Fraturamento

5.2.1 Análise e Características do Padrão de Fraturas: Margem Esquerda do Rio Negro

Foi realizado o trabalho de campo de reconhecimento na margem esquerda do rio Negro, na área urbana da cidade de Manaus. Na ocasião, foram selecionados uma área próxima à praia da Ponta Negra e onde foram identificados holisticamente algumas fraturas nas rochas sedimentares denominadas regionalmente de "Arenito Manaus". Obteve-se além dos dados estruturais (orientação) das estruturas, também foi feita a caracterização da tipologia de tais fraturas, conforme pode ser observado nas figuras 10 e 11.

A Figura 10 mostra os padrões de fraturamento exclusivamente em Arenito Manaus, sendo desconsiderados, nessa primeira fase de estudo, as desenvolvidas em solo ou material incoeso. No geral, as fraturas ou juntas apresentam-se de forma sistemática, mormente abertas, conforme notado na Figura 10A. Estas são contínuas e segue paralelamente a margem do rio Negro. A disposição dessas fraturas ou juntas em duas ou três famílias é comum, mostrando que estas são bem

desenvolvidas e cortam níveis ou faciologia da rocha, como a camada ferruginosa ou caulinitica dessa rocha (Figura 10B). Diferentes espaçamentos, centímetros ou poucos metros marcam a diferença entre as famílias (Figura 10C e 10D). A Figura 10E apresenta pelo menos três famílias de fraturas cartografadas. Na Figura 10F, observou-se que algumas fraturas estão associadas a estruturas maiores, talvez funcionando como falhas onde as fraturas estão associadas a uma deformação principal.

