



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

RAFAEL PEREIRA DE LIMA

**SEQUÊNCIAS LACUSTRES PÓS-RIFTE NA SERRA NEGRA (BACIA DE JATOBÁ)
E SERRA DO TONÃ (SUB-BACIA DE TUCANO NORTE): correlações estratigráficas
regionais e estruturais**

Recife

2018

RAFAEL PEREIRA DE LIMA

**SEQUÊNCIAS LACUSTRES PÓS-RIFTE NA SERRA NEGRA (BACIA DE JATOBÁ)
E SERRA DO TONÃ (SUB-BACIA DE TUCANO NORTE): correlações estratigráficas
regionais e estruturais**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geociências.

Área de concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental.

Orientador: Profº. Dr. Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann

Coorientadores: Profº. Dr. Paulo Barros Correia

Dr. Roberto Gusmão de Oliveira

Recife

2018

- L732s Lima, Rafael Pereira de.
Sequências lacustres pós-rifte na Serra Negra (Bacia de Jatobá) e Serra do Tonã (Sub-bacia de Tucano Norte): correlações estratigráficas regionais e estruturais / Rafael Pereira de Lima. – Recife, 2018.
172 folhas, il., figs., gráfs., tabs.,

Orientador: Profº. Dr. Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann.
Coorientadores: Profº. Dr. Paulo Barros Correia.
Dr. Roberto Gusmão de Oliveira.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-graduação em Geociências, 2018.
Inclui Referências e Apêndices.

1. Geociências. 2. Serra Negra. 3. Serra do Tonã. 4. Sedimentos pós-rifte-I. 5. Bacia de Jatobá. 6. Sub-bacia de Tucano Norte. I. Neumann, Virgínio Henrique de Miranda Lopes (Orientador). II. Correia, Paulo Barros (Coorientador). III. Oliveira, Roberto Gusmão de (Coorientador). IV. Título.

RAFAEL PEREIRA DE LIMA

**SEQUÊNCIAS LACUSTRES PÓS-RIFTE NA SERRA NEGRA (BACIA DE JATOBÁ)
E SERRA DO TONÃ (SUB-BACIA DE TUCANO NORTE): correlações estratigráficas
regionais e estruturais**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Geociências da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para a
obtenção do título de doutor em Geociências.

Aprovada em: 30/08/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Lúcia Maria Mafra Valença (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Gelson Luís Fambrini (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Diniz Madruga Filho (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Alex Souza Moraes (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

“Aos meus amados pais, Claudemiro e Elizabete; e a minha querida e dedicada esposa, Joélicia Lima, maiores incentivadores deste projeto.”

AGRADECIMENTOS

A Deus que me proporcionou saúde, sabedoria e força para elaborar esta pesquisa e superar todas as barreiras surgidas ao longo desse percurso.

A minha amada esposa, Joélicia Lima, por todo suporte e incentivo para a realização deste trabalho.

A minha família, em especial aos meus pais: Claudemiro e Elizabete; e irmãos: Cláudia e Júnior por todo apoio e incentivo durante a elaboração desta pesquisa.

À Universidade Federal de Pernambuco e ao Programa de Pós-graduação em Geociências por todos os conhecimentos adquiridos.

Ao meu orientador Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann por todo apoio, amizade e ensinamentos prestados.

Aos meus coorientadores Paulo Barros Correia e Roberto Gusmão de Oliveira pela importante contribuição e participação nas etapas deste trabalho.

A todos os professores do PPGEOC pela experiência e conhecimento transmitido.

Aos colegas Ana Cláudia da Silveira, Marcos Daniel França de Souza e Dunalson Rocha pelo auxílio, contribuição e amizade.

Ao amigo Alex Moraes por todo auxílio e companheirismo.

Ao amigo Hugo Ricardo pelo incentivo e companheirismo ao longo dessa jornada.

Aos membros da banca examinadora, que aceitaram o convite para avaliar e colaborar com esta pesquisa;

Aos funcionários da Secretária do Programa de Pós-Graduação em Geociências, em especial Krishnamurti, por toda atenção e ajuda prestada nos procedimentos relativos aos assuntos institucionais.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

RESUMO

Neste trabalho foram estudados e correlacionados os sedimentos pós-rifte das Formações Marizal e Crato, que estão presentes nas serras Negra (Bacia de Jatobá) e do Tonã (Sub-bacia de Tucano Norte). Essa correlação teve o objetivo de avaliar o paleoambiente no qual se depositaram esses sedimentos e a possível existência de um único paleolago Aptiano conectando as duas bacias. Tentou-se ainda entender a influência do comportamento embasamento cristalino/bacia sedimentar (estágio pós-rifte-I), por meio de dados geofísicos nestas duas áreas próximas de bordas falhadas. O estudo foi realizado com mapeamentos de campo e estudos de: afloramentos; perfis de poços estratigráficos; análises petrográficas em microscópio óptico e catodoluminescência; análises geoquímicas de isótopos estáveis e semi-quantitativa de elementos maiores; e por fim, dados gravimétricos. As análises dos dados na Serra Negra permitiram individualizar a Formação Marizal em duas unidades relacionadas à Associação de Fácies Fluvial (AFF), separadas por um evento lacustre, assim como, também ocorre na Serra do Tonã. Pôde-se ainda subdividir a AFF em seis (06) litofácies. Já a Formação Crato, na Serra Negra, foi dividida em duas associações de fácies sequenciais, uma correspondente a Associação de Fácies Lacustre Terrígena (AFLT) e outra a Associação de Fácies Lacustre Carbonática (AFLC), subdivididas em três (03) litofácies diferentes para AFLT, e sete (07) litofácies diferentes para AFLC. Na Serra do Tonã, após a revisão da sequência lacustre, foram encontradas mais cinco (05) novas litofácies: Arenito calcífero, Arenito com cimento de óxido e hidróxido de ferro, Ritmitos Argilo-Carbonáticos, Calcário com siliciclásticos e Calcário peloidal. Na análise semi-quantitativa de elementos maiores ficou constatado, através da Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento Hierárquico, que existem dois grandes grupos distintos, separados pela forte semelhança química de suas litologias, independentes da formação ou idade associada. Através dos dados gravimétricos foram construídos modelos bi e tridimensionais, onde foi evidenciada a presença depocentros bastante profundos, *grabens* e *semigrabens* nas áreas onde estão inseridas as serras estudadas. Essas estruturas justificariam tanto a formação de paleolagos Aptianos, como o seu soerguimento apenas em áreas restritas das bacias.

Palavras-chave: Serra Negra. Serra do Tonã. Sedimentos Pós-rifte-I. Bacia de Jatobá. Sub-bacia de Tucano Norte.

ABSTRACT

In this work the post-rift sediments of the Marizal and Crato Formations, which are present in the Serra Negra (Jatobá Basin) and the Tonã (Tucano Norte Sub-basin) hills, were studied and correlated. This correlation had the objective of evaluating the paleoenvironment in which these sediments were deposited and the possible existence of a unique Aptiano paleolake connecting the two basins. It was also tried to understand the influence of the behavior of crystalline basement/sedimentary basin (post-rift-I stage), by means of geophysical data in these two areas near faulted edges of basins. The study was carried out with field mappings and studies of: outcrops; stratigraphic well profiles; petrographic analyzes in optical microscope and cathodoluminescence; Stable isotope and semi-quantitative geochemical analyzes of larger elements; and finally, gravimetric data. The analysis of the data in the Serra Negra allowed to individualize the Marizal Formation in two units related to the Fluvial Facies Association (AFF), separated by a lacustrine event, as well as, also occurs in the Serra do Tonã. It was also possible to subdivide the AFF into six (06) lithofacies. The Crato Formation, in Serra Negra, was divided in two associations of sequential facies, one corresponding to the association of terrigenous lacustrine facies (AFLT) and another one the association of lacustrine facies (AFLC), subdivided into three (03) different lithofacies AFLT, and seven (07) different lithofacies for AFLC. In Serra do Tonã, after the revision of the lacustrine sequence, five (05) new lithofacies were found: Calciferous sandstone, Sandstone with iron oxide/hydroxide cement, clay-carbonate rhythms, Limestone with siliciclastics and Limestone with pellets. In the semi-quantitative analysis of larger elements, it was verified, through the analysis of principal components and hierarchical grouping analysis, that there are two large distinct groups, separated by the strong chemical similarity of their lithologies, independent of the formation or associated age. Through the gravimetric data, bi and three-dimensional models were constructed, where it was evidenced the presence of very deep depocentros, *grabens* and *semigrabens* in the areas where the studied hills are inserted. These structures would justify both the formation of Aptian paleolakes and their uplift only in restricted areas of the basins.

Key Words: Serra Negra. Serra do Tonã. Post-rift-I Sediment. Jatobá Basin. Tucano Norte Sub-basin.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Área ocupada pelas Sub-bacia de Tucano Norte e Bacia de Jatobá dentre as bacias brasileiras. (Fonte:ANP).	20
Figura 2 –	Evolução dos esforços distensivos durante a formação do rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá (modificado de Magnavita, 1992). A. Direção principal dos esforços distensivos E-W, durante o Barresiano (~130 Ma); B. direção dos esforços distensivos NW-SE, durante o Aptiano (~107 Ma).	21
Figura 3 –	Visão tridimensional do arcabouço estrutural da Bacia de Jatobá e Tucano Norte, baseado em dados gravimétricos (COSTA et al., 2003).	22
Figura 4 –	Acesso às áreas de estudo feito pela BR-232, saindo de Recife-PE. Os retângulos vermelhos representam as áreas de estudo (GOOGLE, 2017).	24
Figura 5 –	Localização do Rifte abortado Reconcavo-Tucano-Jatobá, geologia e modelo de elevação digital (SRTM-Shuttle Radar Topography Mission). Adaptado de Milani e Davison (1988) e Freitas et al. (2017).	32
Figura 6 –	Arquitetura e estruturas do embasamento do Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá, modificado de Milani e Davison (1988).	35
Figura 7 –	Estrutura Tectônica dos Domínios da Província da Borborema – (Modificado de Brito Neves et al., 2016).	37
Figura 8 –	Coluna estratigráfica da Bacia de Jatobá traduzida de Neumann e Rocha (2014). Em destaque a Sequência pós rifte-I.	40
Figura 9 –	Imagem de satélite da Serra Negra, Bacia de Jatobá, com a localização dos poços estudados (GOOGLE EARTH, 2017).	49
Figura 10 –	Perfil do Poço 2-JB-SN-2A-PE abrangendo parte dos litotipos da Formação Romualdo e Crato, encontrados próximo ao topo da Serra Negra, Bacia de Jatobá.	51

Figura 11 –	Imagem de satélite (LANDSAT) da Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte, com a localização dos poços estudados. Modificado de Varejão et al. (2016).	52
Figura 12 –	Correlação do perfil vertical do Rio Batateira, Bacia do Araripe (ASSINE et al., 2014) e o perfil do poço 2-TN-ST-BA na Serra do Tonã, nas proximidades de Salgado do Melão, Bacia de Tucano Norte (modificado de Varejão et al., 2016).	54
Figura 13 –	Perfil esquemático do poço 2-JSN-01-PE realizado na Serra Negra, Bacia de Jatobá. Modificado de Rocha (2011).	56
Figuras 14 –	A e B- Fotomicrografias com estruturas do tipo loop-bedding nos cacários laminados aptianos da bacia do Jatobá. A equidistância das linhas pretas da escala é igual a 1 mm; C – Fratura preenchida por pirita framboidal; D- Microfalha observada com auxílio da catoluminescência (LIMA et al., 2015).	57
Figura 15 –	Variação isotópica nas unidades carbonáticas do poço 2-JSN-01-PE (ROCHA et al., 2016).	58
Figura 16 –	Mapa Geológico da área de estudo na Bacia de Jatobá.	61
Figura 17 –	Poço estratigráfico 2-JB-SN-2B-PE destacando as formações Marizal e Crato na Serra Negra, Bacia de Jatobá	62
Figura 18 –	Perfil do Poço 2-JB-SN-2B-PE com a descrição da Associação de Fácies Fluvial (AFF).	63
Figura 19 –	Fotomicrografia da Lâmina JB-13 correspondente aos arenitos da Litofácies AFm (Arenito fino, de laminação plano-paralela). A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência.	66
Figura 20 –	Fotomicrografia da lâmina JB-14 correspondentes aos arenitos da Litofácies AFc (Arenito fino calcífero). A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência.	67

Figura 21 –	Fotomicrografia da lâmina JB-15 correspondentes aos arenitos da Litofácies AFc (Arenito fino calcífero). A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência.	68
Figura 22 –	Visão geral dos arenitos da Formação Marizal da Litofácies AMc, no sopé da Serra Negra.	70
Figura 23 –	Afloramento de arenitos fluviais da Formação Marizal, Litofácies AMc, apresentando estratificações cruzadas acanaladas, próximo ao sopé da Serra Negra.	70
Figura 24 –	Estrutura de chama observada na Formação Marizal, Litofácies AMc, no contato do arenito com uma camada argilosa. no sopé da Serra Negra, Bacia de Jatobá.	71
Figura 25 –	Arenitos da Fácies AMc, Formação Marizal, apresentando níveis ferruginosos na base das estratificações cruzadas acanaladas (indicado pela seta vermelha).	72
Figura 26 –	Arenito da Litofácies AMc, Formação Marizal, apresentando bandas de deformação com brechas tectônicas, nas proximidades da Serra Negra, Bacia de Jatobá.	72
Figura 27 –	Perfil litológico do poço 2-JB-SN-2B-PE com detalhamento da Associação de Fácies Lacustres Terrígena - Serra Negra, Bacia de Jatobá.	74
Figura 28 –	Perfil do Poço 2-JB-SN-2B-PE e suas associações de fácies, com destaque para a associação de fácies Lacustre carbonática - Serra Negra, Bacia de Jatobá.	75
Figura 29 –	Poço 2-JB-SN-2A-PE e suas associações de fácies, com destaque para a associação de fácies Lacustre carbonática - Serra Negra, Bacia de Jatobá.	76
Figura 30 –	Fotomicrografia da lâmina JB-7 correspondente as litofácies AFL (Arenito fino calcífero laminado). A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência.	78
Figura 31 –	Fotomicrografia da Lâmina JB-9 - Co (Calcário com ostracodes) composto por ostracodes (seta verde) e esteiras algálicas (seta azul)	80

	dispersos numa matriz micrítica. A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência.	
Figura 32 –	Fotomicrografia da Lâmina JB-8 correspondente a litofácies Cp (Calcário peloidal) composto por peloides (seta verde) e esteiras algálicas (setas azuis). Os peloides estão achatados e orientados na direção das esteiras algálicas. . A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência.	81
Figura 33 –	Fotomicrografia da lâminas JB-10 correspondente a litofácies Cp (Calcário peloidal) composto por peloides (setas verdes) e esteiras algálicas (setas azuis). Os peloides estão achatados e orientados na direção das esteiras algálicas. . A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência.	82
Figura 34 –	Fotomicrografia da lâminas JB-11 correspondente a litofácies Cp (Calcário peloidal) composto por peloides (setas verdes) e esteiras algálicas (setas azuis). Os peloides estão achatados e orientados na direção das esteiras algálicas. . A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência.	83
Figura 35 –	Fotomicrografia da lâmina JB-12 correspondente a litofácies Cp (Calcário peloidal) composto por peloides e esteiras algálicas. Observa-se a presença de fratura preenchida por calcita fibrosa (setas verdes). A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência.	84
Figura 36 –	Fotomicrografia da lâmina JB-3 correspondente a litofácies Cm (Calcário Maciço). Presença de microcristais de dolomita e bioclastos (seta verde) dispersos na matriz. A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência.	86
Figura 37 –	Fotomicrografia da lâmina JB-4 correspondente a litofácies Cm (Calcário Maciço). Presença de microcristais de dolomita dispersos na matriz (seta verde). A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência.	87
Figura 38 –	Fotomicrografia da lâmina JB-1 correspondente a litofácies Cs (Calcário com siliciclásticos). Observa-se alguns grãos de quartzo, subangulosos, dispersos na matriz micrítica (seta verde). A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência.	88

Figura 39 –	Fotomicrografia da lâmina JB-2 correspondente a litofácies Cs (Calcário com siliciclásticos). Observa-se alguns grãos de quartzo, subangulosos, dispersos na matriz micrítica (seta verde). A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência.	89
Figuras 40 –	Calcários laminados lacustres Aptianos da Litofácies Cl, Formação Crato, aflorando em um corte de estrada na Serra Negra, Bacia de Jatobá.	90
Figura 41 –	A- Calcário laminado (Litofácies Cl) em afloramento da Formação Crato, Serra Negra, Bacia de Jatobá , mostrando em detalhe, as alternâncias de coloração entre suas lâminas. B- Calcário laminado da Formação Crato apresentando fratura preenchida por calcita recristalizada.	91
Figura 42 –	Fotomicrografia da lâmina JB-6 correspondente a litofácies Cl (Calcário Laminado). Na porção inferior da lâmina é observada uma ondulação (seta verde) provocada por microconcreção (efeito diagenético). A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência.	92
Figura 43 –	Correlação de poço 2-JB-SN-2A-PE com as amostras de variação isotópica de ^{18}O e ^{13}C – Serra Negra, Bacia de Jatobá.	95
Figura 44 –	Correlação do poço 2-JB-SN-2B-PE com as amostras de variação isotópica de ^{18}O e ^{13}C – Serra Negra, Bacia de Jatobá.	96
Figura 45 –	Gráficos com os Teores composicionais dos elementos maiores das amostras dos poços 2-JB-SN-2A-PE e 2-JB-SN-2B-PE - Serra Negra, Bacia de Jatobá.	98
Figura 46 –	Gráfico da variância total do sistema explicadas por cada componente.	99
Figura 47 –	Gráfico obtido por Análise de Componentes Principais.	99
Figura 48 –	Dendrograma obtido pela Análise de Agrupamentos Hierárquicos.	101
Figura 49 –	Resultados dos métodos estatísticos integrados com os demais parâmetros.	103
Figura 50 –	Perfil estratigráfico do Poço TN-ST-4-BA – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A cota topográfica do topo do poço é de 515m em relação ao nível do mar.	106

Figura 51 –	Perfil estratigráfico do Poço 2-TN-ST-3A-BA – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A cota topográfica do topo do poço é de 524m em relação ao nível do mar.	107
Figura 52 –	Perfil estratigráfico do Poço TN-ST-3B-BA – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A cota topográfica do topo do poço é de 461m em relação ao nível do mar.	108
Figura 53 –	Mapa Geológico destacando, em parte, as Formações Marizal e Crato, encontradas na Serra do Tonã, próximo a borda de falha da Sub-bacia de Tucano Norte. Revisado e modificado de Souza (2015).	109
Figura 54 –	Curvas isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ do sistema lacustre da Serra do Tonã, baseado no furo 2-TN-ST-03a-BA (SILVEIRA et al., 2014).	110
Figura 55 –	Amostra de mão de um calcário laminado parcialmente intemperizado da Serra do Tonã, Sub-Bacia de Tucano Norte. Ao lado sua representação esquemática.	111
Figura 56 –	Interpretação e perfil estratigráfico relativo a afloramento da sequência carbonática do topo da Serra do Tonã. Placas carbonáticas ocorrem em meio a material bastante intemperizado sobreposto a intervalo siltico-argiloso de composição carbonática. Modificado de Souza (2015).	112
Figura 57 –	Porção estudada do poço 2-TN-ST-3A-BA em detalhe, com as litofácies observadas na Formação Crato e a localização das lâminas petrografias. – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte.	114
Figura 58 –	Perfil do Poço TN-ST-4-BA com destaca para a porção pertencente à Formação Crato na Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte.	115
Figura 59 –	Fotomicrografia da lâmina L-1 representando a Litofácies Aac (Arenito Calcífero) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nicóis cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100 μm .	119
Figura 60 –	Fotomicrografia da lâmina L-9 representando a Litofácies Aac (Arenito Calcífero) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nicóis cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100 μm .	120

Figura 61 –	Fotomicrografia lâmina L-10 representando a Litofácies Aoa (Arenito com cimento de óxido e hidróxido de ferro) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.	121
Figura 62 –	Fotomicrografia da lâmina L-11 representando a Litofácies Aoa (Arenito com cimento de óxido e hidróxido de ferro). O Cimento carbonático está representado pelos pontos vermelhos, enquanto os verdes representam quartzo metamórfico. – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.	122
Figura 63 –	Fotomicrografia da lâmina L-12 representando a Litofácies Aoa (Arenito com cimento de óxido e hidróxido de ferro) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. Pontos azuis brilhantes representam feldspatos, enquanto os vermelhos, cimento carbonático. A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.	123
Figura 64 –	Fotomicrografia da lâmina L-8 representando a Litofácies Cm (Calcário maciço) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nicois paralelos e B- Nicois cruzados. Escala = 100µm.	124
Figura 65 –	Fotomicrografia da lâmina L-7 representando a Litofácies Cl (Calcário laminado) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.	125
Figura 66 –	Fotomicrografia da lâmina L-4 representando a Litofácies Cp (Calcário peloidal) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nicois paralelos e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.	126
Figura 67 –	Fotomicrografia da lâmina L-2 representando a Litofácies Cs (Calcário com siliciclásticos). Presença de muscovita (seta verde) e quartzo (seta vermelha) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.	127
Figura 68 –	Fotomicrografia da lâmina L-3 representando a Litofácies Cs (Calcário com siliciclásticos). As setas verdes representam microfraturas nos calcários – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.	128
Figura 69 –	Anomalia gravimétrica Bouguer da área de estudo da Bacia de Jatobá. Os dados foram interpolados em uma malha de 0,5 x 0,5 km pelo método de mínima curvatura.	132

Figura 70 –	Anomalia gravimétrica Bouguer da área de estudo da Sub-bacia de Tucano Norte. Os dados foram interpolados em uma malha de 0,5 x 0,5km pelo método de mínima curvatura.	133
Figura 71 –	A – Mapa de Campo Magnético Anômalo (CMA) da área de estudo da Bacia de Jatobá; B- Mapa de primeira derivada vertical do CMA da área de estudo da Bacia de Jatobá; C- Mapa de redução ao polo do CMA da área de estudo da Bacia de Jatobá. A linha preta contínua representa parte da Zona de Cisalhamento Pernambuco.	134
Figura 72 –	A- Mapa de anomalia Bouguer Regional da área de estudo da Bacia de Jatobá; B- Mapa de anomalia Bouguer Residual da área de estudo da Bacia de Jatobá. A linha contínua representa uma zona de cisalhamento e as linhas com pequenos traços transversais representam falhas e o sentido do seu mergulho.	136
Figura 73 –	A- Mapa Bouguer Regional da área de estudo da Sub-bacia de Tucano Norte; B- Mapa Bouguer Residual da área de estudo da Sub-bacia de Tucano Norte. As linhas contínuas representam zonas de cisalhamento e as linhas com pequenos traços transversais representam falhas e o sentido do seu mergulho.	137
Figura 74 –	Mapa de superfície de tendência da anomalia Bouguer da região de estudos da Bacia de Jatobá, com a localização dos perfis selecionados para a modelagem 2D.	140
Figura 75 –	Mapa de superfície de tendência da anomalia Bouguer da região de estudos da Sub-bacia de Tucano Norte, com a localização dos perfis selecionados para a modelagem 2D.	141
Figura 76 –	Perfis 2-D de densidade das Seções 11 e 12 (Bacia de Jatobá e Sub-bacia de Tucano Norte, respectivamente) modelados pelo método direto, extraídos a partir dos mapas de superfícies de tendência da anomalia Bouguer das regiões de estudos.	142

Figura 77 –	Perfis 2D de profundidade realizados em: A- Bacia de Jatobá e B- Sub-bacia de Tucano Norte.	143
Figura 78 –	Arcabouço do embasamento cristalino e espessuras dos sedimentos da Bacia de Jatobá, calculadas através da modelagem 2D. A área tracejada em vermelho representa um <i>horst</i> dentro da bacia.	144
Figura 79 –	Arcabouço do embasamento cristalino e espessuras dos sedimentos da Sub-bacia de Tucano Norte, calculadas a partir da modelagem 2D. A Área tracejada em vermelho representa um <i>semigraben</i> dentro da bacia.	145
Figura 80 –	Arcabouço tridimensional da área de estudo da Bacia de Jatobá. A modelagem indica que a bacia tem a forma de <i>semigraben</i> , com presença de pequenos <i>horsts</i> , uma borda falhada a noroeste e um rejeito na área de estudo de aproximadamente 2800 metros.	146
Figura 81 –	Arcabouço tridimensional da área de estudo da Sub-bacia de Tucano Norte. A modelagem indica que, assim como a Bacia de Jatobá, presença de pequenos <i>horsts</i> , forma de <i>semigraben</i> , porém com a borda falhada a oeste e rejeito na área de estudo de aproximadamente 5100 metros.	147
Figura 82 –	Falhas em afloramento, da Formação Romualdo na Serra Negra, que refletem estruturas regionais da Bacia do Jatobá (LIMA et al., 2015).	148
Figura 83 –	Modelo geológico construído a partir de modelos de densidade, perfil sísmico e de mapeamento geológico da região de estudos próximo à falha de borda, Serra Negra, Bacia de Jatobá.	149
Figura 84 –	Perfil geológico baseado no modelo tridimensional gravimétrico da área de estudo na Sub-bacia de Tucano Norte.	150
Figura 85 –	Modelo de Reconstrução paleogeográfica das bacias de Tucano Norte e Jatobá, ilustrando os paleolagos aptianos das formações Marizal e Crato.	152
Figura 86 –	Correlação dos sedimentos pós-rifte-I através de poços estratigráficos entre a Serra Negra (Bacia de Jatobá), à esquerda da figura; e da Serra do Tonã (Sub-bacia de Tucano Norte), à direita da figura.	154

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Poços estratigráficos estudados	28
Tabela 2 –	Resumo das litofácies aptianas encontradas nos poços 2-JB-SN-02A-PE e 2-JB-SN-02B-PE.	64
Tabela 3 –	Resultados da análise isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$.	93
Tabela 4 –	Teor composicional dos elementos maiores das amostras dos poços 2-JB-SN-2A-PE e 2-JB-SN-2B-PE - Serra Negra, Bacia de Jatobá.	97
Tabela 5 –	Resumo das litofácies observadas na Formação Crato, encontradas nos poço 2-TN-ST-3A-BA – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte.	113