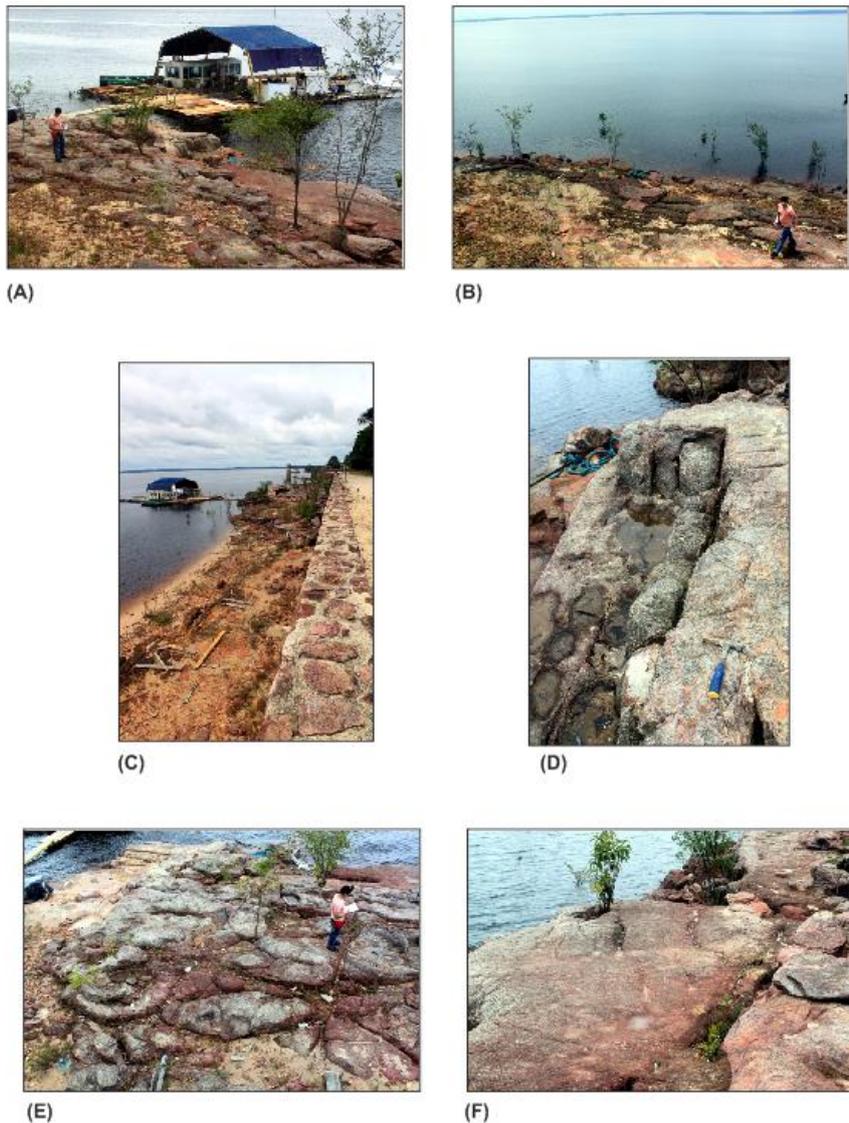


Figura 10: Padrão de fraturamento em arenito Manaus na orla do rio Negro. Em (A) mostra padrão sistemático de fraturas abertas orientada paralelamente à margem. Em (B), outra família de fraturas foi mapeada cotando nível ferruginizado do paleossolo da unidade geológica. (C) a característica das fraturas mostra que estas são contínuas. Em (D) com diferentes espaçamentos. Em (E), três famílias de fraturas foram notadas. Em (F), observou-se que algumas fraturas estão associadas a estruturas maiores.

Na Figura 11 há exemplos de que essas estruturas aparentam ser contínuas e retilíneas, por vezes revezadas ou, ainda, curvilínea, conforme as Figuras 11 A, B e C. Um fator a ser considerado para o caso das fraturas extensionais pura é o preenchimento das mesmas com óxidos de ferro ou manganês, provenientes dos fluidos de intemperismo (Figura 11D), os quais podem ser também por sílica, por minerais secundários, ou serem produtos da redução da rocha e recristalização decorrente de áreas de atrito como estruturas estilolíticas (Fraturas de compressão), conforme Figura 11E e 11F.

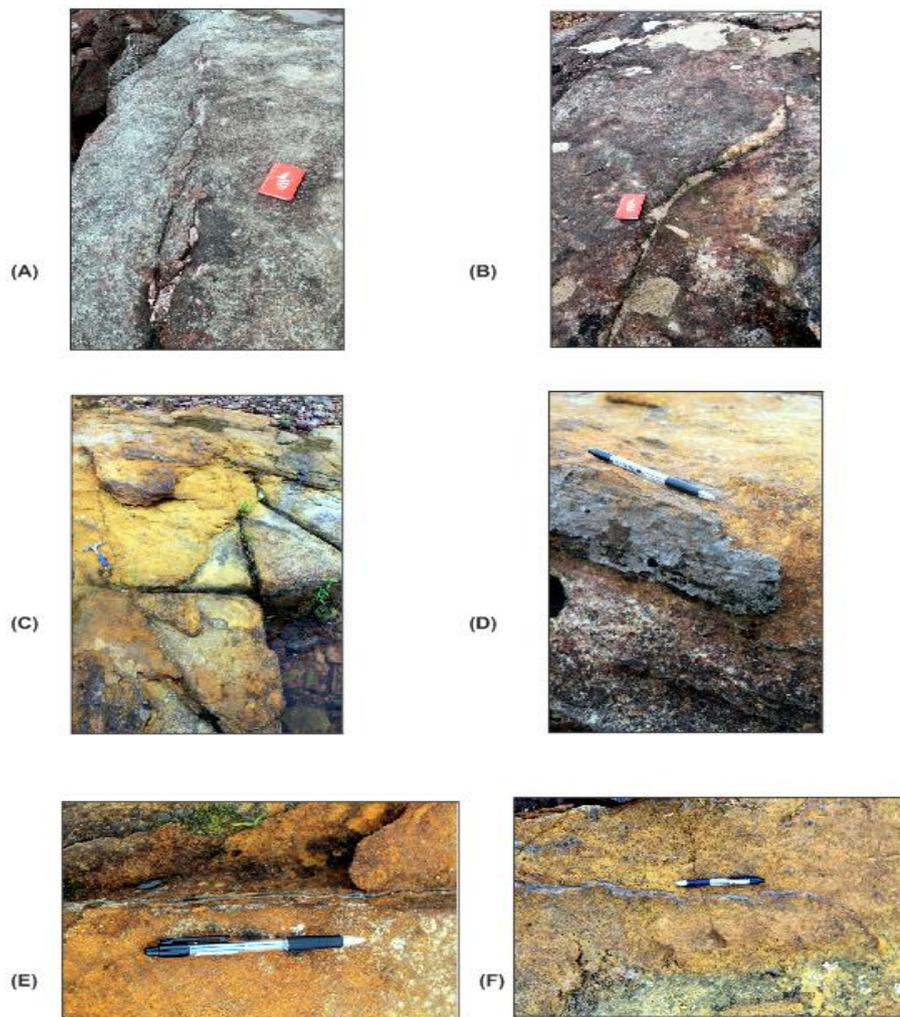


Figura 11: Aspectos geométricos das fraturas na orla do rio Negro, em arenito Manaus. Em (A) fraturas abertas e revezadas; (B) curvilínea; (C) em famílias retilíneas; (D) preenchidas com óxidos de ferro ou manganês; (E) e (F) preenchidas por sílica ou por minerais secundários.