SUMÁRIO

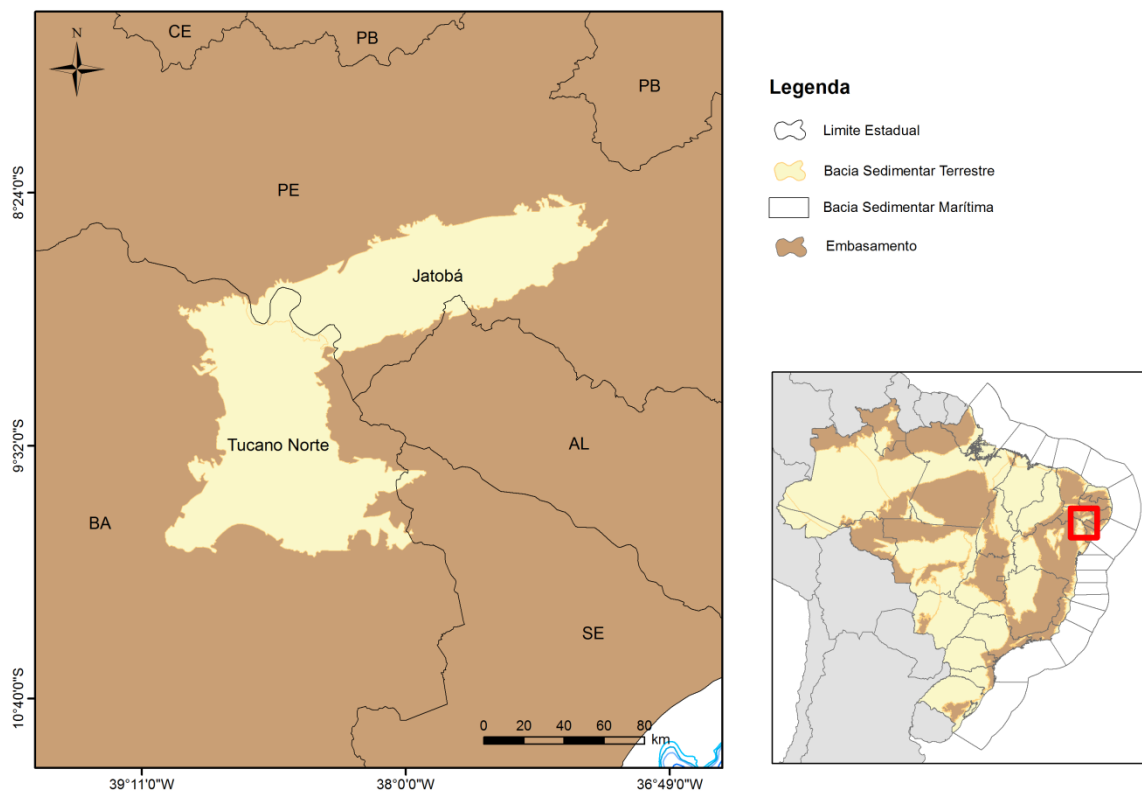
1	INTRODUÇÃO	20
1.1	LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDOS	23
1.2	OBJETIVOS	25
1.2.1	Objetivo Geral	25
1.2.2	Objetivos Específicos	25
1.3	JUSTIFICATIVA	26
2	MATERIAL E MÉTODOS	27
3	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	32
3.1	SISTEMA RIFTE RECÔNCAVO-TUCANO-JATOBA	32
3.1.2	Estrutura Geral do Rifte	34
3.2	PROVÍNCIA BORBOREMA	36
3.2.1	Unidades Litoestratigráficas Pré-Cambrianas	36
3.2.2	Subprovíncia Meridional	37
3.3	BACIA DE JATOBÁ E SUB-BACIA DE TUCANO NORTE	39
3.3.1	Estratigrafia	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES – SERRA NEGRA	55
4.1	SUPERSEQUÊNCIA PÓS-RIFTE RELACIONADA A SERRA NEGRA, BACIA DE JATOBÁ - CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL	59
4.1.1	A Formação Marizal na Serra Negra – Bacia de Jatobá	60
4.1.2	Formação Crato na Serra Negra – Bacia de Jatobá	73
4.1.3	Isótopos Estáveis	93
4.1.4	Análise Semi-Quantitativa de Elementos Maiores Através de Análise	97

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES – SERRA DO TONÃ	104
5.1	FORMAÇÃO CRATO NA SERRA DO TONÃ - SUB-BACIA DE TUCANO NORTE	111
6	INTERPRETAÇÃO DE DADOS GRAVIMÉTRICOS AEROMAGNETOMÉTRICOS DA BACIA DE JATOBÁ E SUB-BACIA DE TUCANO NORTE	129
7	CONCLUSÕES	151
	REFERÊNCIAS	158
	APÊNDICE A - DADOS DA PETROGRAFIADAS AMOSTRAS DAS ROCHAS DA ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES FLUVIAL (AFF) OBTIDAS ATRAVÉS DO POÇO ESTRATIGRÁFICO 2-JB-SN-2B-PE	164
	APÊNDICE B - ANÁLISE MICROSCÓPICA DAS AMOSTRAS DAS ROCHAS DA ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES LACUSTRE TERRÍGENA (AFLT) OBTIDAS ATRAVÉS DO POÇO ESTRATIGRÁFICO 2-JB-SN-2B-PE.	165
	APÊNDICE C - ANÁLISE MICROSCÓPICA DAS AMOSTRAS DAS ROCHAS DA ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES LACUSTRE CARBONÁTICA (AFLC) OBTIDAS ATRAVÉS DOS POÇOS ESTRATIGRÁFICOS 2-JB-SN-2A-PE E 2-JB-SN-2B-PE - SERRA NEGRA, BACIA DE JATOBÁ.	166
	APÊNDICE D – ANÁLISE MICROSCÓPICA DAS AMOSTRAS DA ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES LACUSTRE TERRÍGENA (AFLT) ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES LACUSTRE CARBONÁTICA (AFLC) OBTIDAS ATRAVÉS DO POÇO ESTRATIGRÁFICO 2-TN-ST-3A-BA – SERRA DO TONÃ, SUB-BACIA DE TUCANO NORTE.	170

1 INTRODUÇÃO

A Sub-bacia de Tucano Norte e a Bacia de Jatobá, juntas, ocupam uma área de cerca de 13.800 km², abrangem a extremidade nordeste do Estado da Bahia, a porção centro-sul do Estado de Pernambuco e uma pequena porção oeste dos estados de Alagoas e Sergipe (Figura 1). Representam a extremidade setentrional do Sistema Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá, estando sua origem relacionada à extensão crustal que fragmentou o Supercontinente Gondwana, dando origem ao Oceano Atlântico.

Figura 1 - Área ocupada pelas Sub-bacia de Tucano Norte e Bacia de Jatobá dentre as bacias brasileiras.

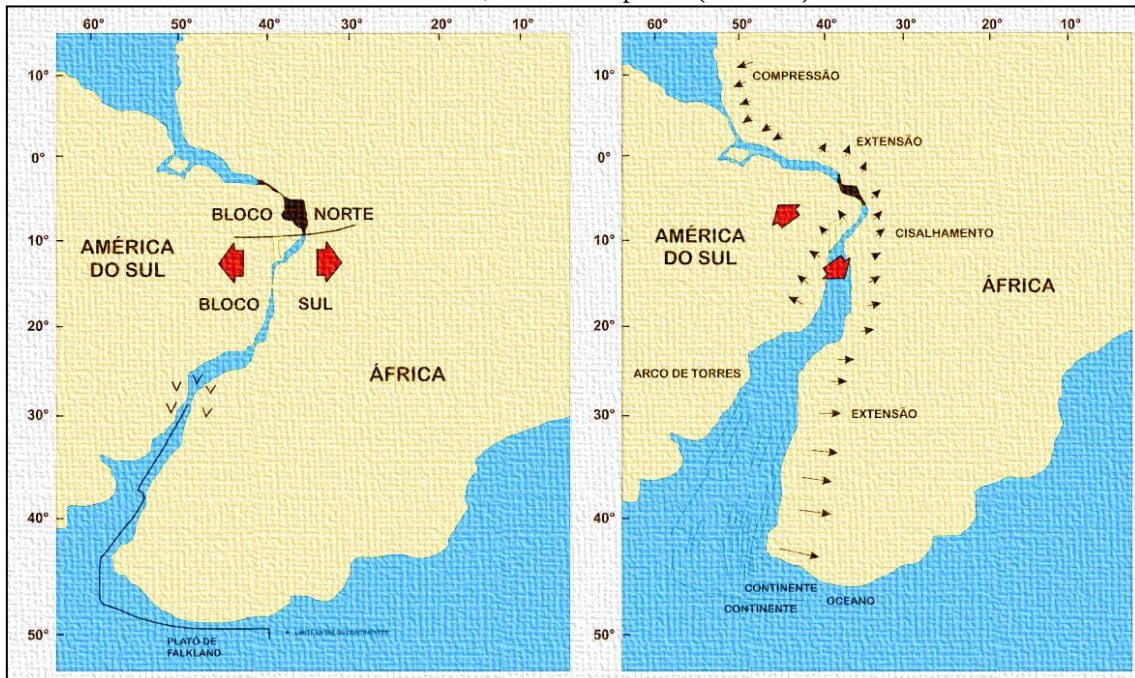


Fonte: Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Ao contrário das bacias da margem continental, que evoluíram ao estágio de margem passiva, as bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá constituem um ramo do Rifte Atlântico-Sul abortado no Eoaptiano (COSTA et al., 2007) (Figura 2). A configuração estrutural de ambas as bacias reflete a atuação dos esforços extensionais em um embasamento heterogêneo (MAGNAVITA, 1996). A mudança no sentido de abertura do rifte, que passa de S-N, no Tucano Norte, para SW-NE, na Bacia de Jatobá, é talvez o exemplo mais explícito do

controle exercido por estruturas pretéritas do embasamento. Esta inflexão está condicionada à Zona de Cisalhamento Pernambuco, cuja reativação durante o Eocretáceo deu origem à Falha de Ibimirim, limite norte da Bacia de Jatobá (SANTOS et al., 1990; COSTA et al., 2003).

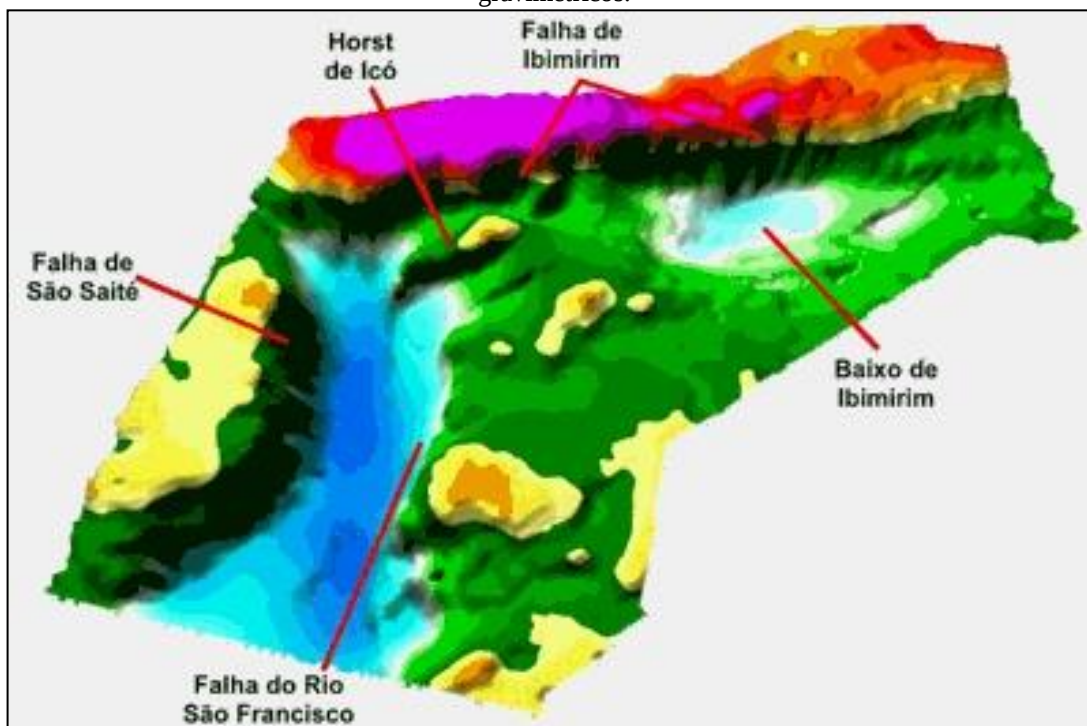
Figura 2 - Evolução dos esforços distensivos durante a formação do rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá. A. Direção principal dos esforços distensivos E-W, durante o Barresiano (~130 Ma); B. direção dos esforços distensivos NW-SE, durante o Aptiano (~107 Ma).



Fonte: Modificado de Magnavita (1992).

Tanto a Sub-bacia de Tucano Norte quanto a Bacia de Jatobá apresentam uma geometria típica de meio-gráben, com falhas de borda a oeste e noroeste, respectivamente. Falhas normais planares acomodam o mergulho das camadas em direção aos depocentros, a partir da margem flexural. Na Bacia de Jatobá, estas falhas são sintéticas em relação à falha de borda e possuem uma orientação geral N70°E. Na Sub-bacia de Tucano Norte se registra uma maior complexidade estrutural, manifestada por falhas com orientações NW-SE, N-S e NE-SW (SANTOS et al., 1990). Ao sul, seu limite com o Tucano Central envolve as falhas de transferência de Caritá e Jeremoabo que, junto ao Alto de Vaza-Barris, constituem uma zona de acomodação ao longo da qual ocorre a inversão na assimetria dos meio-grábens (MAGNAVITA et al., 2003). As profundidades estimadas do embasamento nos baixos de Salgado do Melão, Sub-bacia de Tucano Norte, e Ibimirim, Bacia de Jatobá, são superiores, respectivamente, a 7.000 m e 3.000 m (MAGNAVITA et al., 2003; COSTA et al., 2003) (Figura 3).

Figura 3 - Visão tridimensional do arcabouço estrutural da Bacia de Jatobá e Tucano Norte, baseado em dados gravimétricos.



Fonte: Costa et al. (2003).

No preenchimento da Bacia de Jatobá, a sequência pós-rifte (idade aptiana) apresenta características semelhantes aos de mesma litologia e idade do Araripe (NEUMANN; CABRERA, 1999; NEUMANN et al., 2010) e da Serra do Tonã na Sub-bacia de Tucano Norte (BUENO, 1996) o que levou Rocha e Leite (1999) a sugerirem que a bacia do Jatobá possui uma estratigrafia semelhante à do Araripe e, por isso, definiram cinco tectonossequências para a mesma: a) Tectonossequência Beta ou Paleozóica, b) Tectonossequência Pré-Rifte, c) Tectonossequência Rifte, c) Tectonossequência Sin-Rifte e por último e) Tectonossequência Pós-Rifte. As tectonossequências citadas serão tratadas no Capítulo 3 desta tese.

Depósitos sedimentares de idade aptiana são bastante estudados, em todo mundo, por estarem imersos em uma janela de tempo na qual se teve a maior geração de hidrocarbonetos já registrada. Foi nesse espaço de tempo que na Bacia de Jatobá se depositaram os sedimentos das Formações Marizal, Crato e Romualdo, sendo que apenas as duas primeiras formações podem ser encontradas na Sub-bacia de Tucano Norte. Portanto, há a possibilidade de uma correlação minuciosa dos sedimentos aptianos envolvidos nestas duas bacias. Por estes motivos, as duas unidades estratigráficas, Marizal e Crato, foram tratadas nesta tese. Estas

formações representam uma fase do sistema flúvio-deltáico-lacustre que se desenvolveu em Tucano Norte e Jatobá, durante o estágio tectônico Pós-rifte-I.

A Formação Marizal, na Serra Negra, apresenta todas as características análogas de um bom reservatório de hidrocarbonetos, como boa porosidade, baixo grau de litificação, pouca oxidação e ainda, em sua totalidade, os sedimentos possuem uma seleção razoavelmente boa. Na Serra do Tonã (Sub-bacia de Tucano Norte) ocorre uma camada rica em folhelhos escuros com níveis de calcários peloidais e laminados, semelhante à “Camada Batateiras” da Formação Barbalha da Bacia do Araripe. Essa camada foi denominada informalmente por Varejão et al. (2016) de camada “amargosa” e representa um sistema lacustre, sendo a primeira fase lacustre do estágio tectônico pós-rifte da bacia de Tucano Norte.

A Formação Crato é correlacionada a várias outras formações de grande importância para a indústria do petróleo e estudos de análogos no Brasil, como por exemplo, nos campos de Atum e Xaréu da Bacia do Ceará (Calcário Trairi da Formação Paracuru), onde é tanto rocha geradora quanto reservatório. Na Serra do Tonã está representada por calcissiltitos e calcilutitosossilíferos de coloração creme a cinza claro, intercalados por arenitos e folhelhos. Na Serra Negra, predominam calcários laminados de granulação fina, com as lamina variando sua coloração entre o bege-claro até o marrom, sendo observado em poços estratigráficos as litofácies de ritmitos argilo-carbonáticos e arenitos.

Pelo conjunto de características mencionadas, verificou-se a importância da evolução no conhecimento geológico, enfatizando a parte estratigráfica e sedimentológica destas duas formações pós-rifte. Assim, foi realizado o estudo das sequências aptianas entre as Serras do Tonã (Sub-bacia de Tucano Norte) e Negra (Bacia de Jatobá), de onde foram coletados e estudados cinco (5) furos testemunhos.

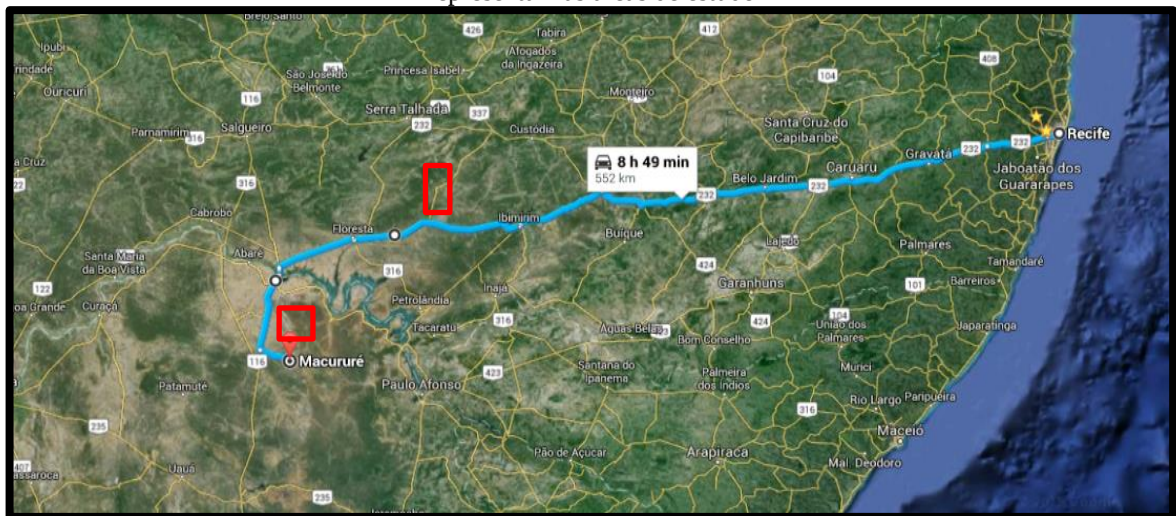
1.1 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

A Bacia de Jatobá está localizada predominantemente na porção centro-sul do Estado de Pernambuco, com pequenas porções no Estado de Alagoas e Bahia. Está situada numa região conhecida como Sertão do Moxotó e ocupa uma área de aproximadamente 5.000 Km² com orientação NE-SW. Já a Sub-bacia de Tucano Norte possui cerca de 8.800 km² e uma orientação geral N-S. O seu limite com a Bacia de Jatobá é dado pela Falha de São Francisco, a nordeste.

O acesso às áreas de estudo pode ser feito pela BR-232 (Figura 4), saindo de Recife-PE até a cidade de Cruzeiro do Nordeste-PE, em seguida toma-se a BR-110 sentido Ibimirim-PE. Após a cidade de Ibimirim, deve-se seguir pela PE-360 até Belém de São Francisco, divisa entre os estados da Bahia e Pernambuco.

Na estrada PE-360, entre os municípios de Ibimirim e Floresta, encontra-se o acesso mais próximo à área de estudo na Bacia de Jatobá. Para chegar à próxima área de estudo, na Sub-bacia de Tucano Norte, deve-se atravessar a ponte que liga os dois estados, Bahia e Pernambuco. Após a divisa, segue-se pela rodovia BA-316 até a cidade de Macururé-BA, onde se tem o acesso à segunda área.

Figura 4 - Acesso às áreas de estudo feito pela BR-232, saindo de Recife-PE. Os retângulos vermelhos representam as áreas de estudo



Fonte: Google (2017).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi estudar e correlacionar os sedimentos das Formações Marizal e Crato nas Serras Negra e do Tonã. Trata-se de dois morros-testemunhos do Aptiano, presentes na Bacia de Jatobá e Sub-bacia de Tucano Norte, respectivamente. Tentou-se ainda entender a influência do comportamento do embasamento cristalino/bacia sedimentar (estágio pós-rifte-I) nestas duas áreas que estão próximas de bordas falhadas.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Compilar os dados existentes sobre a bacia e sobre os depósitos em questão, como os eventos tectônicos envolvidos no preenchimento sedimentar e no processo de deformação das unidades estudadas.
2. Confeccionar mapas geológicos das áreas envolvidas.
3. Selecionar e estudar poços do Projeto Santana (estocados na Litoteca do DNPM-4º Distrito-Recife) e da FINEP (LAGESE-DGEO-UFPE).
4. Descrever afloramentos, nas circunvizinhanças dos furos.
5. Descrever as características dos sistemas lacustres em cada bacia.
6. Obter perfis detalhados com amostragem sistemática dos furos de sondagem para serem realizadas as análises geoquímicas e confecção de lâminas delgadas.
7. Realizar estudo petrográfico das rochas por meio de Microscópica Óptica e Catodoluminescência dos poços da Serra Negra e Serra do Tonã.
8. Realizar caracterização geoquímica de elementos maiores e também isótopos estáveis de C_{13} e O_{18} dos sedimentos carbonáticos dos poços da Serra Negra.
9. Processar e interpretar os dados geofísicos adquiridos, para auxiliar na compreensão da arquitetura do embasamento cristalino e a sua influência nos sedimentos pós-rifte das bacias.
10. Confeccionar um modelo geológico em conjunto com os resultados obtidos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Diante das características e semelhanças, além da proximidade dos sedimentos aptianos na Serra Negra (Jatobá) e Serra do Tonã (Tucano Norte), há uma grande possibilidade de ligação entre esses dois paleolagos. As características desses sedimentos também se assemelham com grandes bacias geradoras de hidrocarbonetos no Brasil e no mundo. Logo, verifica-se a importância da evolução no conhecimento geológico, sedimentológico e estratigráfico das unidades pós-rifte-I das áreas de estudo.

Os resultados obtidos fortalecem e dão continuidade as pesquisas nas duas bacias, tão pouco estudadas, e contribuem também para o desenvolvimento de estudos na área de reservatórios de petróleo e análogos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado de acordo com as seguintes etapas de trabalho:

I) Levantamento Bibliográfico- Foi realizado um levantamento bibliográfico sobre a Bacia de Jatobá e a Sub-bacia de Tucano Norte, onde as áreas estudadas estão inseridas. Os principais temas pesquisados foram direcionados aos sedimentos flúvio-deltaico-lacustre da seção Pós-rifte-I, os quais ocorrem em ambas as bacias relacionadas. Também foram consultados trabalhos relacionados à Bacia do Araripe, os quais apresentam os sedimentos correlatos às formações envolvidas nas áreas de estudo.

II) Bases Cartográficas, Imagens Aéreas e Sensores Remotos- Na construção dos mapas geológicos das áreas estudadas foram utilizadas as bases planimétricas das folhas Airi (SC-24-X-A-V) e Salgado do Melão (SC-24-X-C-II) da SUDENE, na escala 1:100.00. Para a fotointerpretação geológica, foram utilizadas fotografias aéreas da SUDENE (1969), na escala 1:70.000, fornecidas gentilmente pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), núcleo Recife e núcleo Salvador, interpretadas pelo método tradicional de estereoscopia, bem como através de softwares de interpretação 3D.

Foi utilizada como ferramenta adicional, imagens dos satélites do grupo LANDSAT tiradas entre o período de 02/2004 a 08/2015 da região da Serra Negra e entre o período de 11/2003 a 12/2016 da região da Serra do Tonã, disponíveis pelo *software* Google Earth-PRO para comparação de grandes feições e estruturas geológicas identificadas através das fotografias aéreas.

III) Trabalhos de Campo- Foram realizadas seis (6) etapas de campo, duas (2) na Serra do Tonã (Sub-bacia de Tucano Norte) e quatro (4) na Serra Negra (Bacia de Jatobá) e suas proximidades. Nessas visitas de campo foram realizados os reconhecimentos das áreas de estudos (verificando sempre a fotointerpretação), coletas de amostras em afloramentos e locação dos poços estratigráficos, dois (2) na Serra Negra e três (3) na Serra do Tonã.

Nos afloramentos estudados foram feitas descrições sedimentológicas, nas quais foram analisadas cor, textura, litologia e estruturas sedimentares.

IV) Poços Estratigráficos - Os poços estudados foram perfurados com recursos do “*Projeto Santana*” que teve como objetivo principal a “caracterização dos sistemas lacustres Aptianos-Albianos das Bacias do Araripe, Jatobá e Tucano Norte”.