Quanto à mecânica de rochas, os tipos de fraturas presentes na Figura 10 são: (B) Modo I (abertura), (D) Modo III (rasgamento), (E) Modo I (abertura). Na Figura 11 foram classificados o conjunto de fraturas presentes figuras contidas nessa figura: (A), (B) e (C) como Modo I (abertura), (B) conforme a classificação de Fossen (2012).

5.2.2 Análise Estrutural das Fraturas: Margem Esquerda do Rio Negro

As principais atitudes para os planos de falhas reconhecidas foram as seguintes: N16W/81SW, N42W/80SW, N30E/80NW, N54W/40NE e N60W/62NE. Para as famílias de fraturas se destacam as orientações N66W/86SW, N31W/86SW e N70E/84NW.

Ao longo do rio Negro, Silva (2005) descreveu blocos abatidos por falha normal que resulta na formação das escarpas na margem oeste da cidade de Manaus. A direção desses planos aproximadamente N30W, com mergulho para sudoeste, é coincidente com a margem esquerda de rio nessa região. Esse abatimento produziu na paisagem uma morfologia de antiformal de volteio como, por exemplo, pode ser visualizado na região do bairro da Compensa (SILVA, 2005). Essa geometria deve estar relacionada aos elementos geométricos de rampa e patamar da superfície da falha. Nesse ponto da orla da cidade o relevo é escarpado onde afloram sedimentos Alter do Chão no bloco alto. Alguns afloramentos visitados mostram que as falhas normais estão orientadas N27W com mergulho para sudoeste, mas também falhas antitéticas N27W/38NE.

Os dados coletados representam fraturas existentes na camada litificada e estão representadas na tabela no anexo deste documento. Nessa tabela, os valores representam os dados obtidos em campo do azimute de mergulho das fraturas, onde o primeiro valor é do azimute ou rumo do mergulho da superfície fraturada e o segundo valor representa o ângulo de mergulho da mesma superfície. Este tipo de notação é conhecida na literatura geológica-estrutural como notação Clar.

Os dados obtidos para a área estuda serão representados em diagramas, conforme a Figura 12. Nessa figura foram elaborados o diagrama das curvas ciclográficas para todas as fraturas obtidas e também a distribuição das populações

em concentração que pode ser observada no gráfico de isovalores. Esses gráficos representam todos os valores obtidos sem separação das famílias diferenciadas, e reunidos em figura Estereogramas das fraturas obtidas na praia da Ponta Negra (Manaus-AM), mostrando as curvas ciclográficas para 110 medidas de fraturas obtidas no arenito (diagrama a esquerda) e o diagrama de isovalores a direita.