Na Serra Negra (Bacia de Jatobá) o projeto contou com a perfuração de dois (2) poços estratigráficos, o poço **2-JB-SN-2A-PE**, o poço **2-JB-SN-2B-PE** com profundidades de cento e cinco metros (105m) e setenta e dois metros e cinquenta centímetros (72,5m), respectivamente. Na Serra do Tonã foram três (3) furos estratigráficos sobre o Andar Alagoas, com profundidades de 140m para **2-TN-ST-3A-BA**, 76m para **2-TN-ST-3B-BA** e 50m para **TN-ST-04-BA** (Tabela 1). Os dados provenientes destes poços estratigráficos foram a principal fonte de dados para a elaboração desse estudo e possibilitaram a identificação e a caracterização das associações de fácies carbonáticas e siliciclásticas da fase Pós-Rifte-I das bacias associadas.

A descrição dos perfis dos furos citados foi realizada no Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco – DEGEO/UFPE. A localização dos furos pode ser observada nas figuras 9 e 11.

Tabela 1 - Poços estratigráficos estudados.

NOME DO POÇO	LOCALIZAÇÃO	ALTITUDE (Nível do mar)	PROFUNDIDADE E DO POÇO	QUANTIDADE DE LÂMINAS	ISÓTOPOS ESTÁVEIS (C ¹³ e O ¹⁸)
2-JB-SN-2A-PE	Serra Negra	840m	105m	4	sim
2-JB-SN-2B-PE	Serra Negra	700m	72,5m	10	sim
2-TN-ST-3A-BA	Serra do Tonã	524m	140m	22	sim
2-TN-ST-3B-BA	Serra do Tonã	461m	76m	0	não
TN-ST-04-BA	Serra do Tonã	515m	50m	0	não

V) Petrografia- Foram confeccionadas e analisadas 27 amostras de lâminas de seções delgadas de três poços estratigráficos das regiões de Serra Negra e Serra do Tonã. Desse conjunto, 15 lâminas foram provenientes de dois furos estratigráficos realizados na Serra Negra, sendo cinco (5) lâminas do poço 2-JB-SN-2A-PE e dez (10) do poço 2-JB-SN-2B-PE. As outras 12 lâminas foram provenientes do poço 2-TN-ST-3A-BA, na Serra do Tonã.

As lâminas foram descritas utilizando microscópio petrográfico de luz transmitida e contou também com o auxílio da catodoluminescência do Laboratório de Catodoluminescência do Departamento de Geologia LCT-DEGEO-UFPE .

Para a caracterização da litofácies siliciclásticas, foram utilizadas as classificações baseadas nos estudos de Dott (1964) e Folk (1968). Para os carbonatos, utilizou-se as classificações de Grabau (1904), Folk (1962) e Dunhan (1962).

Para determinar as características petrográficas e litofácies, foram seguidos os seguintes parâmetros: composição, matriz/cimento, textura, petrofábrica, porosidade e maturidade mineralógica. A catodoluminescência auxiliou na determinação de cimentos carbonático e de óxido de ferro, além de alguns grãos minerais, principalmente quartzo e feldspato.

VI) Dados Geofísicos- GRAVIMETRIA- Os dados gravimétricos processados e interpretados nesta tese foram levantados pela PETROBRAS e distribuídos para uso público pelo Banco Nacional de Dados Gravimétricos-BNDG. As altitudes e o posicionamento das estações foram definidos por meio de levantamentos topográficos. Os valores absolutos da gravidade estão referenciados ao IGSN-71 (*International Gravity Standardization Net – 1971*). O cálculo das anomalias Bouguer foi referenciado ao nível do mar com a densidade da topografia igual a $2,67 \text{ g/cm}^3$.

MAGNETOMETRIA- Os dados aeromagnetométricos foram cedidos gentilmente pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil). Esses dados fazem parte dos levantamentos aerogeofísicos realizados pelo Projeto Aerogeofísico Paraíba-Rio Grande do Norte e Pernambuco-Paraíba (LASA S.A.& Prospectors, 2010). O referido projeto levantou perfis aeromagnetométricos com linhas de voo e controle espaçadas de 500 m e 5.000 m, orientadas nas direções N-S e E-W, respectivamente. A altura de voo foi fixada em 100 metros sobre o terreno. Foram empregadas aeronaves equipadas com magnetômetro posicionadas pelo sistema de observação de satélite GPS, com precisão de 1 m. O magnetômetro com sensor de vapor de césio foi montado na cauda da aeronave (tipo *stinger*). As medidas foram realizadas a cada 0,1 segundo, o que equivale, dependendo da velocidade média da aeronave a uma medida a cada 7,7 m.

Os dados gravimétricos foram interpolados em uma malha de $0,5 \times 0,5 \text{ km}$ pelo método de mínima curvatura. Os dados magnetométricos foram interpolados em uma malha

de 125 x 125 m pelo método de “*bigrid*”. Os perfis gravimétricos Bouguer foram construídos por modelagem 2D, por meio do *software GM-SYS* do pacote de dados integrados ao *software Oasis Montaj*. Após essa etapa, os perfis foram agrupados em um só banco de dados para cada bacia e os valores de profundidade foram interpolados pelo método de *Tinning*, em uma malha de 0,5 x 0,5 km, gerando mapas de profundidade e modelos de densidade que puderam ser analisados em várias perspectivas em 3D.

VII) Isótopos Estáveis de C¹³ e O¹⁸- Análises isotópicas de C e O foram realizadas em carbonatos no NEG-LABISE. Para extração do gás CO₂ foram utilizados 20mg de pó de cada amostra. O pó de amostra foi atacado com ácido ortofosfórico a 25°C para liberar CO₂. O gás CO₂ obtido foi analisado para isótopos de O e C no Espectrômetro de Massa Thermofinnigan Delta V Advantage. Os resultados estão expressos na notação δ em permil (‰) relativo ao padrão em VPDB e V-SMOW, com precisão melhor que $\pm 0,1\%$. Os dados isotópicos de carbono e oxigênio foram calibrados com padrões internacionais (Vienna PeeDee Belemnite).

VIII) Análise Semi-quantitativa de Elementos Maiores – Para essas análises todas as amostras estavam pulverizadas. Uma porção de amostra foi secada em estufa a 110°C. Uma porção de amostra seca foi levada a uma mufla a 1000°C por 2 horas para determinação da perda ao fogo. Uma outra porção de amostra seca foi prensada em cápsulas de alumínio com 30 toneladas de força. As pastilhas prensadas foram analisadas no NEG-LABISE, em espectrômetro de fluorescência de raios-X Rigaku modelo ZSX Primus II, equipado com tubo de Rh e 7 cristais analisadores. Os resultados da varredura semi-quantitativa foram recalculados para 100% após a incorporação do valor da perda ao fogo. Por se tratar de amostras de rochas sedimentares, grande quantidade do peso foi perdida devido ao processo de Perda ao Fogo (PF). Os resultados estão expressos em peso%. Tr = traços; nd = não detectado. Os teores dos elementos maiores e menores determinados nas amostras foram tratados estatisticamente em uma análise de agrupamento (clusters) pelo método Ward (distâncias euclidianas).

Análise estatística multivariada- Esses métodos consideram as amostras e as variáveis em seu conjunto, permitindo extrair informações complementares que uma análise univariada não consegue evidenciar. A Análise de Componentes Principais (ACP) e a Análise

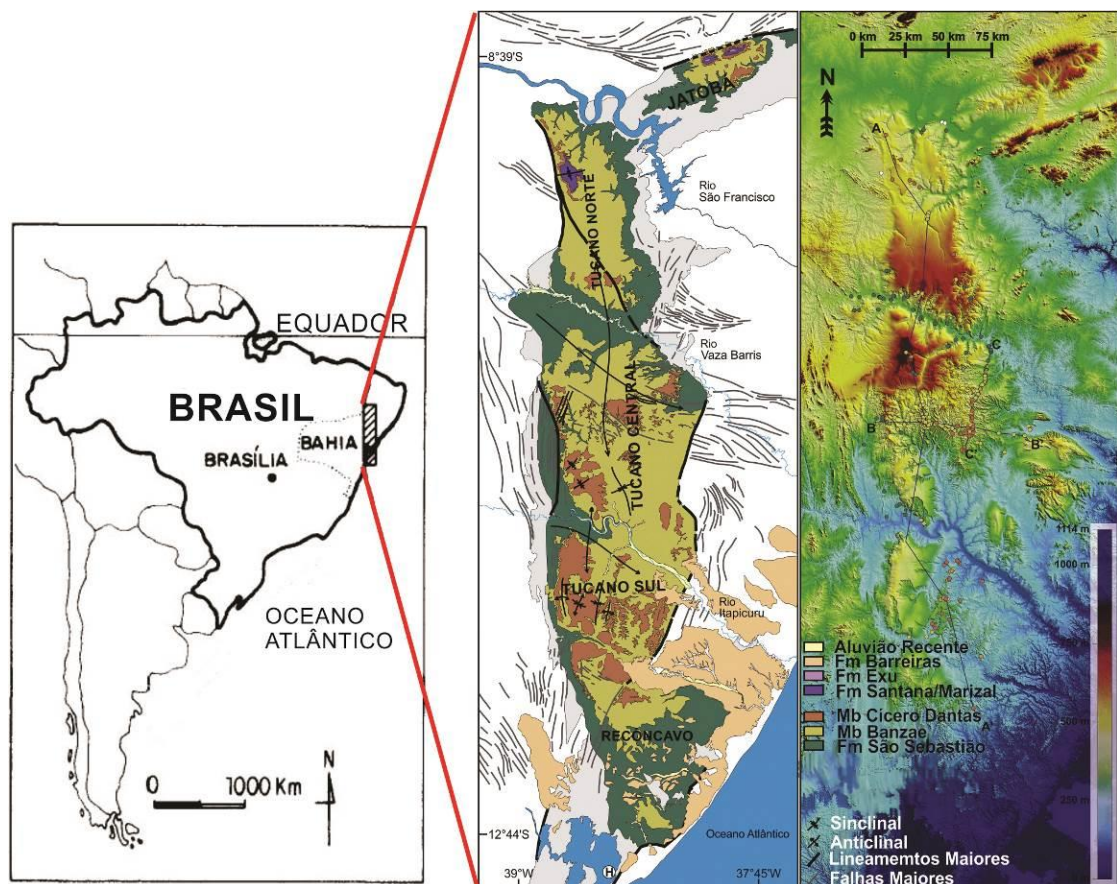
de Agrupamentos Hierárquicos (AAH) são metodologias exploratórias que podem evidenciar similaridades ou diferenças entre amostras em um determinado conjunto de dados. A análise de dados depende da sua natureza e dos diversos fatores que interferem nos fenômenos geológicos, podendo processar um numeroso banco de informações para obter uma explicação lógica e coerente no contexto das Geociências.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

3.1 O SISTEMA RIFTE RECÔNCAVO-TUCANO-JATOBÁ

O sistema rifte Cretáceo Recôncavo-Tucano-Jatobá está localizado no nordeste do Brasil (Figura 5). Trata-se de um rifte continental abortado, preenchido por sedimentos predominantemente não marinhos, que se abriu no Jurássico tardio ao início do período Cretáceo durante a abertura do Atlântico Sul.

Figura 5 - Localização do Rifte abortado Reconcavo-Tucano-Jatobá, geologia e modelo de elevação digital (SRTM-Shuttle Radar Topography Mission).



Fonte: Adaptado de Milani e Davison (1988) e Freitas et al. (2017).

Ghignone e Andrade (1970) revisaram a evolução estrutural da Bacia do Recôncavo e concluíram que esta parte do rifte foi submetida a duas fases em falhas distensionais discretas: em primeiro lugar, a fase Berriasiano durante a deposição da Formação Candeias e uma segunda, a fase pós-Barremiano, após a deposição da Formação São Sebastião. Subsequentemente, modelos estruturais tornaram-se mais elaborados e diversificados

(NETTO, 1978; GHIGNONE, 1979; COHEN, 1985; USSAMI; KARNER; BOTT, 1986). No entanto, todos os modelos são baseados em bacias individuais dentro do sistema de rifte, ou têm focado em aspectos particulares da evolução tectônica, com acesso limitado a dados.

Na fase Pré-rifte, Jurássico superior ao Cretáceo Inferior, *redbeds* continentais (Grupo Brotas, Formação Itaparica e Membro do Tauá da Formação Candeias) atingiram uma espessura de aproximadamente 1,5 km na parte sul do *Graben* da Bacia do Recôncavo e foram progressivamente afinando para o norte, no *Graben* da Bacia de Jatobá. Evidências de falhas sin-deposicionais não têm sido observadas nestes sedimentos (MILANI; DAVISON, 1988).

A fase rifte foi implantada durante o Valanginiano quando ocorreu a falha ao longo da margem oriental dos *grabens* do Recôncavo e Tucano, e grandes espessuras de aglomerados de fôs foram depositados (Formação Salvador). Um lago profundo desenvolveu-se e folhelhos das Unidades Gomo e Maracangalha (principais rochas geradoras de hidrocarbonetos) foram depositadas juntos com influxos ocasionais turbidíticos e incursões fôs arenosos (NETTO; OLIVEIRA, 1985). No Hauteriviano, a taxa de subsidência diminuiu e sedimentos encheram o lago com fôs delta progradantes (Formação Ilhas). A fase rifte terminou com depósitos fluviais das Formações Marfim e São Sebastião.

Durante o Aptiano uma fase pós-rifte desconforme de conglomerados fluviais (Formação Marizal) se desenvolveu e, na Bacia do Recôncavo, nenhuma sedimentação é registrado após esta. Nos *grabens* do Tucano Central, Tucano Norte, e Jatobá, arenitos são muito mais frequentes do que no *Graben* do Recôncavo, indicando o sentido em que o rifte foi preenchido. As correlações não são sempre feitas facilmente, mas o arcabouço estratigráfico geral vale para todo o sistema rifte (NETTO; OLIVEIRA, 1985).

Outros trabalhos realizados posteriormente na Sub-bacia do Tucano Norte e Bacia de Jatobá, como os de Bueno (1996); Neumann e Cabrera (1999); Rocha e Leite (1999); Neumann et al. (2010) e Neumann e Rocha (2014), destacaram a descoberta de novas unidades Pós-rifte. As novas unidades descobertas seriam as Formações Crato, Romualdo e Exu, em parte na serra do Tonã (Sub-bacia do Tucano) e a sequência completa nas Serras do Periquito e Negra (Bacia de Jatobá). Estas unidades foram ainda correlacionadas com outras unidades de mesma idade em outras bacias, como a Bacia do Araripe.

As primeiras referências sobre a geologia e o conteúdo fóssilífero das bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá datam do século XIX e relacionam-se principalmente à Bacia do Recôncavo. Até a década de 1930, prevaleceram os estudos de cunho mais propriamente

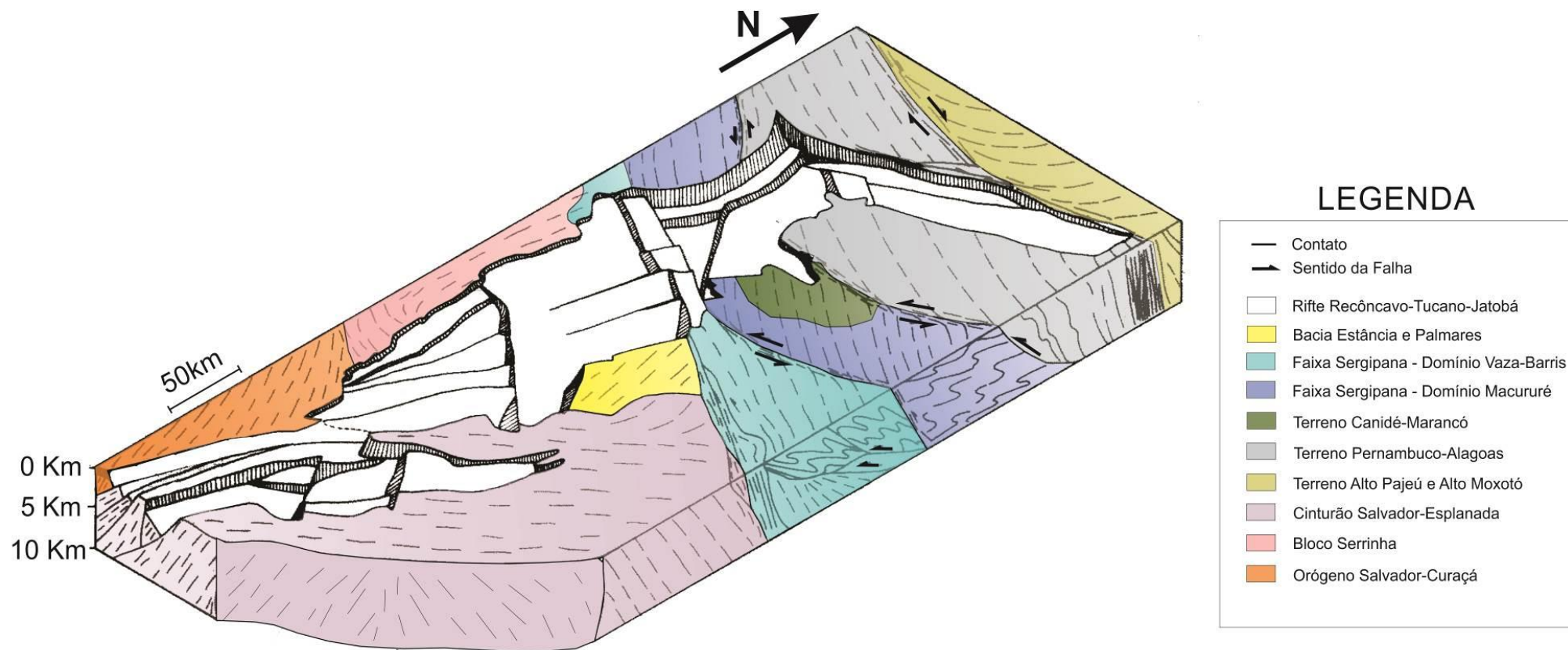
acadêmico, pautados pelo pioneirismo dos trabalhos e com foco em descrições litológicas e na avaliação do conteúdo fossilífero. Contribuições efetivas para o estabelecimento de um arcabouço estratigráfico desenvolveram-se como suporte à pesquisa e prospecção de hidrocarbonetos, já ao final desta década, envolvendo a Divisão de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e, particularmente, o Conselho Nacional do Petróleo (CNP). Após a criação da Petrobras, um grande impulso foi dado aos estudos de cunho estratigráfico com a integração de dados de superfície e subsuperfície e a utilização mais sistemática da paleontologia para o estabelecimento de relações cronológicas.

A exploração de petróleo foi intensa desde as primeiras descobertas, no início da década de 1940 até o final da década 1980, onde mais de 1000 poços de exploração haviam sido perfurados. A partir da década de 1990, considerando-se os campos de petróleo, principalmente da Bacia do Recôncavo como campos maduros, a produção de petróleo entrou em declínio.

3.1.2 Estrutura Geral do Rifte

O rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá consiste em uma série de *grabens* assimétricos que são separados por altos do embasamento e falhas de transferência, tendo permitido a formação de cinco bacias/sub-bacias (Recôncavo, Tucano Sul, Tucano Central, Tucano Norte e Jatobá) (Figura 6). A abertura do rifte ocorreu em uma direção oblíqua NW para o trende N-S do rifte, com falhas de transferência bem definidas paralelas à direção de abertura. As falhas de transferência foram responsáveis tanto para a compensação dos depocentros nas Bacias Tucano e Recôncavo quanto para a mudança de assimetria dos meios-*grabens* em toda a zona de falha Vaza-Barris. As falhas de transferência mostram feições características, como a mudança de sentido de movimento do embasamento cristalino ao longo das falhas e estruturas de falhas, como as estruturas em flores (MILANI; DAVISON, 1988).

Figura 6 - Arquitetura e estruturas do embasamento do Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá.



Fonte: Modificado de Milani e Davison (1988).

3.2 PROVÍNCIA BORBOREMA

Está situada entre o Cráton do São Francisco, ao sul, e o Cráton de São Luís, ao norte. Dados geocronológicos recentes têm demonstrado que a Província Borborema resultou de uma colagem meso a neoproterozóica de várias subprovíncias ou domínios litotectônicos menores. Do ponto de vista tectonoestratigráfico, a província abrange três grandes domínios, denominados de Setentrional, Transversal e Meridional, de modo que os mesmos podem ser considerados superdomínios ou superterrenos (SANTOS, 1996, 1999, 2010; BRITO NEVES et al., 2000).

A Bacia de Jatobá e a Sub-Bacia Tucano Norte localizam-se na Zona Meridional da Província Borborema. Esta província, definida inicialmente por Almeida et al. (1977), é uma entidade geotectônica constituída por sequências supracrustais meso e neoproterozóicas, separadas entre si por blocos de embasamento gnáissico-migmatítico paleo a mesoproterozóicos (Figura 7). Toda Província da Borborema foi intensamente retrabalhada durante a orogênese Brasileira, cuja principal feição geológica constitui um mosaico de zonas de cisalhamento E-W e N-NE, associado a volumoso magmatismo granítico.

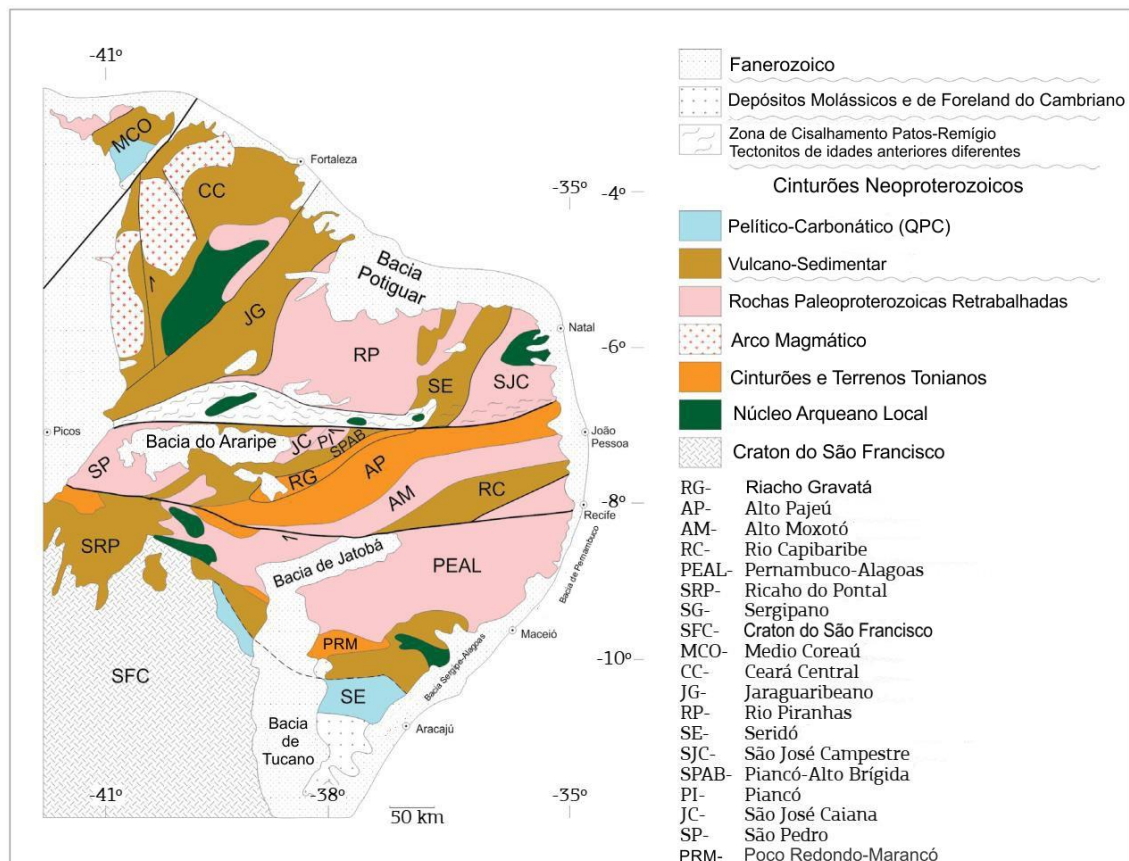
3.2.1 Unidades Litoestratigráficas Pré-Cambrianas

Os substratos da Bacia de Jatobá e Sub-Bacia de Tucano Norte são formados por rochas pré-cambrianas, pertencentes à Província Borborema que estão inseridas no chamado Domínio da Zona Meridional (DZM), correspondente à região limitada, ao norte, pela Zona de Cisalhamentos Pernambuco (ZCPE) e ao sul pelo Craton do São Francisco.

A Bacia de Jatobá instalou-se integralmente sobre o terreno Pernambuco-Alagoas (COSTA et al., 2003, 2007), Subprovíncia Meridional da Província Borborema.

O embasamento da Sub-bacia do Tucano Norte é representado pelos terrenos Pernambuco-Alagoas e Canidé-Marancó, a noroeste e leste-nordeste, pelos metassedimentos da Faixa de Dobramentos Sergipana, a oeste-sudoeste e sudeste (Figura 6).

Figura 7 - Estrutura Tectônica dos Domínios da Província da Borborema.



Fonte: Modificado de Brito Neves et al. (2016).

3.2.2 Subprovíncia Meridional

Terreno Pernambuco Alagoas

O Terreno Pernambuco-Alagoas constitui o maior domínio tectônico da Subprovíncia Meridional, limitado pelo Lineamento Pernambuco ao norte, por zonas de cisalhamento contracionais nos contatos com o Terreno Canindé-Marancó ao sul, e a oeste com a Faixa Riacho do Pontal.

Conforme Delgado et al. (2003), o terreno Pernambuco-Alagoas subdivide-se nos complexos Cabrobó e Belém do São Francisco. O primeiro reúne duas sequências, uma metassedimentar e outra metavulcânica. Ortognaisses graníticos-tonalíticos e migmatizados constituem o segundo. Dentre os batólitos graníticos destacam-se as suítes Xingó e Chorocho, por suas grandes dimensões. As rochas metavulcânicas e metassedimentares são de idade mesoproterozóica (1.2-1.0 Ga), intrudidas por inúmeros batólitos graníticos, datados do Mesoproterozóico (1.0 Ga) e do Neoproterozóico (650-600 Ma).