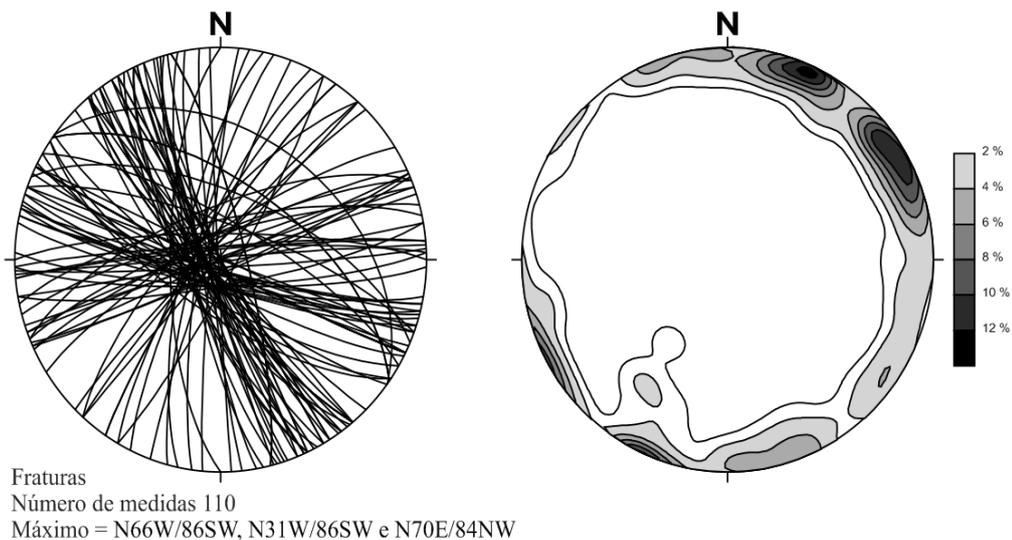


Figura 12: Estereogramas das fraturas obtidas na praia da Ponta Negra (Manaus-AM), mostrando as curvas ciclográficas para 110 medidas de fraturas obtidas no arenito (diagrama a esquerda) e o diagrama de isovalores à direita.

A análise do diagrama que representa os planos das fraturas (curva ciclográfica) fica confuso para muitos dados obtidos. A representação de isovalores, por conseguinte, permite identificar áreas no diagrama onde há concentração das famílias. Assim, observa-se que três locais e máximos foram determinados, onde as orientações médias das fraturas foram N66W/86SW, N31W/86SW e N70E/84NW. Essas orientações são consistentes com o diagrama de rosetas para esses mesmos dados, o qual representa as principais direções dos planos fraturados, conforme a Figura 13. Nesse diagrama observa-se que as fraturas se distribuem preferencialmente na direção NW-SE, secundariamente duas outras direções foram

obtidas com frequência menores NE-SW e E-W. Menos frequente foi a orientação N-S. A principal orientação, conforme o diagrama de roseta, possui atitude N35W a N40W, mas também ficou evidente as direções N60W a N65W e N20W a N25W.

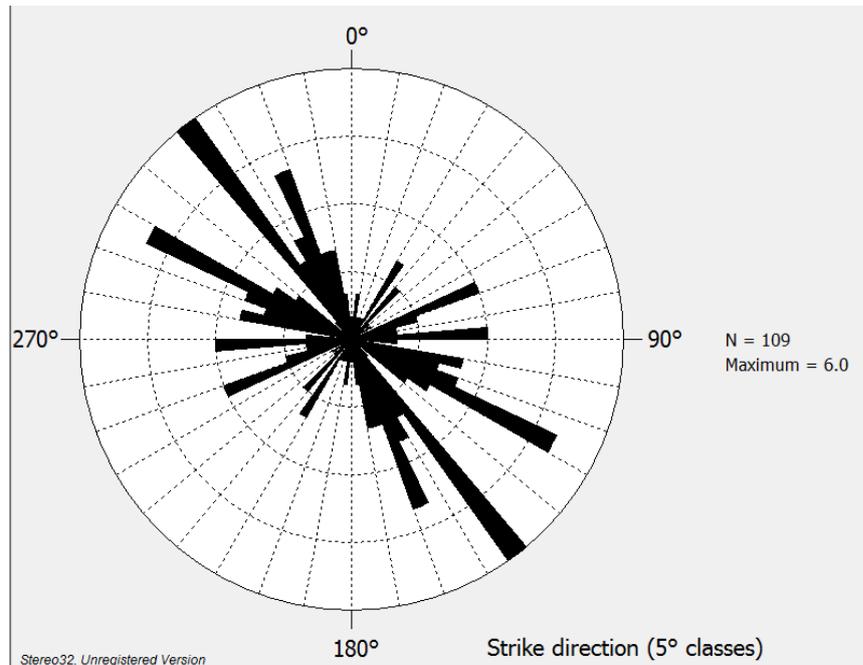


Figura 13: Diagrama de roseta das orientações das fraturas obtidas no arenito na Praia da Ponta Negra (Manaus-AM). O intervalo é de 10 em 10 graus.

5.2.3 Análise e Características do Padrão de Fraturas: Margem Direita do Rio Negro

Um segundo trabalho de campo foi realizado na margem direita do rio Negro, na região de Iranduba, com a intenção de comparar os padrões de fraturas com os encontrados na margem esquerda do rio Negro na Praia da Ponta Negra (Manaus-AM). Além dos dados estruturais (orientação) das estruturas, foi feita a caracterização da tipologia de tais fraturas, conforme pode ser observado na Figura 14.