Silva Filho, Guimarães e Van Schumus (2002), estudando a evolução crustal do Complexo PE/AL da Província da Borborema, através do método de Isótopos Nd (Neodínio), identificaram cinco tipos de batólitos denominados: Garanhuns, Ipojuca-Atalaia, Correntes-Marimondo, Águas Belas-Canindé e Buíque-Paulo Afonso. De acordo com os dados definidos por esses autores, identifica-se que a região estudada está inserida no denominado Batólito Buíque-Paulo Afonso por suas características tipológicas.

Faixa do Domínio Sergipano

A Faixa de Dobramentos Sergipano, de idade Neoproterozóica, faz parte da Província Borborema no Nordeste do Brasil (ALMEIDA et al., 1977). Está situada geologicamente entre o maciço Pernambuco-Alagoas, ao norte, e o Craton de São Francisco, ao sul. A tendência principal das estruturas deste cinturão é ESE-WNW. É composta por seis domínios litotectônicos limitados por falhas (SANTOS; MENEZES FILHO; SOUZA, 1988; DAVISON; SANTOS, 1989) e engloba quatro embasamentos gnáissicos nomeados Jirau do Ponciano, Alto do Brejo, Itabaiana e Simão Dias (BRITO NEVES; SIAL; BEURLIN, 1977).

Os gnaisses Simão Dias possuem idade Rb-Sr de 2.505Ma (HUMPHREY; ALLARD, 1969), já os ortognaisses Jirau do Ponciano são de idade Rb-Sr 2.500Ma (AMORIM; TOMES; SILVA FILHO, 1992). Próximo à bacia, o cráton São Francisco e o maciço Pernambuco-Alagoas dataram idades Rb-Sr por volta de 1800Ma, enquanto a faixa de dobramentos tem uma evolução metamórfica-estrutural de idade 673-600Ma (Rb-Sr) (BRITO NEVES; CORDANI, 1973).

O sistema de falhas de São Miguel do Aleixo separa as partes do sul e do norte do Cinturão de Dobramentos Sergipano. A parte sul inclui o Domínio Cratônico Estância, deitado e quase não possui deformação. Esse domínio é formado por sedimentos siliciclásticos e carbonáticos de origem continental/marinho raso, depositados no cráton e afetados por um metamorfismo muito baixo. O Domínio Miaba-Vaza Barris é uma suíte poli deformada, fácies xisto-verde, situada ao norte da Falha de Itaporanga. Já a parte norte do Cinturão inclui os domínios Macururé, Marancó, Poço Redondo e Canindé, que são poli deformados, de fácies xisto-verde/anfibolito.

3.3 BACIA DE JATOBÁ E SUB-BACIA DE TUCANO NORTE

3.3.1 Estratigrafia

O presente trabalho adota a divisão estratigráfica de sucessão sedimentar proposta por Neumann et al. (2010) (Figura 8), que revisando a Formação Santana de Rocha e Leite (1999), que se basearam na análise de sequências realizadas por Ponte, Medeiros e Ponte Filho (1997), a redefiniram como Grupo Santana representadas pelas Formações Crato e Romualdo.

Desta forma, esses autores sugerem que a Bacia de Jatobá possui uma estratigrafia semelhante à do Araripe, e por isso definiram cinco sequências estratigráficas para a mesma.

a) Tectosequência Beta: constitui o primeiro ciclo deposicional nas bacias intracratônicas brasileiras, representada pelas Formações Tacaratu e Inajá;

b) Tectosequência Pré-Rifte: fase inicial ou precursora do episódio de rifteamento que deu origem a Margem Continental Brasileira (Ponte et al., 1997), representadas pelas Formações Aliança e Sergi;

c) Tectosequência Sin-Rifte: estágio de ruptura crustal representada pelas Formações Candeias e São Sebastião;

d) Tectosequência Pós-Rifte: onde estão reunidos os depósitos relacionados a um contexto de subsidência térmica, em bacia do tipo sag representadas pelas Formações Marizal, Crato, Romualdo e Exu;

e) Tectosequência Zeta: representada pelas coberturas Cenozóicas.

Figura 8 - Coluna estratigráfica da Bacia de Jatobá. Em destaque a Sequência pós rifte-I.

GEOCRONOLOGIA			TECTÔNICA	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	AMBIENTE DEPOSICIONAL	COMPOSIÇÃO LITOLÓGICA
ERA	PERÍODO	IDADE				
Cenozóico	Neógeno	Pleistoceno		Sedimentos Aluvionares	Terraços Fluviais/ Leques e alúvias	Areias, siltes, argilas e lentes conglomeráticas
	Paleógeno	Oligoceno		Depósitos colúvio-eluviais	Cobertura detrítica residual	Cascalhos e areias
Mesozóico	Cretáceo	Albiano/Cenomaniano	Pós-Rifte II	Formação Exu	Fluvial entrelaçado e meandrante	Arenitos grossos a conglomeráticos com leitos finos.
		Aptiano	Pós-Rifte I	Formação Romualdo	Lacustrino raso	Siltitos e folhelhos na base e calcários e calcário coquinóide no topo
				Formação Crato	Lacustrino raso a profundo	Calcários laminados intercalados a arenitos, margas e folhelhos
				Formação Marizal	Fluvial associado a deltas	Arenitos, siltitos e argilitos, com estruturas de sobrecarga
		Barremiano	Rifte	Formação São Sebastião	Fluvial de alta energia com retrabalhamento eólico	Arenitos médios a finos com níveis grossos na base
		Haute-riviano				
		Valanginiano		Grupo Ilhas	Deltaico associado a lacustre	Alternância de arenitos médios a grossos com argilitos e siltitos creme
		Berriasiano		Formação Candeias	Flúvio-lacustre raso	Arenitos, folhelhos e siltitos argilosos intercalados com carbonatos
	Jurássico	Tithoniano	Pré-Rifte	Formação Sergi	Fluvial entrelaçado com retrabalhamento eólico	Arenitos grossos a finos esbranquiçados a avermelhados com crostas lateríticas
				Formação Aliança	Lacustrino raso, com influência fluvial	Folhelhos e siltitos amarronzados e esverdeados com intercalações de arenitos finos, calcarenitos e níveis de gipsita
Paleozóico	Devoniano		Siné-clise	Formação Inajá	Marinho de plataforma rasa associada a fluvial	Arenitos finos laminados, ferruginosos com intercalações de arenitos grossos e siltitos
	Siluriano			Formação Tacaratu	Fluvial entrelaçado associado a leques aluviais	Arenitos grossos a conglomeráticos de cores cinza, rósea e vermelha com crostas lateríticas
Prote-rozóico				Embasamento Cristalino		Granitos, migmatitos, gnaisses, sienogranitos, monzogranitos e quartzitos

Fonte: Traduzida de Neumann e Rocha (2014).

- a) Tectosequência Beta: constitui o primeiro ciclo deposicional nas bacias intracratônicas brasileiras, representada pelas Formações Tacaratu e Inajá;
- b) Tectosequência Pré-Rifte: fase inicial ou precursora do episódio de rifteamento que deu origem a Margem Continental Brasileira (PONTE; MEDEIROS; PONTE FILHO, 1997), representadas pelas Formações Aliança e Sergi;
- c) Tectosequência Sin-Rifte: estágio de ruptura crustal representada pelas Formações Candeias e São Sebastião;

d) Tectosequência Pós-Rifte: onde estão reunidos os depósitos relacionados a um contexto de subsidência térmica, em bacia do tipo sag representadas pelas Formações Marizal, Crato, Romualdo e Exu;

e) Tectosequência Zeta: representada pelas coberturas Cenozóicas.

Formação Tacaratu

Essa formação aflora de forma contínua na borda leste e sul da Bacia de Jatobá, que se estende desde o rio São Francisco a oeste, até as proximidades da cidade de Arcoverde, no extremo nordeste da Bacia de Jatobá.

Morfológicamente, compõe um relevo bastante acidentado, com encostas abruptas, em função da sua composição psamito-psefítica, com forte diagênese, ou localmente, extremamente silicificados, principalmente em zonas de falha, onde a ação do intemperismo esculpe formas inusitadas, de aspecto ruiforme. Esta característica pode ser bem observada na região do Catimbau e nas proximidades do povoado de Moxotó, porções leste e sudeste da bacia, respectivamente (CPRM; UFPE; FINEP, 2007).

Com base em poços estratigráficos executados pela Petrobras, nas proximidades das cidades de Ibimirim e Inajá, estima-se uma espessura média de aproximadamente 350m para a Formação Tacaratu.

Esta unidade é caracterizada por uma sequência predominantemente arenosa, onde se destacam arenitos grossos muitas vezes micáceos, arenitos conglomeráticos e níveis de conglomerados com intercalações pelíticas subordinadas, muitas vezes caulínicas. Os arenitos geralmente possuem cor variando de esbranquiçados a róseos avermelhados, granulação grossa a média, localmente fina, constituídos essencialmente por grãos de quartzo, angulosos a subarredondados, geralmente de forte diagênese ou localmente, extremamente silicificados (BARBOSA, 1964).

As estruturas sedimentares mais frequentes são estratificações cruzadas acanaladas de médio porte, associadas de forma subordinada à estratificação plano-paralelas, cruzadas tabular/planar e cruzadas acanaladas de aspecto festonado (fluvial); arenitos finos bem selecionados, exibindo estratificação cruzada acanalada de grande porte (eólico). Na maioria das vezes, as relações de contato da Formação Tacaratu são marcadas por falhas extensionais

ou discordâncias angulares e erosionais, com o embasamento cristalino subjacente e concordante gradativo com a Formação Inajá sobreposta.

Segundo Rocha e Leite (1999), o ambiente deposicional dessa formação é fluvial entrelaçado (braided), associado inicialmente a leque aluviais, evoluindo para uma fácies mediana a distal, com características de planície de inundação, e posterior retrabalhamento eólico.

A Formação Tacaratu, de idade siluro-devoniana, é correlacionada ao Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba e à Formação Mauriti da Bacia do Araripe; à Formação Furnas da Bacia do Paraná; à Formação Água Bonita em Goiás, e à parte do Grupo Trombetas, na Bacia do Amazonas (CPRM; UFPE; FINEP, 2007).

Formação Inajá

Essa unidade estratigráfica, a exemplo da Formação Tacaratu, aflora também de forma contínua, estendendo-se desde a região a SW do povoado de Moderna, extremo norte da bacia, até o sul de Inajá. Seus afloramentos mais característicos estão situados na região do sítio Trocado a ESE do Frutuoso, nas proximidades do povoado de Moxotó e a Sul da Serra do Manarí (CPRM; UFPE; FINEP, 2007).

A Formação Inajá é representada por arenitos finos a grossos, róseos a avermelhados por vezes ferruginosos, contendo leitos de folhelhos e siltitos laminados, apresentando estratificações cruzadas acanaladas, além de estruturas do tipo “wavy” e “linsen” e marcas de onda.

As relações de contato desta unidade com a Formação Tacaratu subjacente e com a Formação Aliança sobrejacente, normalmente possuem caráter gradativo e concordante com a primeira e discordante com a segunda. Falhas extensionais ocorrem em ambos os casos, de forma localizada (CPRM; UFPE; FINEP, 2007).

Baseando-se nas informações de furos de sonda realizados na bacia, pode-se estimar uma espessura de aproximadamente 150 m a 180 m para esta formação.

Conforme os autores, esses depósitos de idade devoniana pertencem a um ambiente marinho de plataforma rasa, associado a um sistema fluvial “braided” entrelaçado.

Formação Aliança

Caracterizada por folhelhos e siltitos amarronzados e esverdeados, com intercalações de arenitos finos, localmente grossos, além de calcarenitos e calcissiltitos esbranquiçados a marrom claro, fossilíferos, lenticularizados e mais raramente, níveis de evaporitos. Estes pelitos geralmente apresentam-se finamente laminados, com diagênese média a fraca, compactos, micáceos, contendo “bolachas” de arenito fino silicificado e de silexito. Nos níveis carbonáticos, dominam os calcarenitos finos fossilíferos, geralmente de cores claras, contendo bioturbações, com forte diagênese ou localmente silicificados (CPRM; UFPE; FINEP, 2007).

Geralmente constitui áreas arrasadas devido a sua natureza predominantemente pelítica. Apresenta fraca densidade de vegetação, consequência da má percolação de águas e de seu conteúdo salino.

O contato inferior com a Formação Inajá é do tipo discordante erosional, enquanto que o superior, com a Formação Sergi, quando ocorre, é do tipo gradacional, caracterizado pela progradação de arenitos fluviais e eólicos, sobre os pelitos lacustrinos, sob condições de clima árido e desértico (MEDEIROS; PONTE, 1981).

Essa unidade possui idade neojurássica. É de um ambiente deposicional tipicamente lacustrino raso e de grande extensão, inundando as áreas emersas onde dominava a sedimentação fluvial dos membros basais (ROCHA; LEITE, 1999).

Formação Sergi

Os afloramentos desta formação concentram-se nas porções W e SW da Bacia de Jatobá. Segundo Correia (1965), tal fato deve-se a eventos tectônicos que ocasionaram um sistema de falhamentos NE, com basculamento de blocos para SW, iniciando um intenso período erosivo nos blocos para SW, responsável pela ausência da Formação Sergi na porção NE da Bacia de Jatobá (CPRM; UFPE; FINEP, 2007).

Caracteriza-se litologicamente por arenitos cinza, esbranquiçados a avermelhados, grossos a finos, por vezes conglomeráticos, mal selecionados, contendo pavimento de seixos e fragmentos de madeira fóssil, apresentando intercalações silticas esverdeadas com bolsões de argila.

A Formação Sergi recebe uma atenção especial da Petrobras nas bacias Recôncavo e Tucano por constituir o principal reservatório de petróleo. Na Bacia de Jatobá,

devido à pequena espessura, não foi contemplada com um estudo mais aprofundado sobre suas características.

A formação apresenta contato gradacional e interdigitado com a Formação Aliança (MENEZES FILHO; SANTOS; SOUZA, 1988). Quando em contato com as formações paleozóicas, isto ocorre através de falhas extensionais ou de discordâncias erosivas.

As estruturas sedimentares mais frequentes são: cruzadas acanaladas e tabulares (fluvial), e cruzadas acanaladas de grande porte (eólico). O ambiente deposicional dessa formação de idade neojurássica é de um sistema fluvial entrelaçado (braided), com retrabalhamento eólico e leques distais.

Formação Candeias

Essa formação possui idade eocretácica, sendo representada por uma sequência predominantemente pelítica, constituída por folhelhos e siltitos argilosos de coloração marrom a cinza-esverdeados, finamente laminados, intercalados com arenitos, calcarenitos e níveis de gipsita.

O contato inferior desta unidade está representado por uma discordância erosiva regional, enquanto o contato superior com os sedimentos do Grupo Ilhas é do tipo gradacional.

As estruturas sedimentares mais frequentes são: estratificações plano-paralelas, onduladas, acanaladas de pequeno porte, estruturas convolutas e gretas de ressecamento. Essa unidade apresenta um ambiente deposicional flúvio-lacustre raso, e possui idade eocretácica.

Grupo Ilhas

Litologicamente essa unidade apresenta uma alternância de arenitos médios a grossos com argilitos e siltitos de coloração creme. As camadas de arenitos apresentam estratificações tangenciais, cruzadas sigmoidais, cruzadas acanaladas de pequeno porte, estruturas convolutas e ondulações cavalgantes. Nas camadas de argilitos e siltitos, com intercalações de arenitos finos, ocorrem marcas onduladas e laminações plano-paralelas.

O contato do Grupo Ilhas com a Formação Candeias é do tipo gradacional à medida que a fração arenosa predomina em relação à fração pelítica. Por outro lado, o contato com a Formação São Sebastião, sobrejacente, é marcado por discordância angular regional.

O Grupo Ilhas de idade eocretácica, possui segundo Menezes Filho, Santos e Souza (1988) uma sedimentação em regime de fluxo superior e inferior, sugerindo deposição em planície e frente deltaica, associada a ambiente lacustrino.

Formação São Sebastião

A Formação São Sebastião de idade eocretáceo, se estende em parte da porção setentrional da bacia, desde a região situada a SSW do povoado de Campos, até a SSW do *Horst* de Serrotinho, borda NW da Bacia de Jatobá.

Geralmente observam-se serras arredondadas ou morrotes ondulados, e mais raramente, serras escarpadas. Litologicamente essa unidade estratigráfica está caracterizada por arenitos médios a finos, com níveis grossos na base.

As estruturas sedimentares representativas são: estratificações cruzadas acanaladas de grande porte e plano-paralelas de forma subordinada.

Conforme Rocha e Leite (1999), o conjunto de características litológicas e estruturais indicam um ambiente de sedimentação fluvial de alta energia, com gradação para um ambiente desértico, tipicamente eólico.

O contato inferior da Formação São Sebastião com os sedimentos do Grupo Ilhas é transicional, enquanto que o superior com a Formação Marizal é do tipo discordante erosivo/angular (BRUNI et al., 1976).

De idade eocretácica, a Formação São Sebastião representa a última unidade estratigráfica na Bacia de Jatobá, da tectono-sequência Sin-Rifte de Ponte, Medeiros e Ponte Filho (1997).

Formação Marizal

Essa formação representa a tectono-sequência Pós-Rifte de Ponte, Medeiros e Ponte Filho (1997) na Bacia de Jatobá. Ocupa uma área de aproximadamente 200Km² com forma elipsoidal, situada a W e SW de Ibimirim, na região denominada Baixo de Ibimirim (MAGNAVITA, 1992; LEITE; PIRES; ROCHA, 2001). Morfologicamente, visualizam-se morrotes irregulares, suaves ondulações e tabuleiros com bordas irregulares. É constituída por arenitos, siltitos e argilitos, com lentes de calcário, folhelhos betuminosos e evaporitos. Segundo Rocha e Leite (1999), não se observam estruturas primárias nessa unidade, pois seus

afloramentos são constituídos essencialmente por blocos desagregados, que na maioria das vezes formam extensas cascalheiras. Segundo Menezes Filho (2015), a Formação Marizal está constituída por litotipos flúvio-deltaicos, caracterizados por arenitos intercalados com sedimentação pelítica (siltitos e argilitos).

Segundo Varejão et al. (2016), a sequência aptiana na Bacia de Tucano Norte pode ser dividida em inferior e superior. A sequência inferior compreende a porção basal da Formação Marizal e consiste em uma sucessão de arenitos fluviais, com um padrão de afinamento ascendente, terminando em um intervalo pouco espesso, menor que 15 m, e contínuo de folhelhos e calcários intercalados, tendo características de paleossolo no topo. Esse fino intervalo foi chamado de “Camada Amargosa” (FREITAS, 2014; FREITAS et al., 2017) e marca a divisão das duas sequências. Já a sequência superior aptiana também exibe um padrão de afinamento ascendente, com uma sucessão vertical começando com arenitos e folhelhos depositados em ambientes fluviais e deltaicos culminando, para o topo, em calcários laminados e folhelhos lacustres, sendo estes calcários pertencentes à Formação Crato.

Na Sub-bacia de Tucano Norte, toda a porção superior da Formação Marizal pode ser encontrada em escarpas e drenagens da Serra do Tonã, sendo esta, uma ocorrência única e de extrema importância para a definição de eventos sedimentares e reconstrução paleogeográfica do Nordeste do Brasil durante o Aptiano tardio (VAREJÃO et al., 2016).

Formação Crato

Como já foi dito anteriormente, a Formação Santana definida por Rocha e Leite (1999) foi elevada por Neumann et al. (2009), a categoria de Grupo Santana, representado pelas Formações Crato e Romualdo.

Segundo Neumann et al. (2010), Neumann e Rocha (2014) e Silveira et al. (2014) o sistema carbonático lacustre de idade aptiana da Bacia de Jatobá e Sub-bacia de Tucano Norte (calcários laminados) são semelhantes aos da Formação Crato da Bacia do Araripe. Esse sistema carbonático apresenta características semelhantes aos de mesma litologia e idade da Chapada do Araripe da Serra do Tonã (BUENO, 1996; NEUMANN et al., 2009), sendo ambos correlacionáveis ao denominado “Calcário Trari”, Campos de Atum e Xaréu, da Bacia do Ceará, que tanto é gerador quanto reservatório de petróleo. Conforme Neumann et al. (2010), Neumann e Rocha (2014) e Silveira et al. (2014), esses reservatórios análogos podem

ser encontrados na Serra Negra, Bacia de Jatobá e também na Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte.

Litologicamente a Formação Crato está caracterizada por calcissiltitos e calcilutitos fossilíferos de coloração creme a cinza claro, intercalados por arenitos e folhelhos finamente estratificados. Apresentam estratificações plano-paralelas, onduladas e bioturbações.

Formação Romualdo

Assim como a Formação Crato, o membro Romualdo foi definido na Bacia do Araripe, por Beurlen (1971), e elevado à categoria de formação por Neumann e Cabrera (1999). Na Bacia de Jatobá, semelhante à Formação Crato, sua área de afloramento é restrita às serras Negra e do Periquito apresentando uma espessura média de aproximadamente 30 metros (ROCHA, 2011; GUZMÁN et al., 2015). Na Sub-bacia de Tucano Norte, não há evidência da Formação Romualdo.

Segundo Rocha (2011), a Formação Romualdo é constituída na base por siltitos, argilitos e folhelhos, característicos de associação de fácies terrígena lacustre e no topo por calcários que se alternam com níveis de folhelhos pouco espessos. Os calcários maciços bioclásticos foram classificados como packstone contendo fragmentos de bivalves, ostracodes, gastrópodes, além de formas sugestivas de algas e foraminíferos. Os siltitos e argilitos apresentam-se em camadas com mergulho de 50° para NNW, falhados e rotacionados com estrutura em dominó, semelhante aos mergulhos do embasamento cristalino da bacia (LIMA et al., 2015; GUZMÁN et al., 2015).

Na Bacia de Jatobá, a origem da Formação Romualdo é de idade aptiano-eoalbiana (COIMBRA; ARAI; CARREÑO, 2002). Segundo diversos autores, o ambiente deposicional foi originado por um ambiente lacustrino raso, associado à planície tipo “sabkha”.

Formação Exu

Essa formação constitui a sequência de topo responsável pela morfologia aplainada da serra Negra e da serra do Periquito, em função da sua natureza psamítica-psefítica de forte diagênese e alto grau de silicificação. Assim como a Formação Romualdo, a Formação Exu também não é encontrada na Sub-bacia de Tucano Norte.

A Formação Exu está representada predominantemente por arenitos grossos a conglomeráticos com leitos finos, de coloração creme a lilás, localmente avermelhados. O conjunto de características litológicas-estruturais desse pacote sedimentar permite interpretá-lo como originário de um sistema fluvial entrelaçado "braided", para fluvial de baixa sinuosidade. Essa unidade possui idade Albiano-Cenomaniano, recobrindo as Formações Crato e Romualdo, sobre uma superfície erosional, formando uma discordância angular de baixo ângulo (PONTE; APPI, 1990; ROCHA; LEITE, 1999).

Coberturas Cenozóicas

Essas coberturas ocupam faixas bastante significativas, representadas por extensas áreas irregulares que se distribuem por toda bacia, tanto a de Jatobá quanto a de Tucano Norte. As coberturas são em grande parte responsáveis pela dificuldade de caracterização das relações de contato entre algumas unidades, como também pela não identificação de falhamentos importantes, que favoreceriam a um melhor entendimento da tectônica de implantação e evolução do Rifte (ROCHA; LEITE, 1999).

Dominantemente, as coberturas possuem caráter arenoso eluvionar, onde a fração pelítica é extremamente rara, e formam extensos areais provenientes do retrabalhamento das formações essencialmente psamíticas, tipo Tacaratu e São Sebastião.

Depósitos de talus são comuns nas cercanias das serras Negra e do Periquito, constituídos por blocos de tamanhos diversos, produto da desagregação dos arenitos silicificados da Formação Exu, que capeiam a Sequência Lacustre aptiana da Bacia do Jatobá.

A Serra Negra na Bacia de Jatobá

A Serra Negra está Situada na região do semi-árido de Pernambuco, sendo conhecida também como Reserva Biológica de Serra Negra. Trata-se de um brejo de altitude do nordeste brasileiro, sendo uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, criada em setembro de 1982 (DECRETO FEDERAL nº. 87.591) com a finalidade de proteger o último remanescente de mata Mata Atlântica em meio à Caatinga bem preservada do sertão nordestino (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBio, 2011). A Serra Negra é uma feição geomorfológica de destaque dentro da Bacia de Jatobá,

pois é a serra com maior elevação dentro da bacia, ultrapassando os 1000m de altitude acima do nível do mar (Figura 9). Está localizada próximo à falha de borda da bacia. É constituída por sedimentos Aptianos e Albianos ligados às fases de abertura do Oceano Atlântico pós-rifte-I e pós-rifte-II (NEUMANN; ROCHA, 2014). Da sua base para o topo é formada pelos sedimentos da Formação Marizal, Formação Crato, Formação Romualdo, e por último, a Formação Exu.

Figura 9 - Imagem de satélite da Serra Negra, Bacia de Jatobá, com a localização dos poços estudados.



Fonte: Google Earth (2017).

Formação Marizal

A formação Marizal, na Serra Negra, apresenta-se predominantemente como arenitos de granulação média-grossa, com níveis conglomeráticos e coloração predominantemente esbranquiçada. O contato entre a Formação Marizal e Formação Crato, sotoposta a primeira, ocorre de forma gradual.

Formação Crato

Constituída por carbonatos aptianos, do tipo calcário laminado que afloram principalmente nas escarpas e em riachos da Serra Negra. Os calcários laminados apresentam uma granulação fina (calcilutitos) e são constituídos por uma alternância de lâminas com espessuras milimétricas de cores bege-claro, bege-escuro a marrom. O contato com a

Formação Romualdo, sotoposto à Formação Crato, acontece de forma gradual a aproximadamente a 770m de altitude.

Formação Romualdo

Na região de topografia mais elevada da Serra Negra, afloram estratos siliciclásticos e carbonáticos da Formação Romualdo. Foram identificados intercalações de siltitos, argilitos, folhelhos, por vezes carbonático, ocorrendo também pacotes de arenitos finos micáceos (Figura 10).

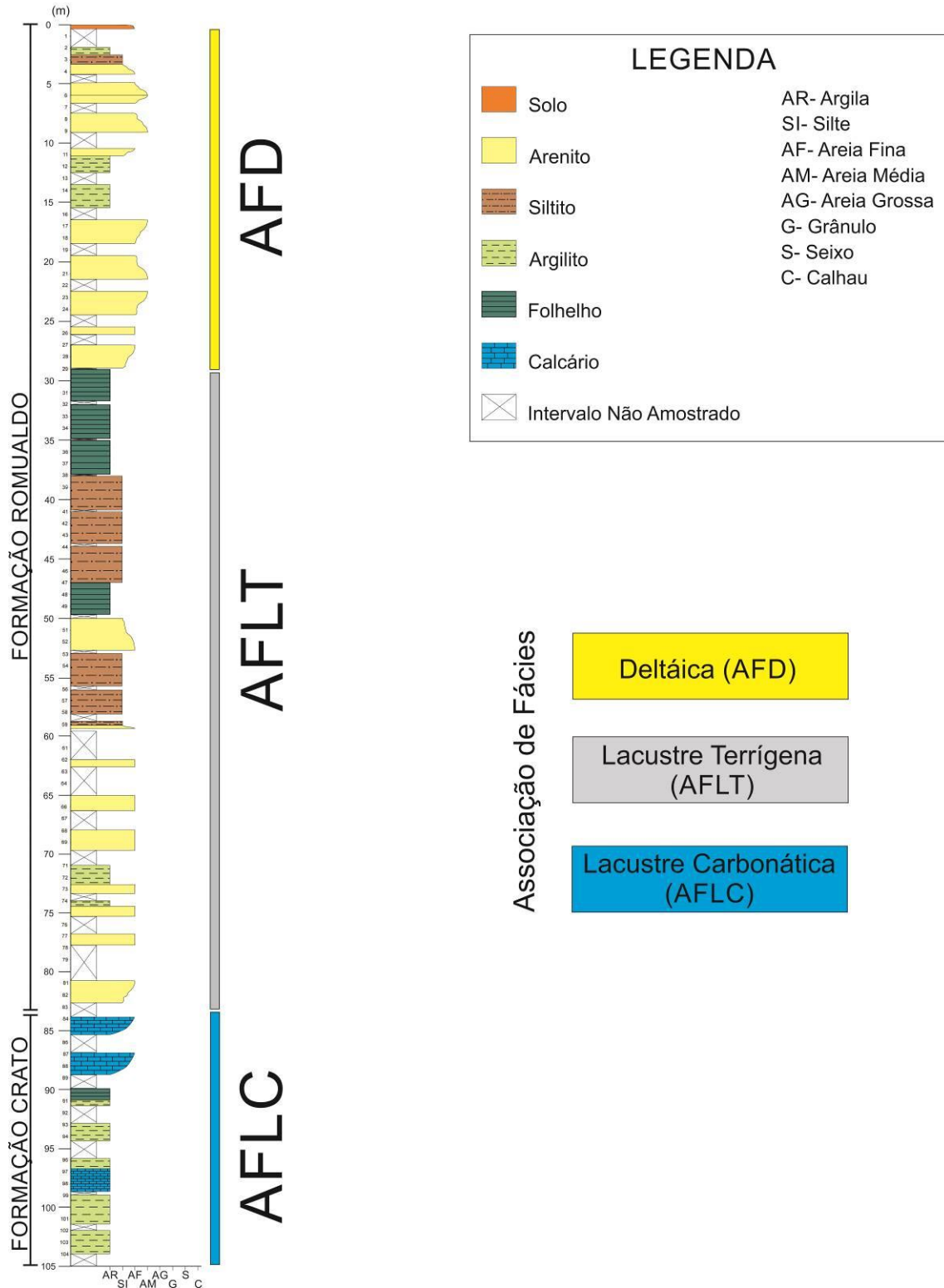
Os siltitos e argilitos identificados em afloramentos se apresentam, muitas vezes, falhados e rotacionados, com estrutura em dominó, sugerindo que seguem o mesmo comportamento do embasamento cristalino. O contato com os arenitos da Formação Exu acontece de maneira gradual, a aproximadamente 860m altitude acima do nível do mar.

Formação Exu

A formação Exu é representada por um arenito bem litificado, oxidado, predominando a estratificação cruzada acanalada e tabular, podendo apresentar também estratificação do tipo plano-paralela. As rochas da Formação Exu ocorrem na Serra Negra de forma escarpadas, e o seu topo na forma de tabuleiro, com direção de geral ENE-WSW, seguindo o sentido da falha de borda da Bacia de Jatobá.

Figura 10 - Perfil do Poço 2-JB-SN-2A-PE abrangendo parte dos litotipos da Formação Romualdo e Crato, encontrados próximo ao topo da Serra Negra, Bacia de Jatobá.

Poço 2-JB-SN-2A-PE

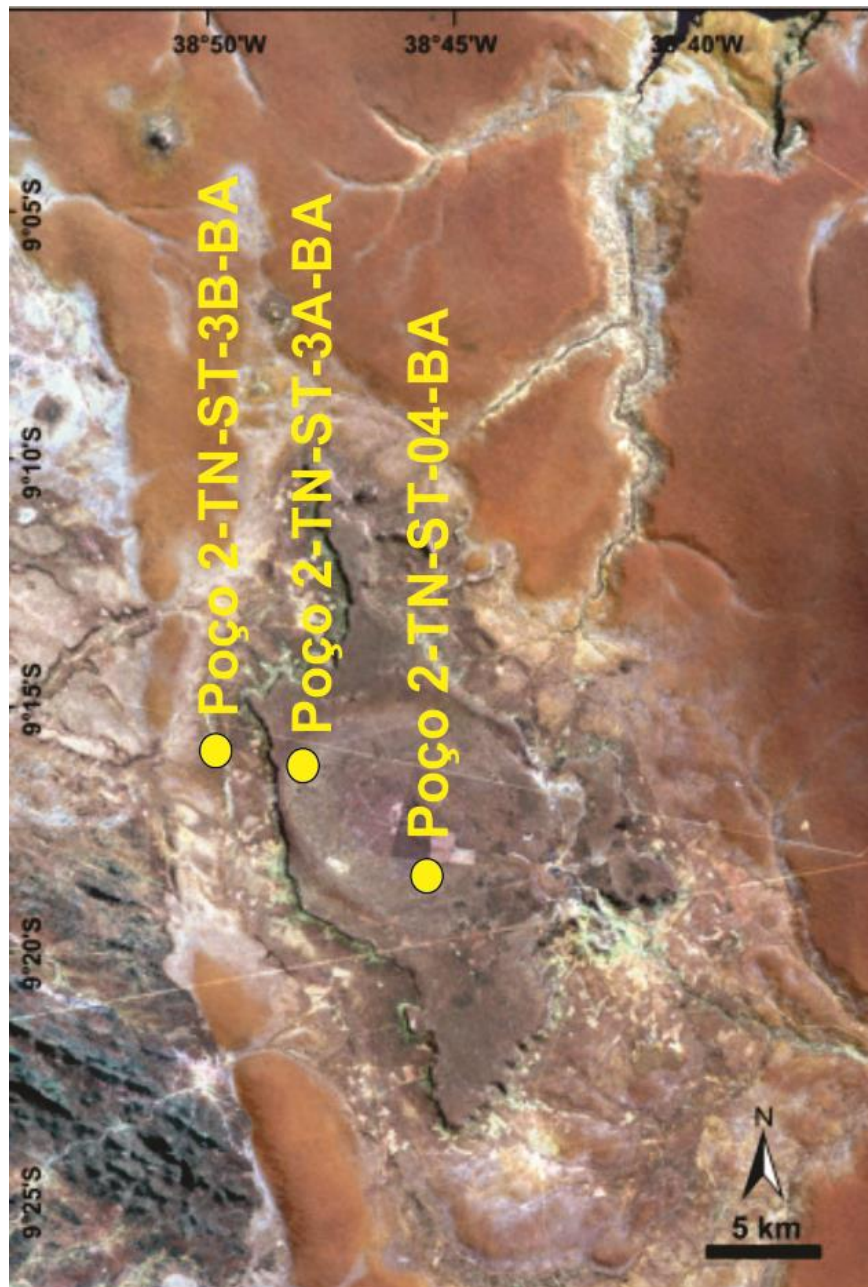


Fonte: Próprio autor.

A Serra do Tonã na Sub-Bacia de Tucano Norte

A Serra do Tonã representa a feição geomorfológica de maior destaque na Sub-bacia de Tucano Norte. Revela-se através de uma estrutura geológica levemente escarpada, com topo em forma de chapada e orientação geral norte-sul (Figura 11).

Figura 11 - Imagem de satélite (LANDSAT) da Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte, com a localização dos poços estudados.



Fonte: Modificado de Varejão et al. (2016).

Corresponde ainda a um morro testemunho da sequência sedimentar pós-rifte recoberta por sedimentos quaternários inconsolidados, que são resultados de sua erosão e remobilização. A extensiva ocorrência de coberturas recentes, não apenas nos limites da Serra do Tonã, mas além destes, é responsável por encobrir grande parte dos intervalos estratigráficos da Sub-bacia de Tucano Norte.

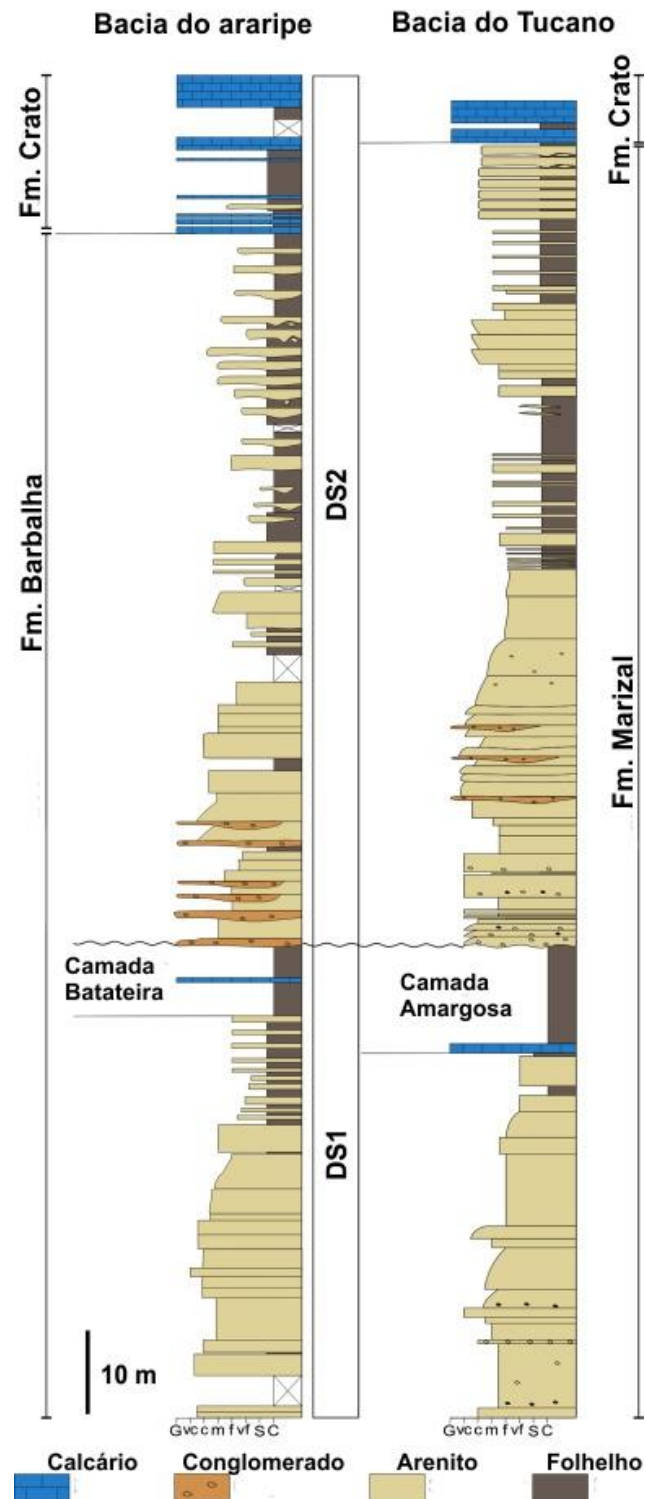
Foram observadas as exposições de dois intervalos estratigráficos relacionados à Serra do Tonã: o primeiro intervalo corresponde à Formação Marizal, que se inicia por uma “Camada Amargosa”, exposta na base da serra. O segundo e mais expressivo intervalo, porém de menor espessura, está relacionado à sequência carbonática do topo da Serra do Tonã, expostas na forma de placas de calcário laminado, denominado de Formação Crato (SILVEIRA et al., 2014; VAREJÃO et al., 2016).

A sucessão aptiana da Sub-bacia do Tucano Norte consiste em duas sequências deposicionais, SD1 e SD2, ligadas por uma descontinuidade regional (VAREJÃO et al., 2016). Segundo o mesmo autor, a sequência inferior, ou sequência SD1, baseia-se numa desconformidade erosional, localmente angular, sobre depósitos “sin-rifte” do Barremiano, composta por uma seção de aproximadamente 150m de espessura, dominada por arenitos, terminando por um intervalo de folhelho e carbonatos de aproximadamente 5 a 15m de espessura. Porém, esta porção basal não é encontrada na Serra do Tonã, exceto o intervalo de folhelhos e carbonatos.

Já a sequência deposicional superior, ou sequência SD2, também é dominada por arenitos na parte inferior, principalmente, nos primeiros 60m. Nos próximos 50m de espessura, os sedimentos vão, progressivamente no sentido do topo da camada, ficando ricos em grãos tamanho argila, terminando com aproximadamente 20m de calcários laminados intercalados por folhelhos da Formação Crato (SILVEIRA et al., 2014; VAREJÃO et al., 2016). Silveira et al. (2014) chamou esses sedimentos pelíticos da Formação Marizal de Associação de Fácies Deltaica-Lacustre (AFDL). Em afloramento, esses níveis são maciços, de coloração esbranquiçada e possuem espessura de até 25cm. Reagem relativamente bem ao ataque de ácido clorídrico a 10%, revelando uma composição carbonática em sua constituição.

Segundo Varejão et al. (2016), a ligação entre as duas sequências, SD1 e SD2, é uma descontinuidade regional, marcada por um período não deposicional e formação de paleossolo (Figura 12).

Figura 12 - Correlação do perfil vertical do Rio Batateira, Bacia do Araripe (ASSINE et al., 2014) e o perfil do poço 2-TN-ST-BA na Serra do Tonã, nas proximidades de Salgado do Melão, Bacia de Tucano Norte.



Fonte: Modificado de Varejão et al. (2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES - SERRA NEGRA

DISCUSSÕES INICIAIS

Nas últimas duas décadas, com as descobertas de grande potencial petrolífero nos reservatórios do pré-sal das Bacias de Campos e Santos, as atenções das empresas, centros de pesquisa e exploração em hidrocarbonetos se voltaram para o estudo dessas rochas que compõem, em específico, esse tipo de reservatório. Como as rochas do pré-sal, daquela região, são de difícil acesso devido as grandes espessuras de sedimentos e lâmina de água, uma maneira de compreendê-los é através do estudo de análogos em superfície ou próximo a ela. Sendo assim, a Serra Negra e a Serra do Tonã, na Bacia de Jatobá e Sub-bacia de Tucano, respectivamente, possuem algumas características como idade e litologia semelhantes aos reservatórios do pré-sal, o que desperta o interesse de estudos nessas regiões.

Muitos dos estudos de análogos na Serra Negra foram realizados por Neumann et al. (2010, 2011), Neumann e Rocha (2013, 2014) e Rocha et al. (2016). Um dos trabalhos mais recentes e de grande relevância foi realizado por Rocha (2011) em sua tese de doutorado, na qual o autor descreveu, dentre outras etapas, um perfil de poço coletado na Serra Negra (Figura 13). Esse autor caracterizou a Formação Crato através de amostras de um testemunho de poço estratigráfico, em sedimentos: psamíticos com estratificações cruzadas acanaladas e plano-paralelas; pelíticos com bioturbações e concreções carbonáticas, ou ainda intercalados com arenitos. Estes sedimentos foram distribuídos e organizados pelo mesmo autor em associações de fácies deltaica e terrígena lacustre e, principalmente, por uma associação de fácies carbonática composta por ritmitos argilo-carbonáticos e calcários laminados que ocorrem de forma expressiva ao longo de toda formação. Outros trabalhos, de autorias mais recentes, como: Gratzner et al. (2013); Neumann e Rocha (2013, 2014); Neumann e Assine (2015); Lima et al. (2015) e Rocha et al. (2016) também caracterizaram os sedimentos aptianos da Serra Negra.

Lima et al. (2015) identificou estruturas como escorregamentos (*slumps*) e pseudomorfos de sal fraturando os calcários laminados da Formação Crato, além de microfalhas com influência tectônica e microestruturas do tipo “loop bedding” gerados diageneticamente por sobrecargas. Nas lâminas do calcário laminado, de coloração amarronzada, o autor observou pirritas framboidais parcialmente oxidadas (Figura 14).

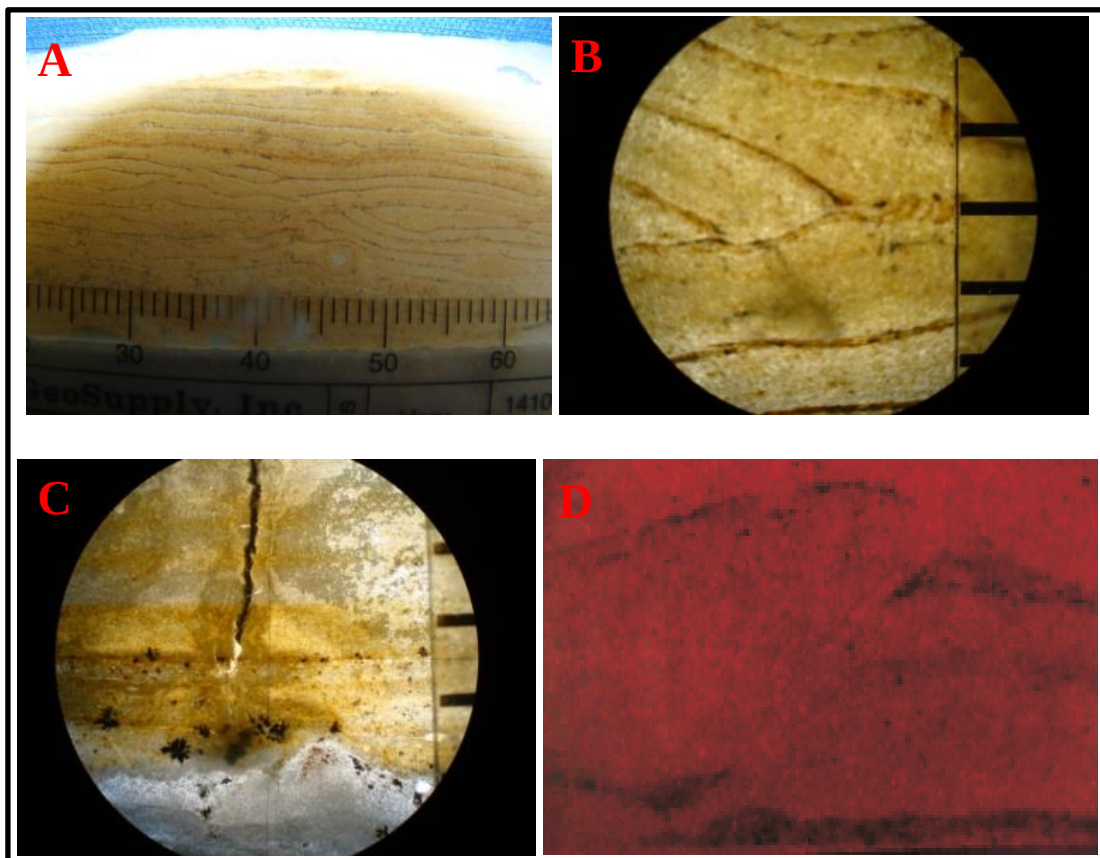
Figura 13 - Perfil esquemático do poço 2-JSN-01-PE realizado na Serra Negra, Bacia de Jatobá.

Poço 2-JSN-01-PE- Perfil Esquemático



Fonte: Modificado de Rocha (2011).

Figuras 14 – A e B- Fotomicrografias com estruturas do tipo loop-bedding nos calcários laminados aptianos da bacia do Jatobá. A equidistância das linhas pretas da escala é igual a 1 mm; C – Fratura preenchida por pirita framboidal; D- Microfalha observada com auxílio da catoluminescência.

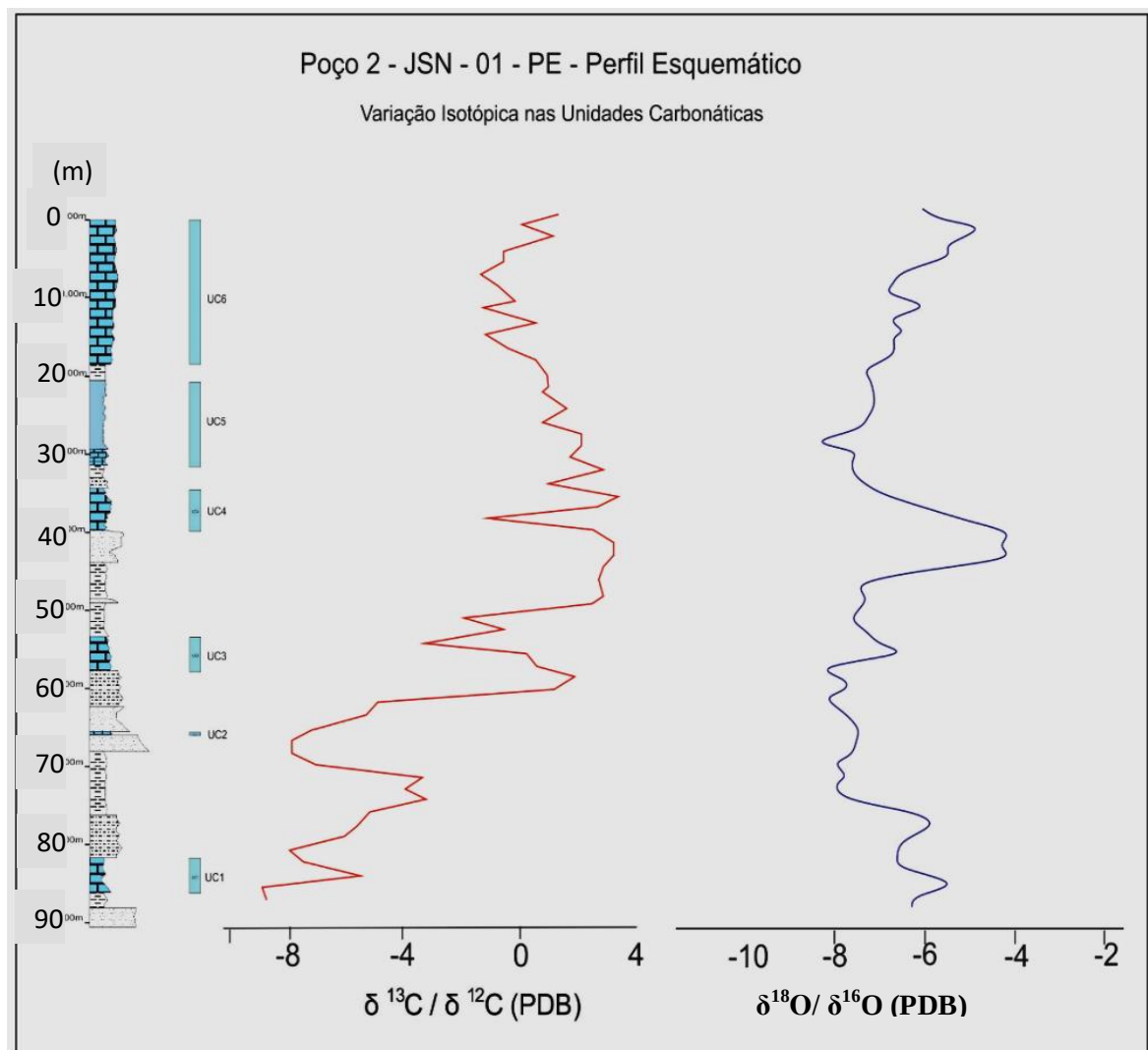


Fonte: Lima et al. (2015).

Os estudos dos isótopos estáveis de ^{13}C e ^{18}O realizado por Gratzer et al. (2013) e Rocha et al. (2016) ajudaram numa melhor compreensão sobre o comportamento hidrológico e paleoambiental do sistema lacustre aptiano da Bacia de Jatobá. A utilização desses isótopos como uma ferramenta tem sido bastante eficaz na caracterização de ambientes lacustres e está bastante difundida no meio científico (TALBOT, 1990; KELTS; TALBOT, 1990; VALERO-GARCÉS et al., 1999; PAZ; ROSSETTI, 2006; ROCHA, 2011; GRATZER et al., 2013; SILVEIRA et al., 2014; NEUMANN et al., 2009, 2010; ROCHA et al., 2016).

Rocha et al. (2016) realizaram estudos de isótopos em amostras de calcários laminados e ritmitos argilo-carbonáticos da Formação Crato, na Serra Negra. Em seus resultados, os valores do $\delta^{18}\text{O}$ se apresentam negativos e com pouca variação em contraste com os valores do $\delta^{13}\text{C}$, onde mostram desde valores muito negativos, na porção inferior do poço, até valores positivos em sua porção superior (Figura 15).

Figura 15 - Variação isotópica nas unidades carbonáticas do poço 2-JSN-01-PE.



Fonte: Rocha et al. (2016).

Esses dados revelam que, na parte mais inferior do poço, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ estão muito negativos devido ao alto teor de matéria orgânica e a influência marcante da atividade microbiana na formação dos carbonatos (calcários peloidais e folhelhos ricos em matéria orgânica). Já os valores mais positivos $\delta^{13}\text{C}$ para o topo indicam uma descida rápida do nível da água lacustre, incrementando as condições salinas do lago.