A Figura 14 apresenta os padrões de faturamento também encontrados em Arenito Manaus, na margem direita do rio Negro, na região do Iranduba. Em geral as fraturas ocorrem de forma sistemática, como apresenta, seguindo paralelamente à

margem do rio Negro. Fraturas do tipo retilínea foram encontradas em sua maioria nessa área de estudo, como pode-se observar nas Figuras 14A, B e D. Também foram encontradas, na área de estudo, fraturas do tipo abertas posicionadas perpendicularmente a margem do rio Negro, conforme a Figura 14C.



Figura 14: Aspectos geométricos das fraturas na margem direita do rio Negro, em arenito Manaus. Em (A) Fraturas retilíneas paralelas à margem direita do Rio Negro, (B) Fratura transcorrente sinistral de família retilínea, (C) Fraturas abertas e revezadas e (D) Fraturas retilíneas.

Os tipos predominantes de fraturas identificadas na margem direita do rio Negro conforme podemos observar na Figura 14 são: (A) Modo I (abertura) extensional com formação de fissuras ou abertas e com formação de juntas. (B) Modo III (rasgamento). (C) Modo I (abertura) extensional com formação de fissuras ou abertas e (D) Modo II – Deslizamento ou cisalhamento, segundo a classificação de Fossen (2012).

5.2.4 Análise Estrutural das Fraturas: Margem Direita do Rio Negro

As principais atitudes para os planos de falhas reconhecidas nessa segunda área de estudo, em notação Clar, foram 10/80, 338/85, 290/85, 320/80, 97/70, 59/80.

Os dados coletados representam fraturas existentes na camada litificada e estão representadas na segunda parte da tabela com os dados estruturais obtidos em notação Clar, no anexo deste documento.

Os dados obtidos para a área estuda nessa segunda etapa de trabalho de campo estão representados em um diagrama, conforme a Figura 15. Nessa figura foram elaborados o diagrama das curvas ciclográficas para todas as fraturas obtidas na margem direita do rio Negro, na região do Iranduba, totalizando 31 medidas.

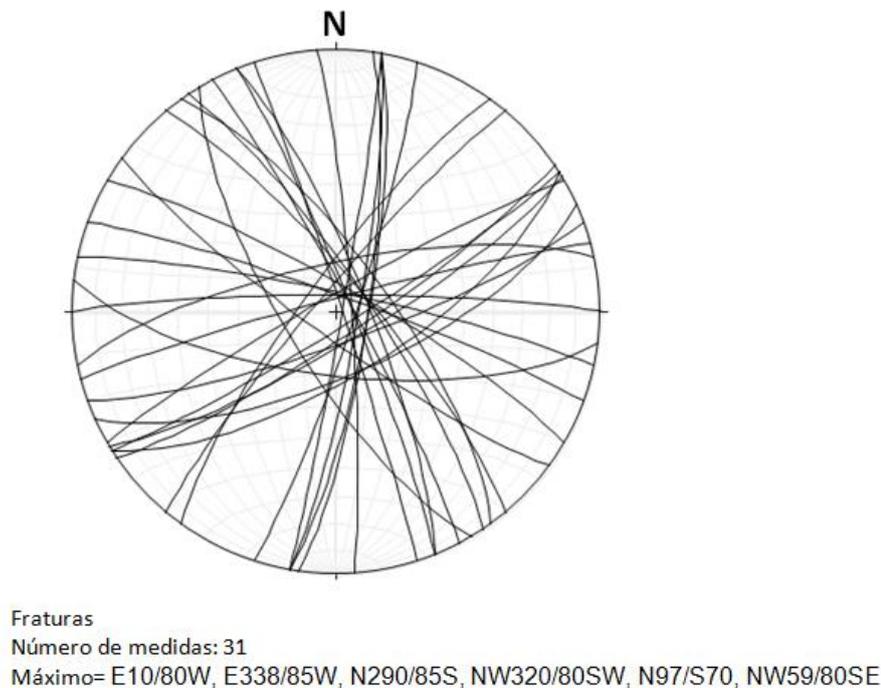


Figura 15 – Estereograma das fraturas obtidas na margem direita do rio Negro.

O diagrama de rosetas para esses dados representa as principais direções dos planos fraturados conforme a Figura 16. Observa-se que as fraturas se distribuem preferencialmente na direção E-W. Secundariamente, vem a orientação NW-SW. Com frequências menores estão as orientações NW-SE e N-S.