Para reforçar esse estudo e dar continuidade às pesquisas iniciadas anteriormente, neste e nos próximos capítulos serão apresentados novos dados sobre litofácies, petrografia e geoquímicas da sequência aptiana das Formações Crato e Marizal presentes na Serra Negra e Serra do Tonã. Serão também apresentados novos estudos geofísicos de gravimetria

envolvendo as áreas onde as serras estão situadas dentro das bacias sedimentares. Esses dados irão reforçar e contribuir com a tese de um grande paleolago Aptiano que se formou na região e que envolve a Bacia de Jatobá e Sub-bacia de Tucano Norte, além é claro, de contribuir ainda mais com os estudos de reservatórios análogos do pré-sal.

RESULTADOS

4.1 SUPERSEQUÊNCIA PÓS-RIFTE RELACIONADA A SERRA NEGRA, BACIA DE JATOBÁ - CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

Nas áreas de estudos, em ambas as bacias Jatobá e Tucano Norte, duas unidades litológicas sedimentares pós-ritte foram trabalhadas. São elas as formações Marizal e Crato.

Os sedimentos da Formação Marizal, na Serra Negra, Bacia de Jatobá, são representados por sedimentos de sistema fluvial de idade aptiana. Em afloramentos, estes sedimentos são formados predominantemente por arenitos de granulação fina a grossa, com níveis conglomeráticos e argilosos, coloração predominantemente esbranquiçada, com níveis ferruginosos. Apresentam estratificações cruzadas acanalada e tabular.

A sequência lacustre aptiana da Bacia do Jatobá representa a terceira manifestação lacustre dentro da bacia, porém, diferente da Sub-bacia de Tucano Norte que possui apenas a Formação Crato como representante desse sistema, podemos encontrar na Bacia de Jatobá as formações Crato e Romualdo do Grupo Santana, descrito por Neumann et al.(1999) e Neumann e Cabrera (1999). O preenchimento sedimentar lacustre Aptiano na Serra Negra apresenta uma espessura média de 170 metros. A Formação Crato é constituída por litótipos flúvio-lacustres que se intercalam com carbonatos lacustres laminados, estes últimos dominam a porção superior da formação.

Na Serra Negra, todos os litotipos aqui citados, das formações Marizal e Crato, apresentam-se encobertos de forma esparsa, porém com muita frequência, por depósitos coluviais resultantes da erosão dos arenitos silicificados da Formação Exu, que se sobrepõe a toda sequência.

4.1.1 A Formação Marizal na Serra Negra – Bacia de Jatobá

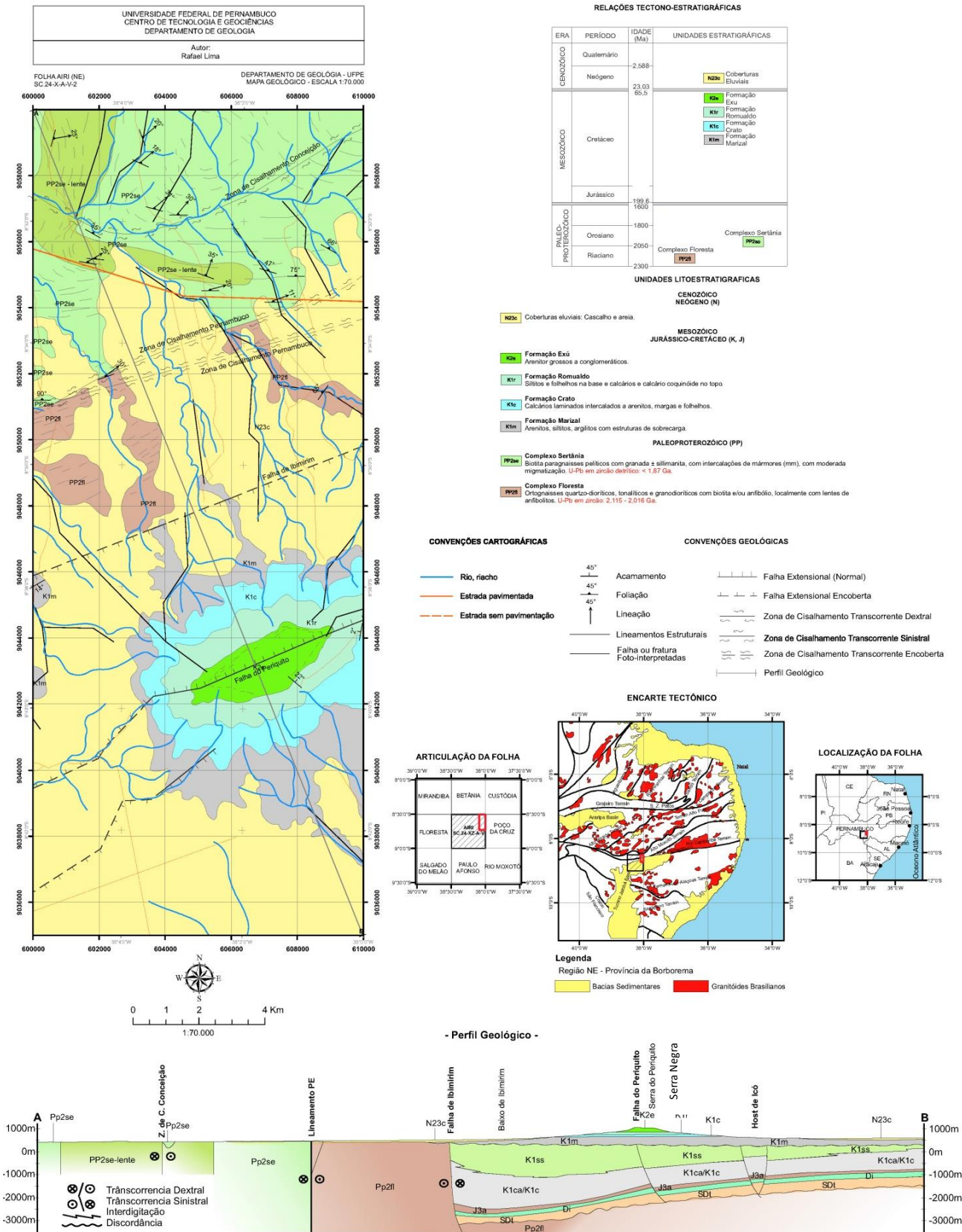
Dentro da área de estudo, a Formação Marizal constitui os sedimentos presentes no sopé da Serra Negra, que está situada na região centro-sul da área mapeada, próximo à borda falhada da Bacia de Jatobá (Figura 16). Os sedimentos da Formação marizal são caracterizados pela predominância, em afloramentos, de arenitos finos a grossos, que podem ser observados principalmente da base do poço 2-JB-SN-2B-PE até a porção intermediária do poço, na profundidade de 47m (Figura 17).

O estudo do perfil estratigráfico do poço 2-JB-SN-2B-PE e as observações realizadas em trabalhos de campo, aliados aos estudos petrográficos (Quadro 1), permitiram individualizar na Formação Marizal uma Associação de Fácies Fluvial (AFF), separada por um evento lacustre (Figura 18). Pôde-se ainda, subdividir a AFF em seis (06) litofácies (Tabela 2).

A Associação de Fácies Fluvial no poço 2-JB-SN-02B-PE é formada por arenitos muito finos a muito grossos, predominando o fino, arenitos calcíferos, folhelhos, folhelhos intercalados com arenitos e argilitos calcíferos que se distribuem desde a base até a porção intermediária do poço. O evento lacustre dentro da Formação Marizal possui aproximadamente 5m de espessura de sedimentos, sendo composto por folhelhos escuros micáceos, folhelhos escuros calcíferos e calcário laminado. Este mesmo evento foi observado na Sub-bacia de Tucano Norte por Varejão et al. (2016), onde é conhecida por “Camada Amargosa”.

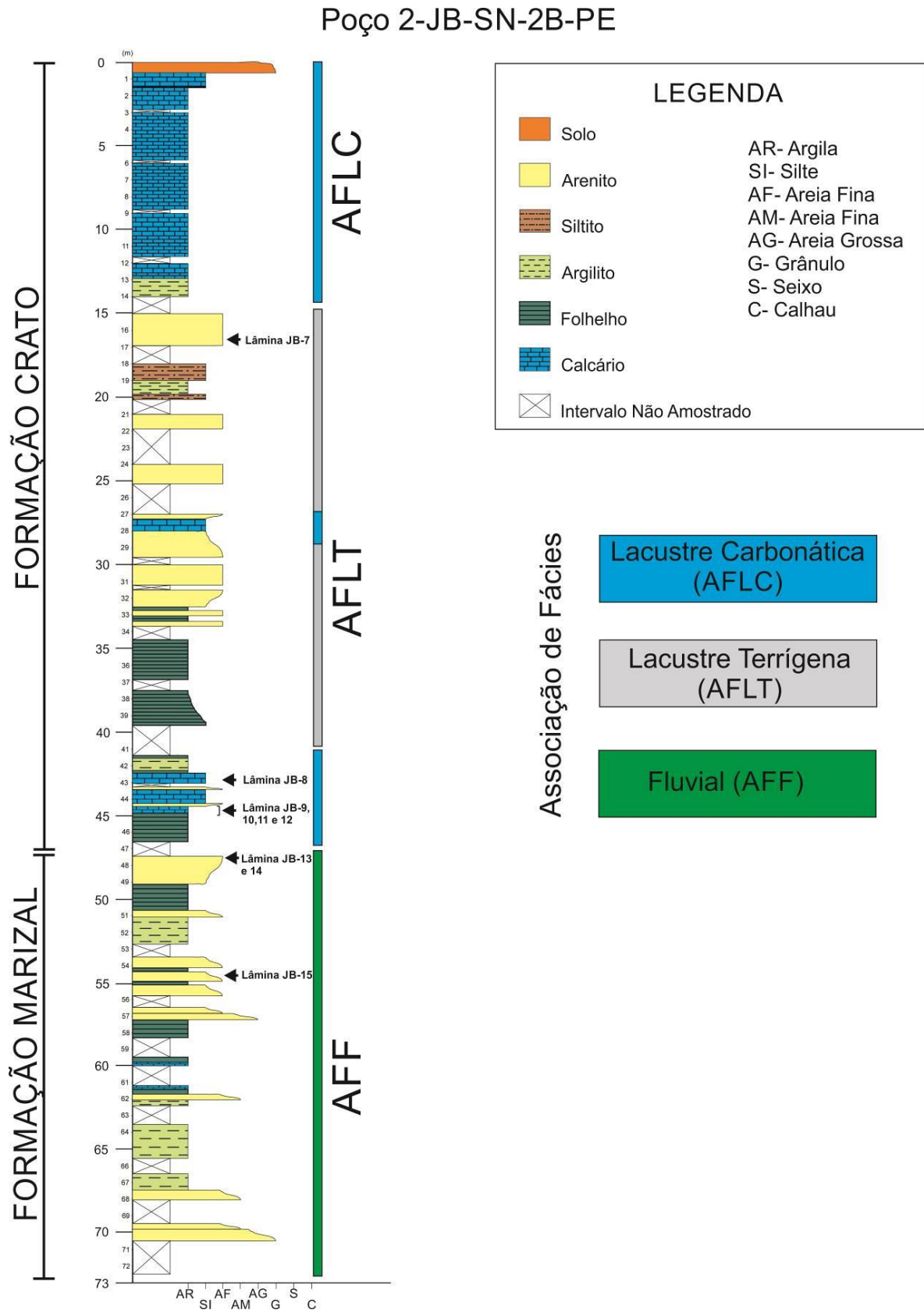
Figura 16 - Mapa Geológico da área de estudo na Bacia de Jatobá.

MAPA GEOLÓGICO NORDESTE DA FOLHA AIRI



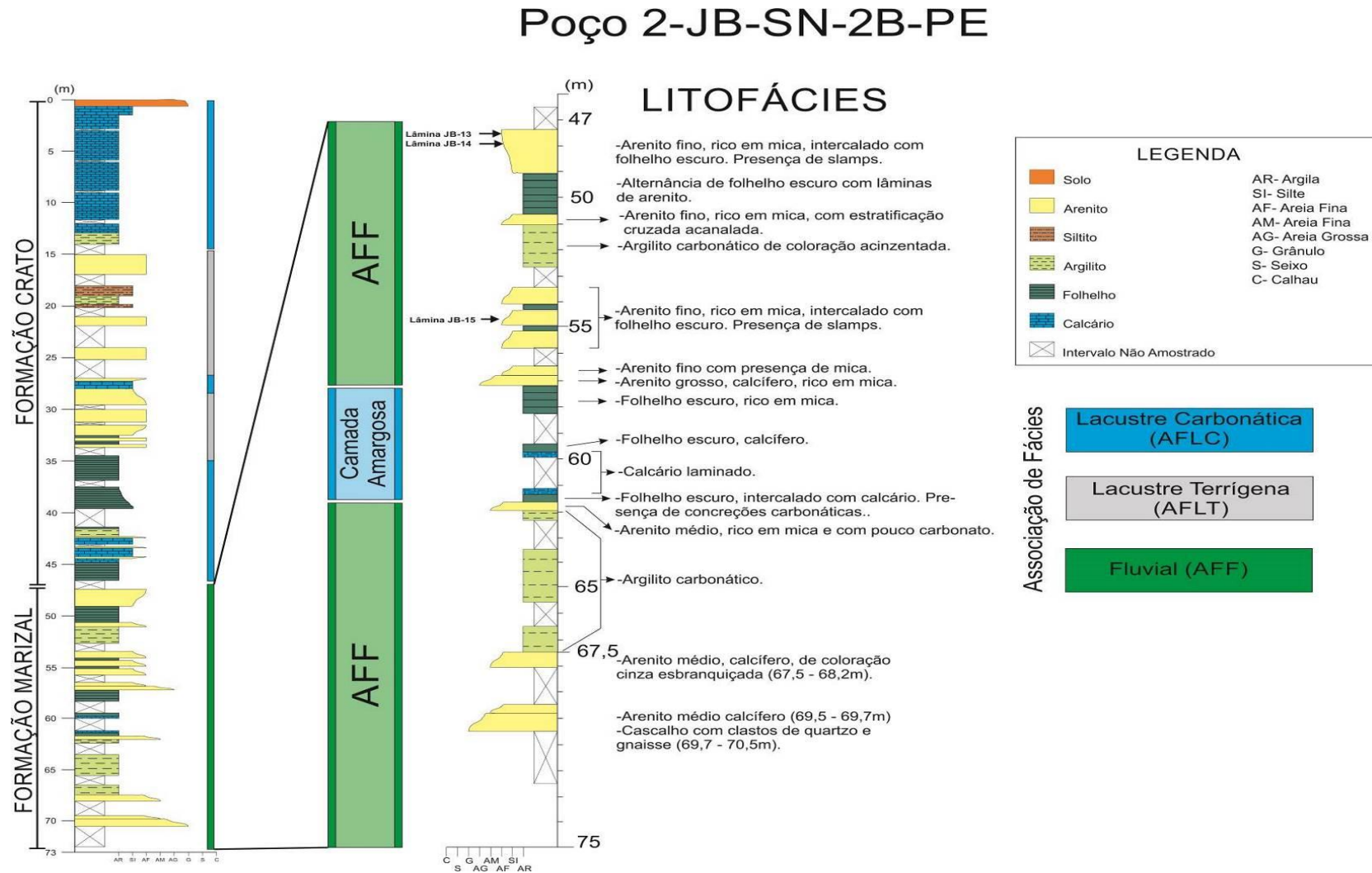
Fonte: Próprio autor

Figura 17 - Poço estratigráfico 2-JB-SN-2B-PE destacando as formações Marizal e Crato na Serra Negra, Bacia de Jatobá.



Fonte: Próprio autor.

Figura 18 - Perfil do Poço 2-JB-SN-2B-PE com a descrição da Associação de Fácies Fluvial (AFF).



Fonte: Próprio autor.

Tabela 2 – Resumo das litofácies aptianas encontradas nos poços 2-JB-SN-02A-PE e 2-JB-SN-02B-PE.

FORMA-ÇÃO	ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES	LITOFÁCIES	DESCRIÇÃO
CRATO	Lacustre Carbonática (AFLC)	Co	Calcário com ostracodes. Rocha composta por matriz micrítica e carapaças bem preservadas de ostracodes
		Cp	Calcário peloidal. Rocha composta por massa carbonática micrítica e pelóides circundados por esteiras algálicas.
		Cm	Calcários maciços de coloração acinzentada, com granocrescência ascendente.
		Cs	Calcário com siliciclásticos. Rocha dominada por uma matriz micrítica com clastos de quartzo disperso.
		Cl	Calcário Laminado variando a coloração entre castanho-claro e castanho-escuro, podendo apresentar "slumps".
		Csp	Calcário rico em siliciclastos, com níveis de pirita e enxofre.
		Rac	Ritmitos argilo-carbonáticos de coloração predominantemente esverdeada para os sedimentos pelíticos.
	Lacustre Terrígeno (AFLT)	AFI	Arenito fino laminado, calcífero, micáceo, podendo apresentar estruturas de escape de flúidos.
		F	Folhelho cinza-escuro, por vezes micáceo ou calcífero com pouca mica.
		Ac	Argilito calcífero
MARIZAL	Fluvial (AFF)	AFm	Arenito fino, macáceo, intercalado com folhelho escuro, com presença de "slumps"
		AFc	Arenito fino, calcífero, micáceo
		AMc	Arenito médio, calcífero
		C	Arenito conglomerático com clastos de quartzo e gnaisse
		Fc	Folhelho escuro calcífero
		Aa	Argilito carbonático acinzentado

Associação de Fácies Fluvial (AFF)

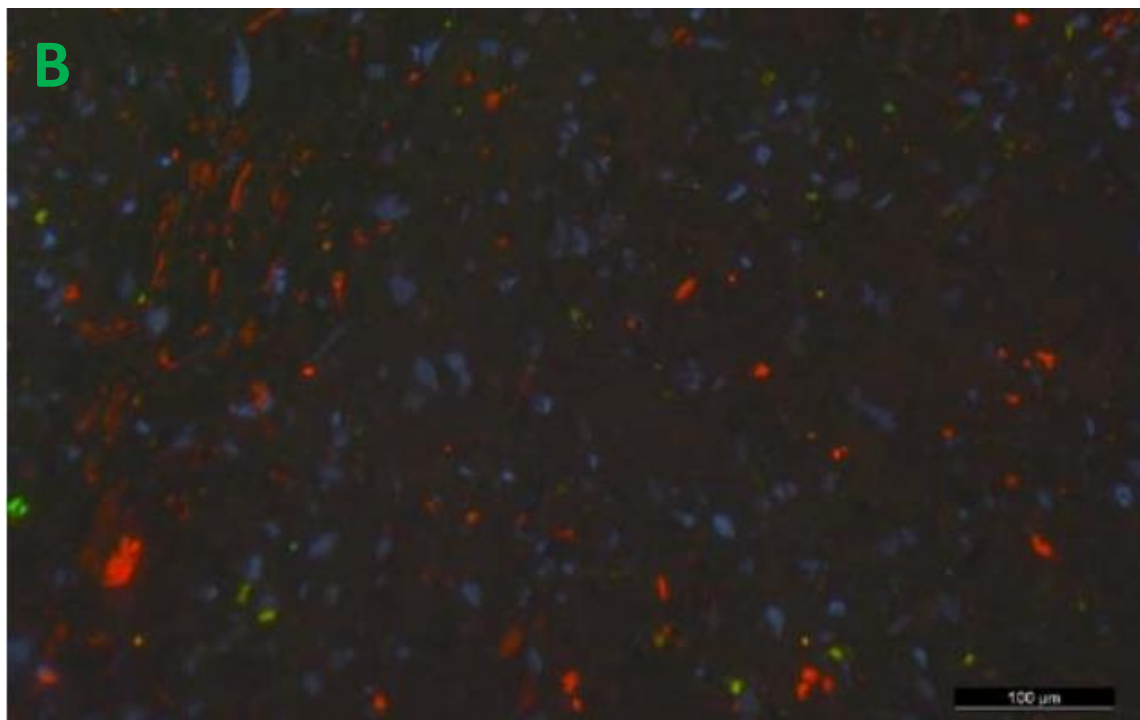
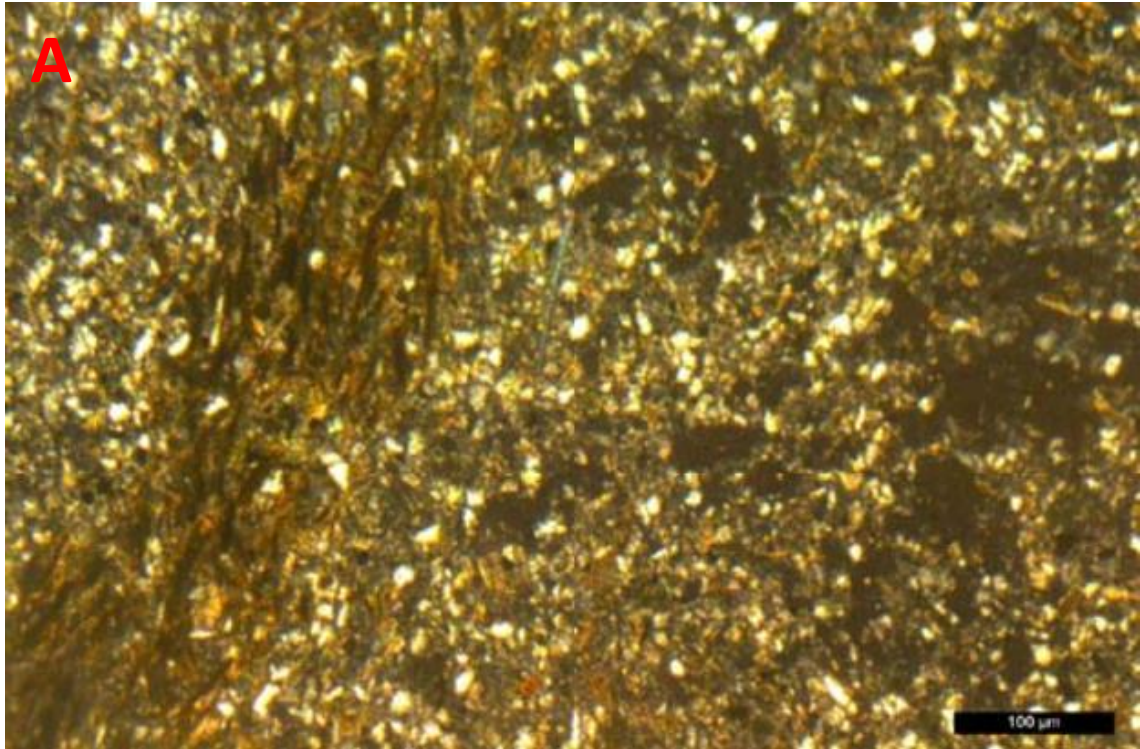
São observados sedimentos predominantemente arenosos na base, com um padrão de afinamento ascendente, ou ainda, com tendência de intercalação entre sedimentos arenosos e pelíticos para o topo. Assim, foram identificadas seis (6) litofácies caracterizando a Associação de Fácies Fluvial.

LITOFÁCIES AFm- Trata-se de um arenito fino, por vezes micáceo e laminação plano-paralela ou cruzada acanalada, composto por grãos de quartzo subarredondados a subangulosos. Através das lâminas JB-13, ilustrada pela Figura 19, observou-se uma matriz argilosa (argila de infiltração), cimento de óxido e hidróxido de ferro, e carbonático (vermelho na catodoluminescência). A rocha é composta predominantemente por grãos de quartzo monocristalinos (até 95% monocristalinos), indicando uma rocha fonte provavelmente ígnea. Observa-se também a presença de feldspatos (plagioclásio e microclima), muscovita e biotita bastante orientadas e concentradas. O empacotamento entre os grãos é frouxo, porém, quando há contato é do tipo tangencial. As muscovitas estão bem preservadas, o que indica um provável soterramento rápido. Os pontos azuis brilhantes identificados na Catodoluminescência (CL) são feldspatos, já os azuis pálidos e marrons escuros são de quartzo. Os pontos verdes na CL podem se tratar de quartzo metamórfico. A porosidade observada é do tipo intergranular.

LITOFÁCIES AFc- É formada por um arenito fino calcífero, micáceo, de coloração cinza-esverdeado, composto por grãos de quartzo subarredondados a subangulosos, empacotamento frouxo e disperso num cimento carbonático. Através das lâminas petrográficas JB-14 e JB-15 (Figuras 20 e 21) se observou cimento de óxido e hidróxido de ferro, e grãos de quartzo monocristalinos (até 95%), ou seja, de uma provável rocha fonte não metamórfica. Observa-se, porém em menor quantidade, feldspatos, biotita e muscovita. As biotitas estão concentradas na parte intermediária da lâmina delgada JB-14, estando bastante conservadas, indicando um provável soterramento rápido. Na catodoluminescência, o cimento carbonático apresenta uma coloração avermelhada e os pontos verdes podem ser cristais de quartzo metamórfico. A porosidade é do tipo intergranular.

Figura 19 - Fotomicrografia da Lâmina JB-13 correspondente aos arenitos da Litofácies AFm (Arenito fino, de laminação plano-paralela). A- Nícleos cruzados e B- Catodoluminescência.

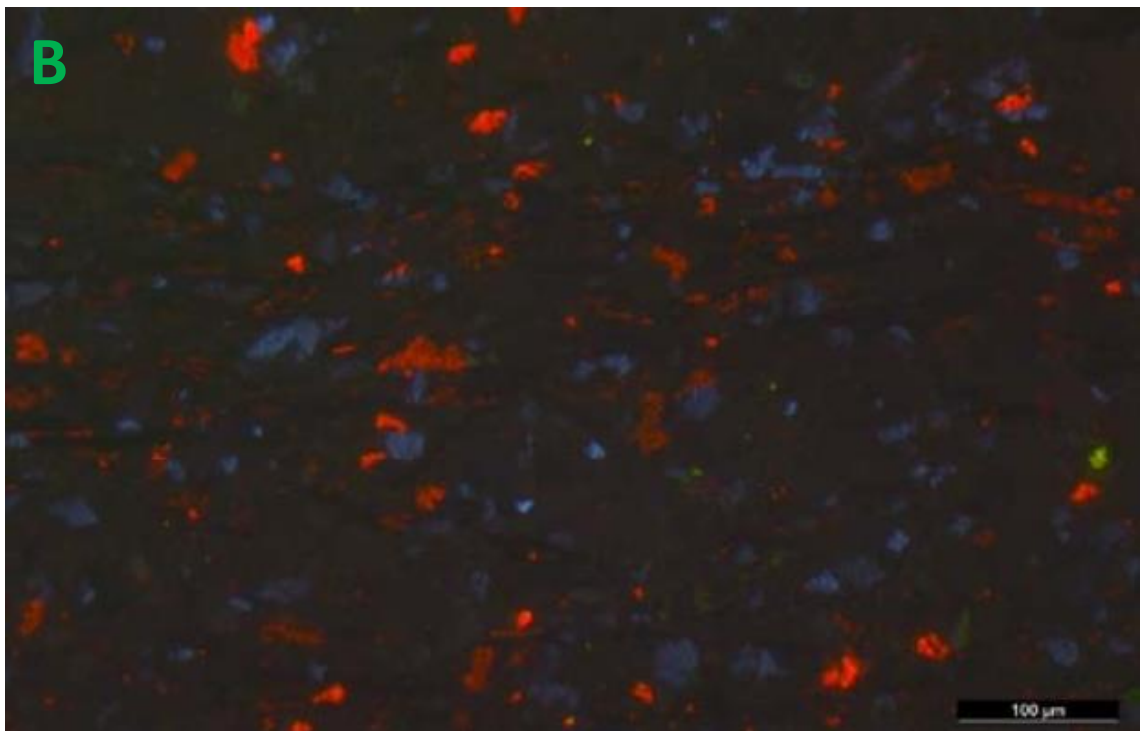
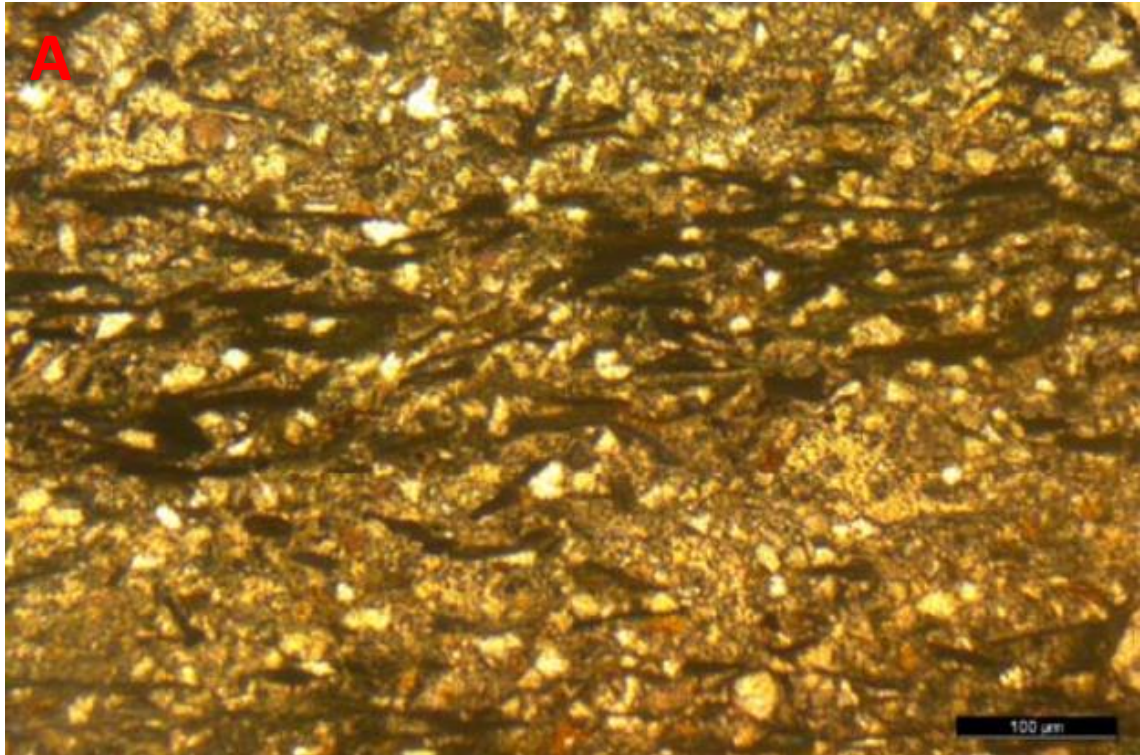
LITOFÁCIES AFm



Fonte: Próprio autor.

Figura 20 - Fotomicrografia da lâmina JB-14 correspondentes aos arenitos da Litofácies AFc (Arenito fino calcífero). A- Nicóis cruzados e B- Catodoluminescência.

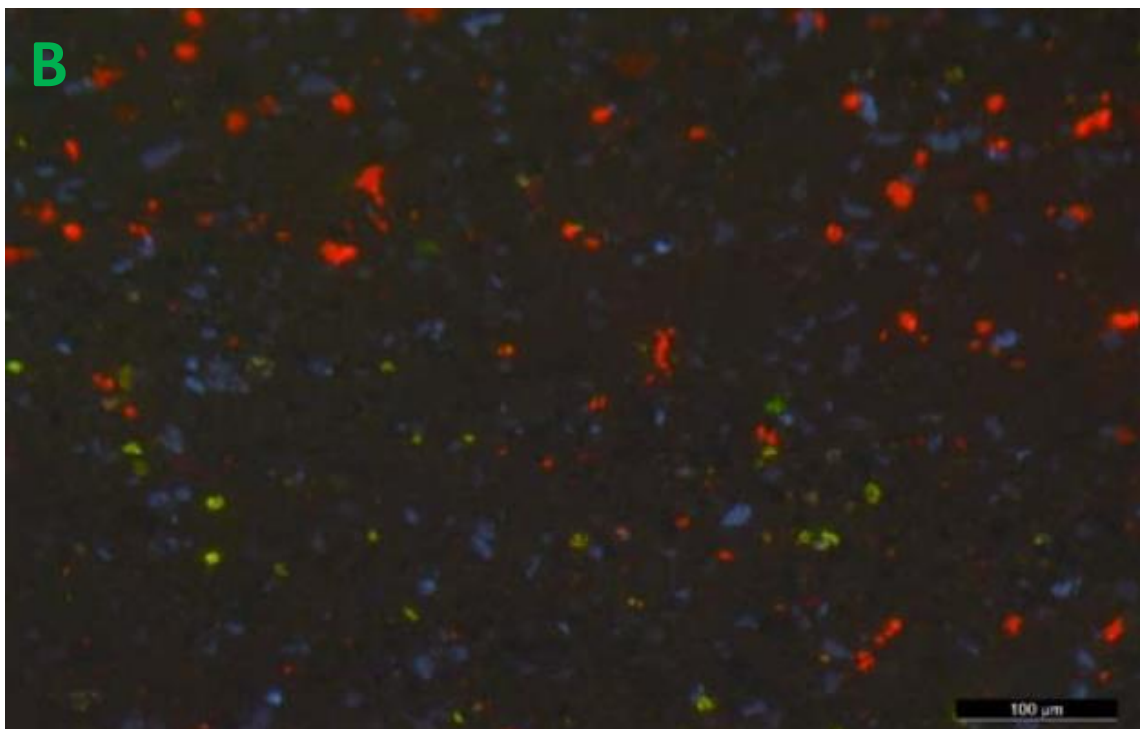
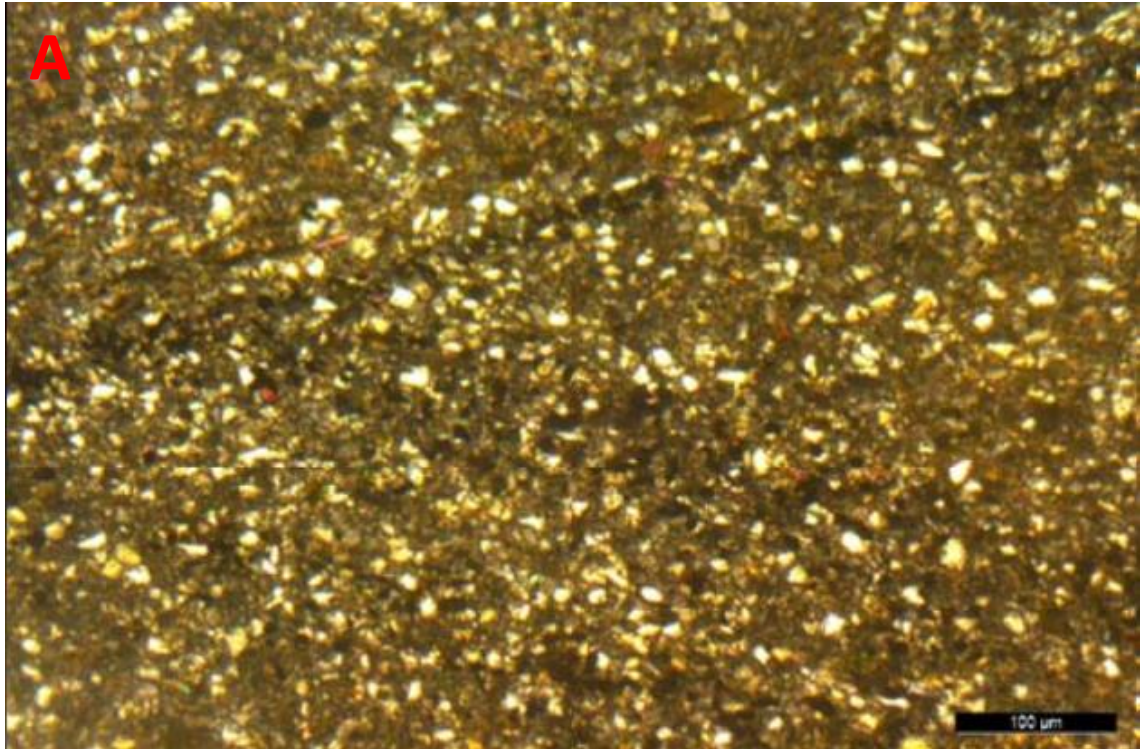
LITOFÁCIES AFc



Fonte: Próprio autor.

Figura 21 - Fotomicrografia da lâmina JB-15 correspondentes aos arenitos da Litofácies AFc (Arenito fino calcífero). A- Nicóis cruzados e B- Catodoluminescência.

LITOFÁCIES AFc



Fonte: Próprio autor.

CAMADA AMARGOSA – É uma pequena sequência de deposição lacustre que divide duas sequências deposicionais tipicamente de ambiente fluvial. É uma descontinuidade caracterizada por uma seção mista de carbonatos e siliciclásticos, composta por uma alternância de folhelhos escuros calcíferos e calcário laminado.

Essa seção caracteriza um ambiente lacustre dentro da Formação Marizal, interrompendo uma sequência de deposição fluvial. Esse mesmo intervalo já foi identificado em outras bacias correlatas como no sopé da Serra do Tonã, Bacia de Tucano Norte, onde também foi chamada de “Camada Amargosa” (FREITAS, 2014; VAREJÃO et al., 2016; FREITAS et al., 2017).

Na Serra Negra, essa camada foi identificada na profundidade entre 57 a 62m do poço 2JB-SN-2B-PE, com 5m de espessura aproximadamente, ou seja, a partir de uma cota de 638m acima do nível do mar, diferente da Serra do Tonã que a mesma camada é observada a 439m de altitude acima do nível do mar. Já dentro da Bacia do Araripe é encontrada na Formação Barbalha, que é correlata da Formação Marizal das bacias de Jatobá e Tucano Norte, sendo chamada de “Camada Batateira” (HASHIMOTO et al., 1987; ASSINE, 2007).

LITOFÁCIES AMc- Representado por um arenito de granulação média-grossa, com níveis conglomeráticos e coloração predominantemente esbranquiçada com níveis ferruginosos e leve presença de carbonato na matriz. Predominam grãos de quartzo subangulosos a sunarredondados. Também se observou forte presença de micas. Essa litofácies aflora predominantemente no sopé da Serra Negra e caracteriza um sistema fluvial e de leques aluviais, apresentando estratificações cruzada acanalada e tabular, lóbulos sigmoidais e estrutura de sobrecarga (Figuras 22, 23 e 24).

Figura 22 - Visão geral dos arenitos da Formação Marizal da Litofácies AMc, no sopé da Serra Negra.



Fonte: Próprio autor.

Figura 23 – Afloramento de arenitos fluviais da Formação Marizal, Litofácies AMc, apresentando estratificações cruzadas acanaladas, próximo ao sopé da Serra Negra.



Fonte: Próprio autor.

Figura 24 - Estrutura de chama observada na Formação Marizal, Litofácies AMc, no contato do arenito com uma camada argilosa. no sopé da Serra Negra, Bacia de Jatobá.



Fonte: Próprio autor.

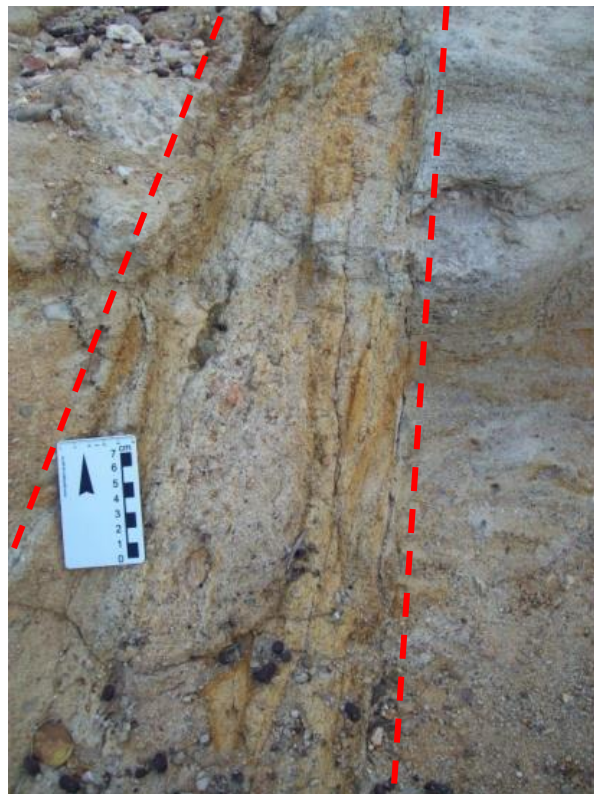
LITOFÁCIES C- Caracterizada por um arenito conglomerático composto por clastos de quartzo e gnaiss, coloração esbranquiçada a alaranjada, com níveis ferruginosos. Apresenta predominantemente estratificação cruzada acanalada (Figura 25). Nessa litofácies observou-se a presença de bandas de deformação com brechas tectônicas (Figura 26). Estas brechas seguem as mesmas direções de orientação, predominantemente N-S, das fraturas tardias do embasamento cristalino, observadas próximas à borda da bacia. O sentido das paleocorrentes é preferencialmente para SE.

Figura 25 - Arenitos da Fácies AMc, Formação Marizal, apresentando níveis ferruginosos na base das estratificações cruzadas acanaladas (indicado pela seta vermelha).



Fonte: Próprio autor.

Figura 26 - Arenito da Litofácies AMc, Formação Marizal, apresentando bandas de deformação com brechas tectônicas, nas proximidades da Serra Negra, Bacia de Jatobá.



Fonte: Próprio autor.

LITOFÁCIES Fc- Representada por um folhelho escuro calcífero, podendo estar intercalado por finas lâminas de arenito fino.

LITOFÁCIES Aa- Representado por um argilito carbonático acinzentado.

4.1.2 Formação Crato na Serra Negra – Bacia de Jatobá

A Formação Crato é encontrada na Serra Negra, Bacia de Jatobá, a partir da cota topográfica de aproximadamente 650m e tem como contato subjacente a Formação Marizal. Apresenta uma espessura média de aproximadamente 140 metros, sendo a principal unidade estratigráfica da sequência lacustre aptiana da bacia. No topo, seu contato com a Formação Romualdo ocorre de forma gradual.

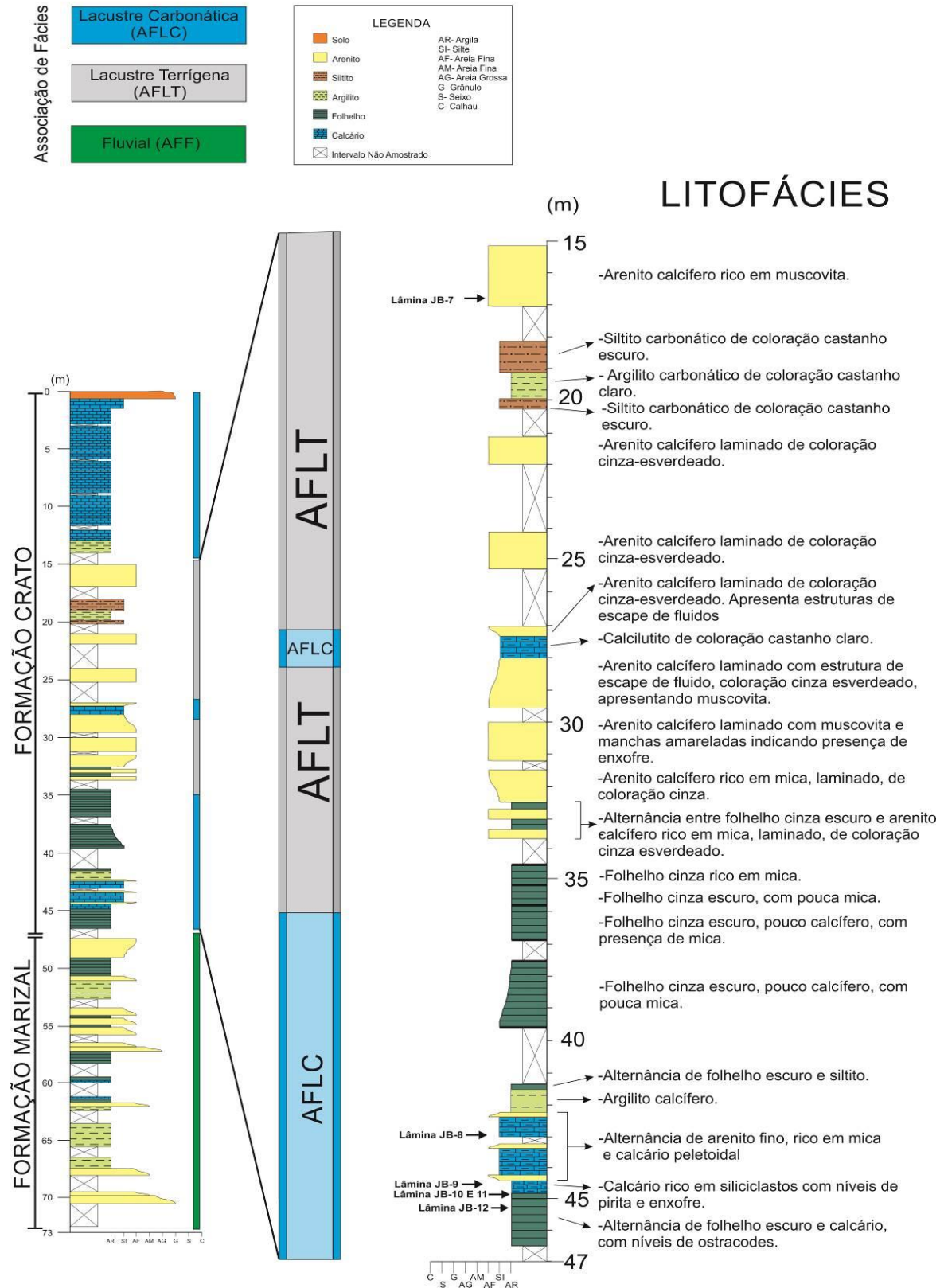
O estudo dos perfis estratigráficos dos poços 2-JB-SN-02A-PE e 2-JB-SN-02B-PE (Figuras 10 e 17), aliados aos trabalhos de campo e o estudo petrográfico das amostras dos poços (Quadros 2 e 3), permitiram identificar duas associações de fácies, a Associação de Fácies Lacustre Terrígena (AFLT) e a Associação de Fácies Lacustre Carbonática (AFLC) (Tabela 2).

A AFLT faz parte da Formação Crato e compõe a porção intermediária do poço 2-JB-SN-02B-PE, entre o intervalo de 15 e 35 m (Figura 27). Está representada por arenitos finos, siltitos, folhelhos, folhelhos com intercalações de arenitos finos e argilitos, onde são frequentes as intercalações de lâminas carbonáticas. É composta por três (3) litofácies: Arenito fino laminado (AFl), Folhelho cinza-escuro (F) e Argilito calcífero (Ac).

A (AFLC) abrange principalmente a porção intermediária e superior do poço 2-JB-SN-02B-PE e a porção basal do poço 2-JB-SN-02A-PE (Figuras 27, 28 e 29). Está caracterizada por sete (7) litofácies: Calcário com ostracodes (Co), Calcário peloidal (Cp), Calcários maciços (Cm), Calcário com siliciclásticos (Cs), Calcário laminado (Cl), Calcário com pirita e enxofre (Csp), Ritmitos argilo-carbonáticos (Rac).

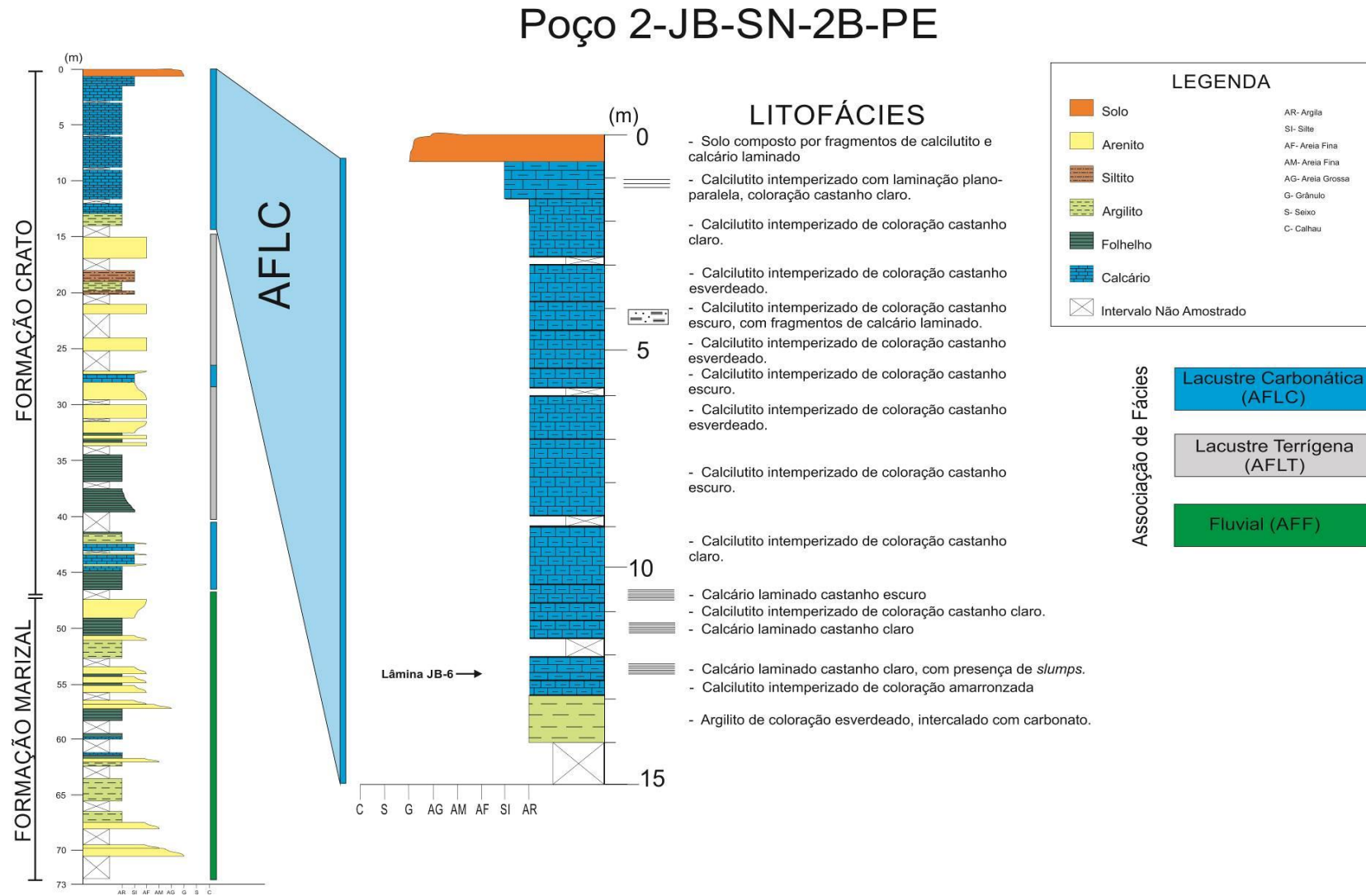
Figura 27 - Perfil litológico do poço 2-JB-SN-2B-PE com detalhamento da Associação de Fácies Lacustres Terrígena - Serra Negra, Bacia de Jatobá.