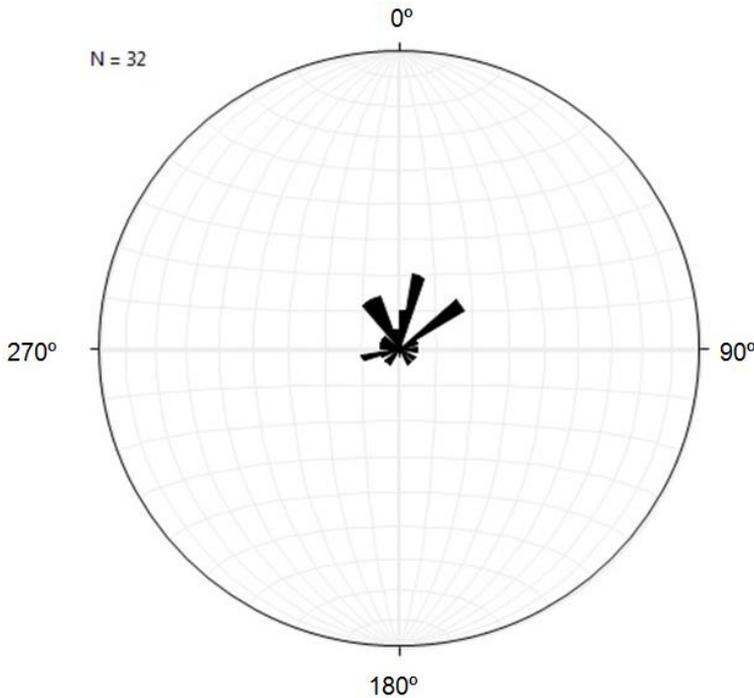


Figura 16- Diagrama de roseta com as orientações das fraturas obtidas na margem direita do rio Negro, na região do Iranduba.

5.3 Descrição das Falhas na Área de Estudo

Nessa região há predomínio de falhas normais que estão associadas à direção desse rio, conforme Silva (2005). Na Praia da Ponta Negra, durante a época da vazante dos rios, há a exposição de camadas de arenito silicificado esbranquiçado e avermelhado da Formação Alter do Chão. Segundo Silva (2005), as falhas normais têm atitudes N20W/70SW a N30W/80SW, paralela a orientação do referido rio, promovem a inclinação dos pacotes e sugerem movimento de basculamento de blocos associado à direção NW-SE.

Nessa rocha, os planos de fraturas são bem desenvolvidos e possuem a direção NW-SE, N-S, NE-SW e E-W. As fraturas NW-SE mostram espaçamento regular de 1 m a 2 m, cuja continuidade pode ser observada acompanhando por toda a margem esquerda. Essas fraturas são cortadas por outras com abatimento E-W e NE-SW, geralmente preenchidas por quartzo. Estas mostram desenvolvimento

de feições sigmoidais na superfície. Algumas fraturas N-S reconhecidas apresentam alto ângulo de mergulho. Há indicação de movimentação normal de blocos, em cujos planos de fraturas há percolação de fluidos que propiciam a alteração intempérica do material.

6 Conclusão

A proposta deste trabalho era apresentar um estudo do padrão de fraturamento na margem do Rio Negro na orla da cidade de Manaus e Iranduba – AM.

A análise de fraturamento na margem esquerda do rio Negro, na orla da cidade de Manaus aponta que, em geral, as fraturas ou juntas apresentam-se de forma sistemática, mormente abertas, contínuas, com ocorrência de estruturas retilíneas, e seguem paralelamente a margem do rio Negro. Foi identificado na rocha estudada que os planos de fratura são bem desenvolvidos. As fraturas NW-SE, direção em que as fraturas preferencialmente se distribuem, mostram espaçamento regular de 1m a 2m.

Ao analisarmos os padrões de fraturamento na margem direita do rio Negro, aponta-se para a ocorrência de estruturas de fraturas retilíneas. Nosso objetivo era realizar uma comparação entre os dados de ambas as margens, a margem esquerda que se situa na orla da cidade de Manaus-AM e a margem direita do rio Negro que abrange parte da região do município de Iranduba - AM.

Como resultado, concluímos que as estruturas de fraturas nas duas margens são consideravelmente semelhantes, com estruturas retilíneas. O ponto divergente nos dados foi em relação à orientação das fraturas. Na margem esquerda do rio, ocorre preferencialmente a direção NW-SE e na margem direita do rio, ocorre preferencialmente a direção E-W.

Uma correlação que podemos fazer entre esses dados e o quadro neotectônico da região é que a falha tectônica que controla o rio Negro influencia na direção apenas das fraturas existentes na margem esquerda do rio, onde está situada a cidade de Manaus-AM.

Por fim, consideramos que a falha que controla o rio Negro influencia o padrão de fraturamento da margem esquerda do rio Negro na orla da cidade de Manaus-AM.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, O.R. Reconhecimentos geológicos no vale do Amazonas. Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, n. 3, 84p, 1922.
- ANGELIER, J.; MECHLER, P. Sur une méthode graphique de recherche des contrsintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. Bulletin Soc. Géol. France, 1977, (7), n. 6, p. 1309-18.
- ARTHAUD, F. Méthode de Determination graphique des directions de raccourcissement, d'allongement et intermédiaire d'une population de failles. Bull. Soc. Géol. France, 1969, 11: 729-737.
- BELTRÃO, O. Realidade da Amazônia brasileira. Fundação Biblioteca Nacional: Ministério da Cultura, 2002. 392p.
- CAMPOS, S. M., SILVA, C. L., VAL, P. F. A. E., MORALES, N. Evidências do controle tectônico no relevo de Manaus (AM) In: 13º Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos VII International Symposium on Tectonics, 2011, Campinas. 13º Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos VII International Symposium on Tectonics. Campinas: SBG, 2011. v.1. CD-Room.
- COSTA, R.C.R., NATALI FILHO, T., OLIVEIRA, A.A.B. Geomorfologia da Folha SA.20-Manaus. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. Folha SA.20-Manaus. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: MME/DNPM, 1978. v. 18, cap. 2, p. 165-244.
- COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L.; HASUI, Y.; BORGES, M.S.; FERREIRA JÚNIOR, C.R.P., BEZERRA, P.E.L.; COSTA, M.L.; FERNANDES, J.M.G. Neotectônica da Região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. Revista GEONOMOS, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, jan./jun. 1996.
- CPRM. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas. Sistema de Informação Geográfica-SIG. 2006.
- CUNHA, P.R.C., GONZAGA, F.G., COUTINHO, L.F.C., FEIJÓ, F.J. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da PETROBRÁS, v. 8, n^o. 1, p. 47-55, 1994.
- DAVIS, G.H.; REYNOLDS, S.J.; KLUTH, C. F. Structural geology of rocks and regions. Chapter 5. Join. 3a.ed. John Wiley & Sons, 2012.
- FOSSEN, H. Geologia Estrutural; tradução Fábio R. D. de Andrade – São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

FRANZINELLI, E. & IGREJA, H.L.S. 1990. Utilização de sensoriamento remoto na investigação na área do baixo Rio Negro e grande Manaus. In: VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1990, Manaus. Anais.. v. 3: 641-648. 1990

FRANZINELLI, E.. Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). Revista Brasileira de Geociências 41: 587–596. 2011

LOCZY, L. de & LADEIRA, E. A. Geologia Estrutural e Introdução à Geotectônica. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1976.

NASCIMENTO, D.A., MAURO, C.A., GARCIA, M.G.L. Geomorfologia da Folha SA.21-Santarém. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. Folha SA.22-Santarém. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: MME/DNPM, 1976. v. 10, cap. 2, p. 131-98.

RAGAN, D.M., 1985. Structural Geology, an Introduction to Geometrical Techniques (3rd. ed.). John Wiley & Sons, New York, 393 pp.

RAMOS, F. L. G., MIRANDA, F. P., LANDAU, L., SILVA, C. L. Detecção de movimentação crustal recente em Manaus (AM) utilizando informações de sensoriamento remoto por radar (interferometria RADARSAT-1 e modelo digital de elevação da SRTM) In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba: SBG, 2011. v.1

RAMSAY, J.G. and HUBER, M.I. The techniques of modern structural geology. Volume 2: Folds and fractures. London, 1987.

RIBEIRO, M. A. S. *et al.* As falhas na porção leste de Manaus (AM), evidências do sistema transcorrente na Amazônia. Revista de Geografia da UFSM, 2009.

RIBEIRO, M.A.S., SILVA, C. L., MORALES, N. As falhas na porção leste de Manaus (AM), evidências do sistema transcorrente na Amazônia In: 13º Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos VII International Symposium on Tectonics, 2011, Campinas. 13º Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos VII International Symposium on Tectonics. Campinas: SBG, 2011. v.1. CD-Room.

SEPLAN. Secretaria de Estado de planejamento e Desenvolvimento Econômico. Perfil básico da Região Metropolitana de Manaus. Manaus: SEPLAN, 2007, 119p.

SILVA, C. L., CARVALHO, J. S., COSTA, S. S., ALECRIM, J. D. Considerações sobre neotectonismo na cidade de Manaus (AM) e áreas adjacentes: uma discussão preliminar In: Congresso Brasileiro de Geologia, 1994, Balneário Camboriú (SC). Anais do 38 Congresso Brasileiro de Geologia. Balneário Camboriú (SC): SBG, 1994. v.2. p.251 – 252.

SILVA, C. L., COSTA, S. S., CARVALHO, J. S. Um estudo preliminar neotecônico na Cidade de Manaus/AM In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos (SNET), 1995,

Gramados (RS). Anais do V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos (SNET). Gramados (RS): SBG, 1995. p.438 – 439.

SILVA, C. L., CROSTA, A., MORALES, N., COSTA, S. S., RUEDA, J. R. J. Uso de modelo digital de elevação do SRTM na elaboração de mapas temáticos aplicados à análise morfotectônica: exemplo da região sudoeste de Manaus - AM In: Congresso Brasileiro de Geologia, 2004, Araxá - MG. 42 Congresso Brasileiro de Geologia. Araxá - MG: SBG-SE, 2004.

SILVA, C.L. Análise da tectônica cenozóica da região de Manaus e adjacências. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2005. 282p.

SILVA, C. L., MORALES, N., CROSTA, A., COSTA, S. S., RUEDA, J. R. J. Analysis of tectonic-controlled fluvial morphology and sedimentary process of the western Amazon Basin: an approach using satellite images and digital elevation model. Anais da Academia Brasileira de Ciências. , v.79, p.693 - 711, 2007.

SILVA, C. L., ROSSETTI, D. F. História geológica dos rios da Amazônia. Revista da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. ,p.24 - 26, 2014.

SUPPE, J. Principles of structural geology. New Jersey: Prentice-Hall, 1985.

TEIXEIRA, W. et al. Decifrando a Terra. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008.

VIEIRA, A. F. G. Desenvolvimento e Distribuição de Voçorocas em Manaus (Am): Principais Fatores Controladores e Impactos Urbano-Ambientais. Tese de Doutorado. UFSC: Florianópolis, 2008.

VIEIRA, S.R. & LOMBARDI-NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão da chuva do estado de São Paulo. Bragantia, 54:405-412, 1995.

ANEXO: TABELA COM OS DADOS ESTRUTURAIS OBTIDOS EM NOTAÇÃO
CLAR

Margem esquerda do rio Negro			
Coordenadas 802667,220/9661554,435			
315/85	340/89	234/80	230/89
275/86	238/90	282/75	255/86
290/86	235/84	20/76	267/89
234/85	242/75	192/85	238/85
214/74	328/80	200/85	240/90
312/89	246/84	192/84	243/85
358/85	240/90	200/90	230/80
285/80	245/90	198/80	230/80
355/85	338/80	206/87	230/80
296/80	340/85	206/87	230/80
338/70	232/84	206/87	300/80
214/70	336/90	206/87	245/90
120/84	248/84	206/87	225/85
195/82	278/81	206/87	231/75
260/82	246/85	206/87	253/82
248/90	251/84	206/87	258/78
170/80	245/76	206/87	76/80
312/75	240/80	30/75	23/64
254/78	234/80	177/87	35/60
245/75	238/90	348/75	36/40
182/80	345/80	216/80	264/86
252/84	356/89	304/83	342/90
194/86	335/82	190/80	204/85
178/80	26/89	196/80	194/80
312/85	198/86	170/89	355/86
270/70	207/80	0/80	210/75

Margem direita do rio Negro		
Coordenadas Lat 03°06'49.3" Long 060°10'52.7"		
010/88	240/85	097/70
356/85	326/80	149/74
010/80	320/80	324/74
018/84	258/75	332/85
066/70	255/86	338/85
010/83	058/85	338/80
008/80	342/88	126/82
290/85	059/80	300/82
270/85	058/70	220/84
282/84	070/80	056/82
216/80		