Poço 2-JB-SN-2B-PE



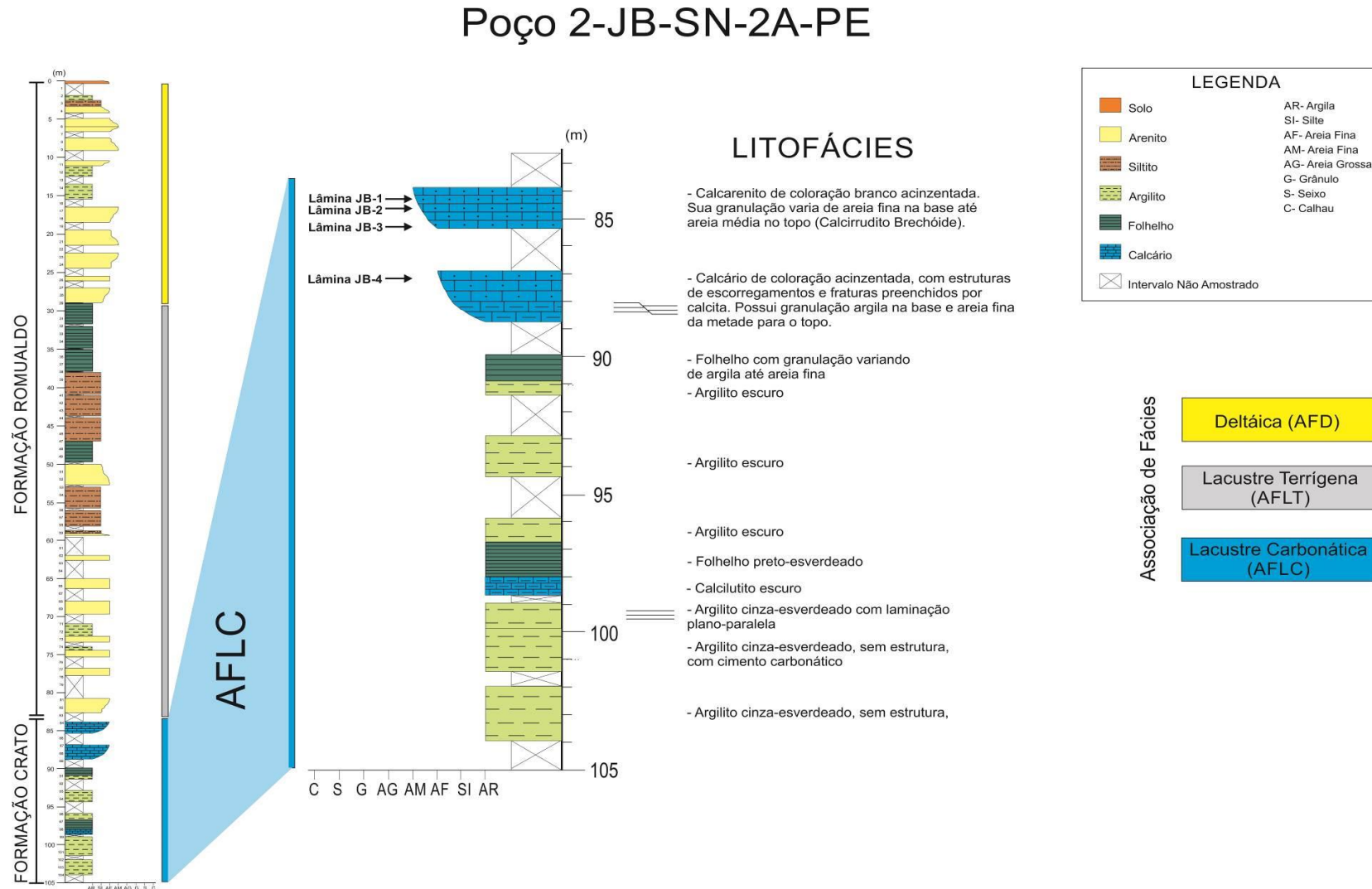
Fonte: Próprio autor.

Figura 28 - Perfil do Poço 2-JB-SN-2B-PE e suas associações de fácies, com destaque para a associação de fácies Lacustre carbonática - Serra Negra, Bacia de Jatobá.



Fonte: Próprio autor.

Figura 29 - Poço 2-JB-SN-2A-PE e suas associações de fácies, com destaque para a associação de fácies Lacustre carbonática - Serra Negra, Bacia de Jatobá.



Fonte: Próprio autor.

Associação de Fácies Lacustre Terrígena (AFLT)

São observados sedimentos de granulação muito fina na base da formação, formados em ambiente de águas tranquilas, típicos de ambientes lacustres. Para o topo da AFLT é observado um aumento da granulação, caracterizada pela maior entrada de sedimentos terrígenos no ambiente.

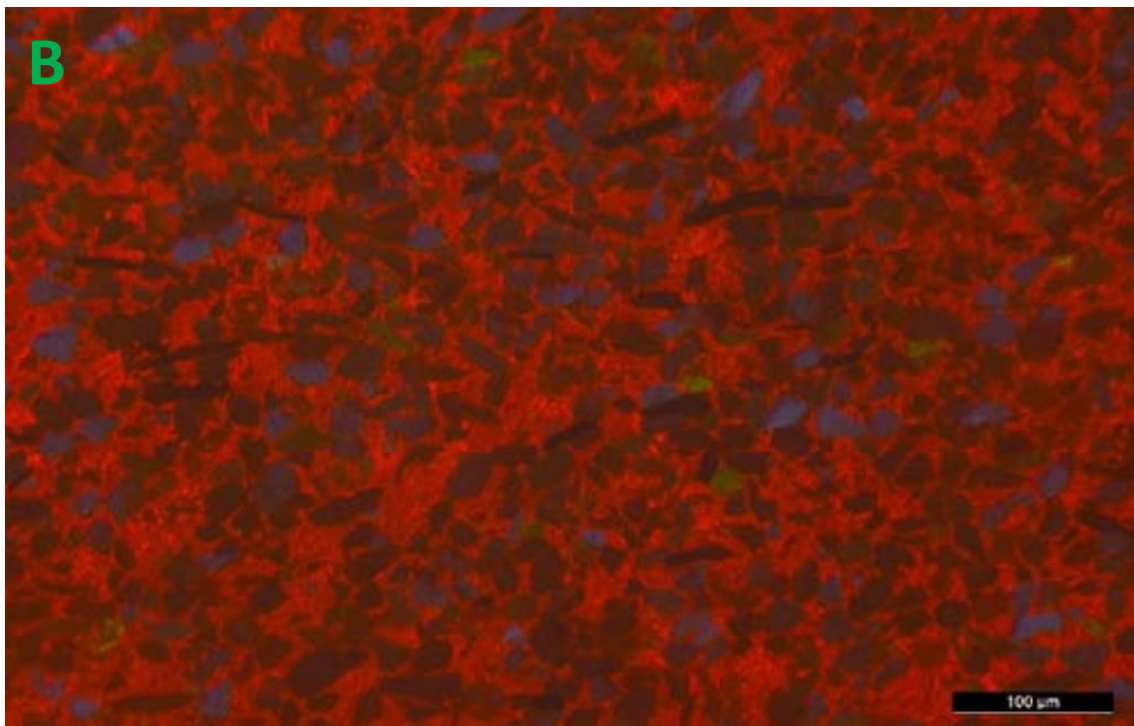
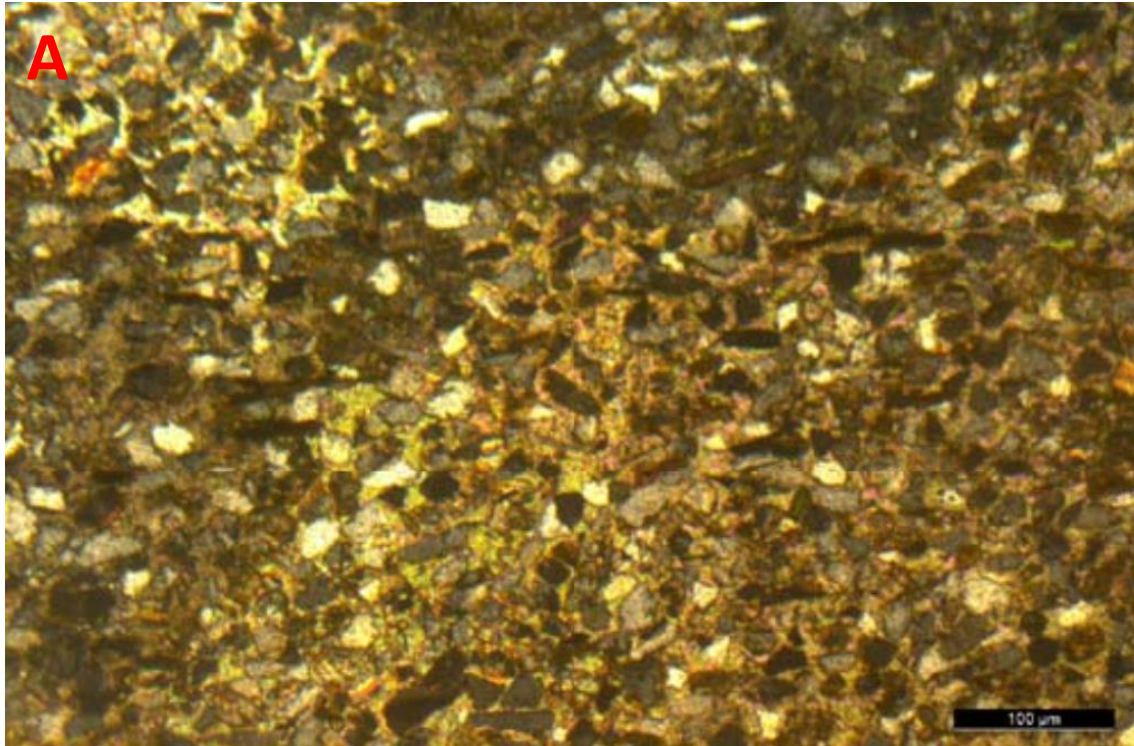
LITOFÁCIES AFI – Trata-se de um arenito fino, calcífero, por vezes laminado e com estruturas de escape de fluidos. Observa-se uma coloração cinza-esverdeado, composta por grãos de quartzo, micas e feldspatos dispersos numa matriz fina carbonática. Os grãos de quartzo são subarredondados a subangulosos. Na lâmina petrográfica JB-7 (Figura 30) foi possível observar que a maioria dos grãos de quartzo não se toca, implicando num empacotamento frouxo. Os grãos de quartzo, em sua maioria, possuem extinção ondulante e são monocristalinos (até 95%). Os grãos de muscovita e biotita estão bem preservados, indicando pouca compactação. Na catodoluminescência (CL), os grãos de quartzo apresentam a coloração azul escuro a marrom e às vezes verde. Já os feldspatos apresentam uma coloração mais clara e brilhante. A presença de pontos verdes na CL pode indicar quartzo metamórfico, enquanto os pontos vermelhos indicam uma grande massa de matriz micrítica. A porosidade observada é do tipo intergranular.

LITOFÁCIES F- Folhelho cinza escuro com pouca presença de micas. Ocorre por vezes intercalado por arenito calcífero laminado, com presença de micas e de coloração cinza-esverdeado. Quanto menor a quantidade de micas, mais calcífero se apresenta o folhelho.

LITOFÁCIES Ac- Representada por um argilito calcífero, de coloração castanho-claro, intercalado por siltito carbonático de coloração castanho-escuro.

Figura 30 - Fotomicrografia da lâmina JB-7 correspondente as litofácies AFI (Arenito fino calcífero laminado).
A- Nícteis cruzados e B- Catodoluminescência.

LITOFÁCIES AFI



Fonte: Próprio autor.

Associação de Fácies Lacustre Carbonática (AFLC)

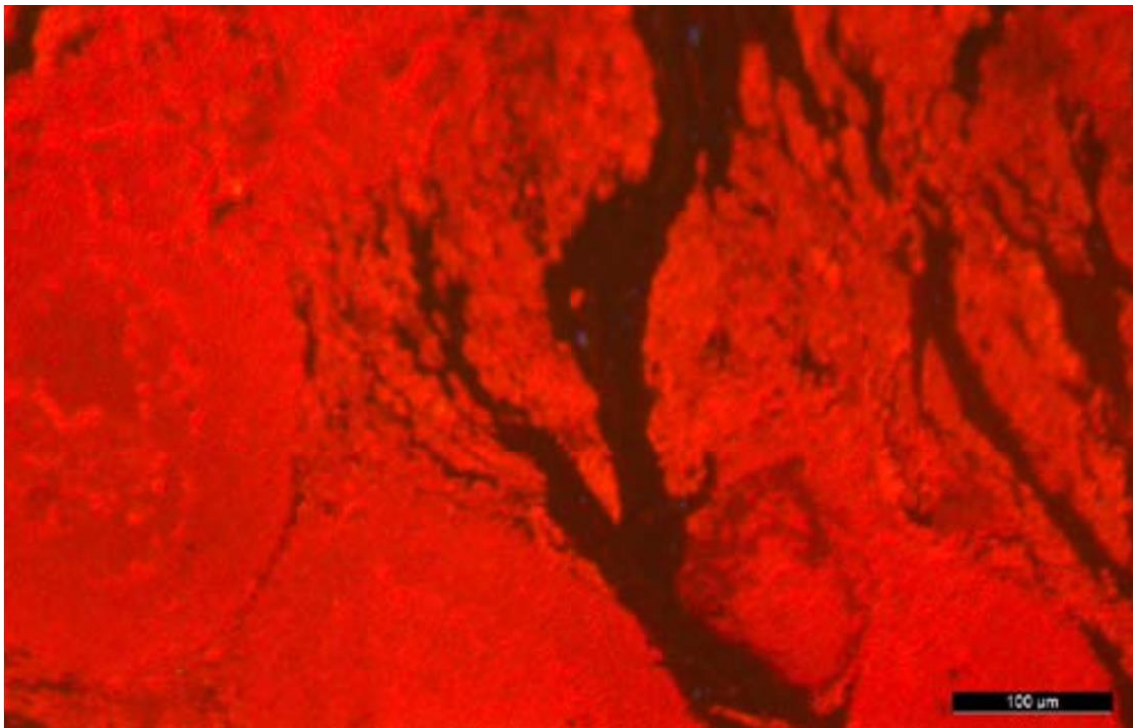
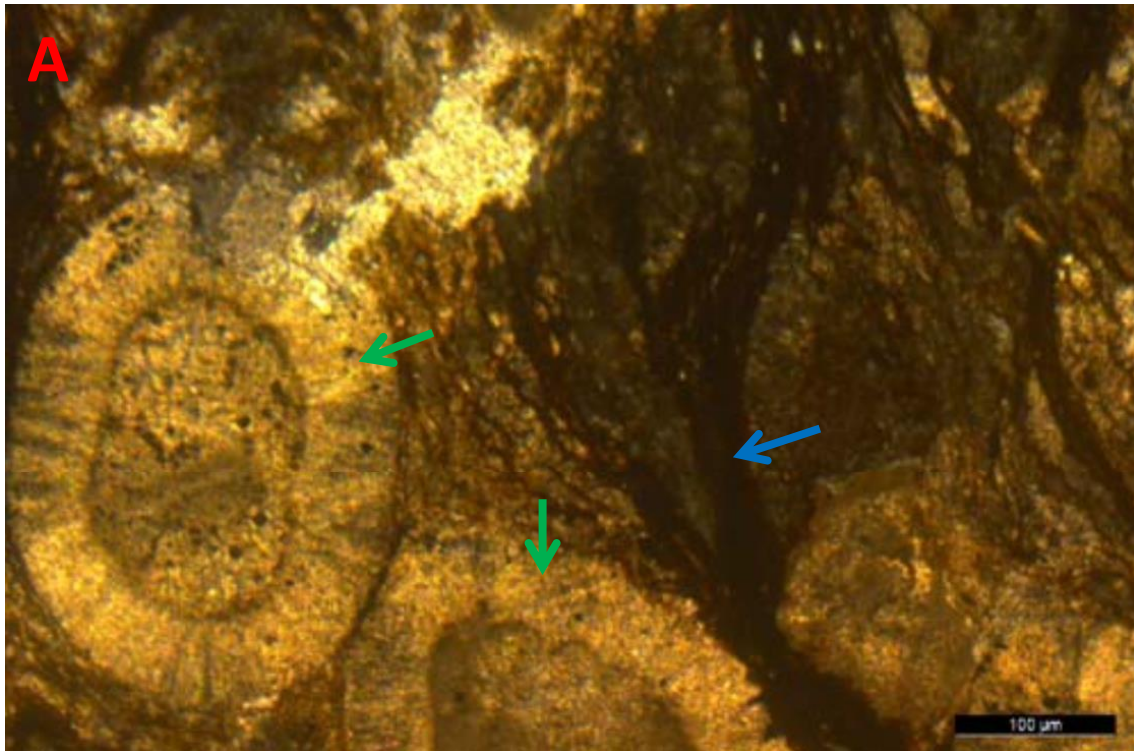
São observados, predominantemente, sedimentos formados por precipitação química e biogênica, típicos de ambientes lacustres fechados que não possuem efluentes estáveis.

LITOFÁCIES Co- Calcário composto por ostracodes e esteiras algálicas dispersos numa matriz micrítica, intercalados por folhelhos escuros. Na lâmina JB-9 foi observado que as carapaças dos ostracodes estão bem preservadas, sendo o contato entre as carapaças do tipo tangencial (Figura 31). Observou-se também a presença de matéria orgânica e esteiras algálicas circundando os ostracodes. Parte das esteiras algálicas está substituída por pirita (representada por laminações de coloração mais escuras na CL). São observados pequenos grãos de quartzo de coloração azul e verde na CL. A porosidade observada é do tipo intergranular.

LITOFÁCIES Cp- Calcário peloidal composto por, peloides e esteiras algálicas dispersos numa matriz micrítica, intercalados por folhelhos escuros. Nas lâminas JB-8, JB-10 JB-11 e JB-12 foi observado que a maioria dos peloides está achatada em forma elipsoidal e orientada na direção das esteiras algálicas (Figuras 32, 33, 34 e 35), indicando um empacotamento entre eles. Dentro de alguns peloides encontram-se cristais de dolomita e calcisferas, podendo a presença desta última indicar que se trata de pelotas fecais. Observa-se também a presença de fraturas preenchidas por calcita fibrosa (Figuras 35). Nos folhelhos, observou-se a presença de microfalhas e *slumps*. As laminações algálicas e matéria orgânica que envolvem os ostracodes e peloides são preservados junto a pequenos cristais de quartzo que aparecem com a coloração azul na CL. Uma pequena parte das esteiras algálicas está substituída por pirita, representada por laminações de coloração mais escura na CL. A porosidade observada é do tipo intergranular e fratura.

Figura 31 - Fotomicrografia da Lâmina JB-9 - Co (Calcário com ostracodes) composto por ostracodes (seta verde) e esteiras algálicas (seta azul) dispersos numa matriz micrítica. A- Nícois cruzados e B- Catodoluminescência.

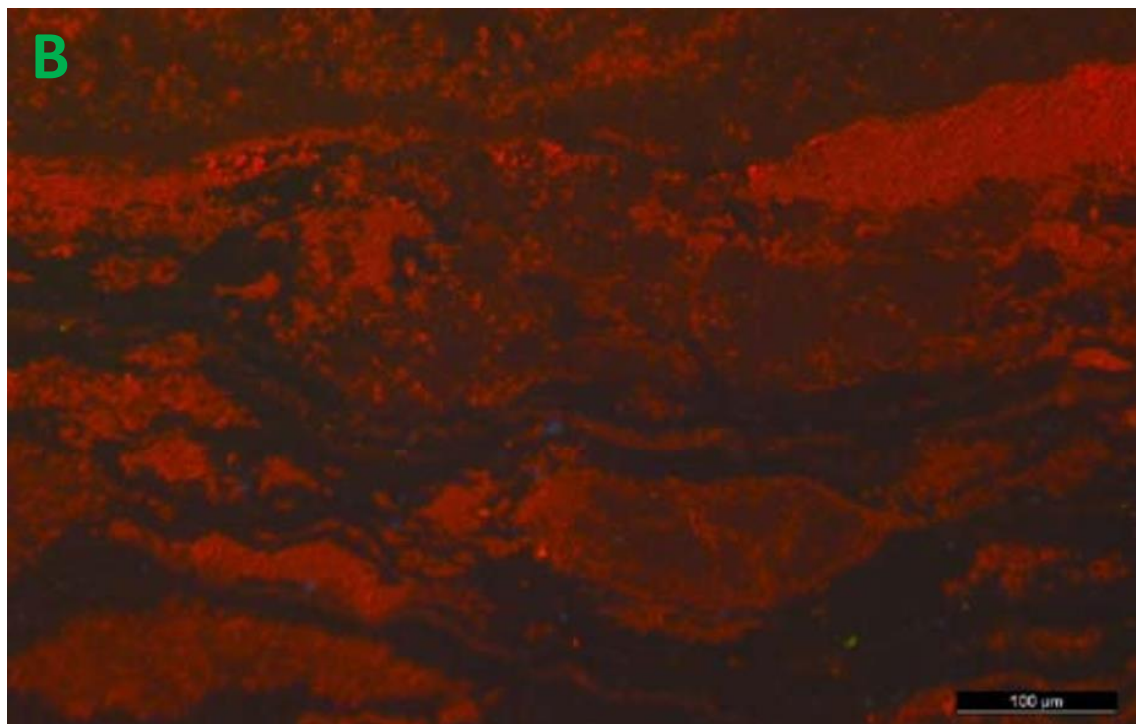
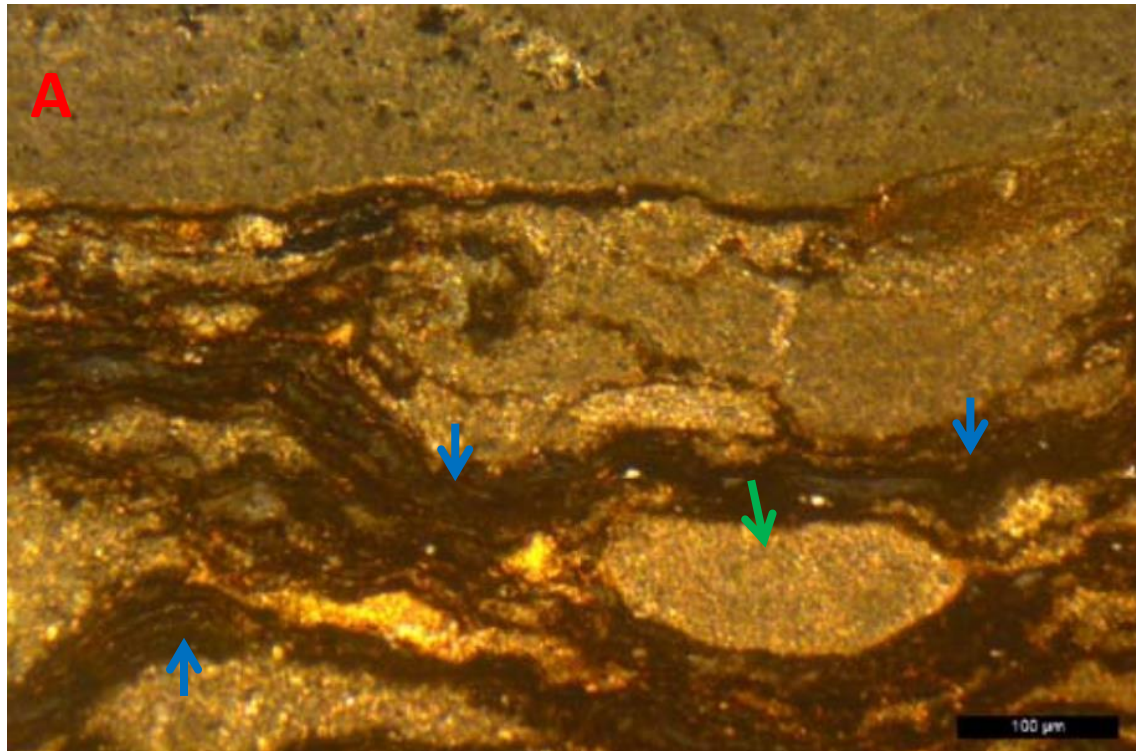
LITOFÁCIES Co



Fonte: Próprio autor.

Figura 32 - Fotomicrografia da Lâmina JB-8 correspondente a litofácies Cp (Calcário peloidal) composto por peloides (seta verde) e esteiras algálicas (setas azuis). Os peloides estão achatados e orientados na direção das esteiras algálicas. . A- Níctis cruzados e B- Catodoluminescência.

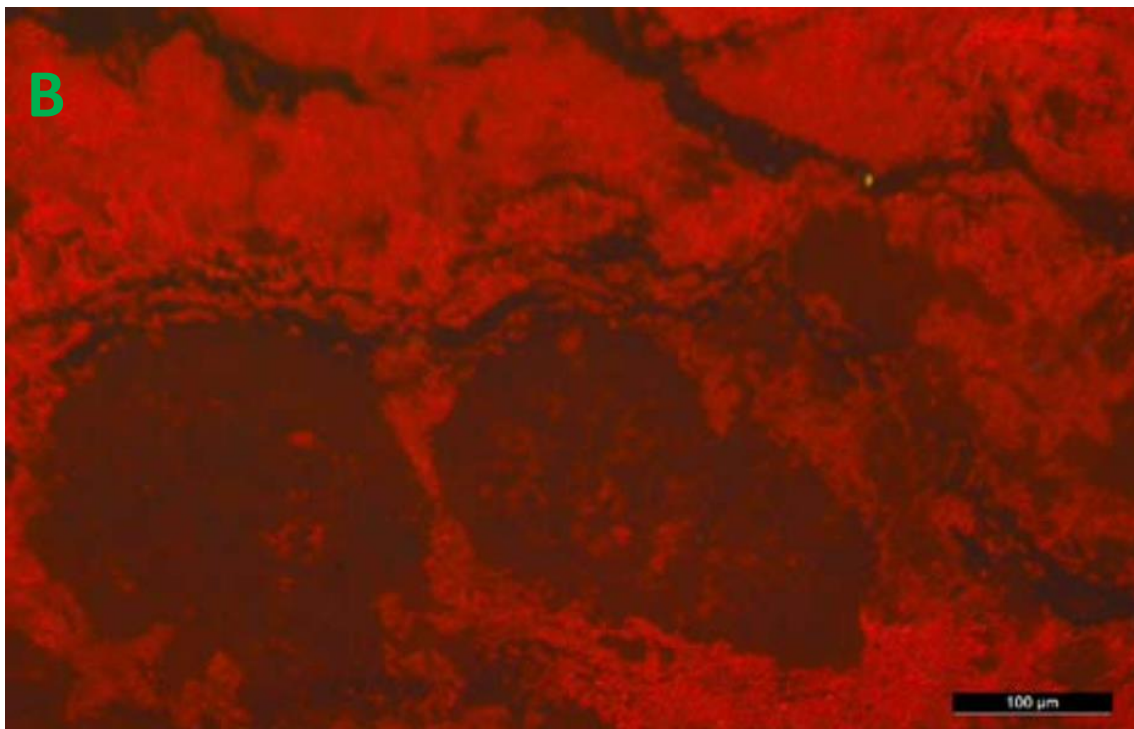
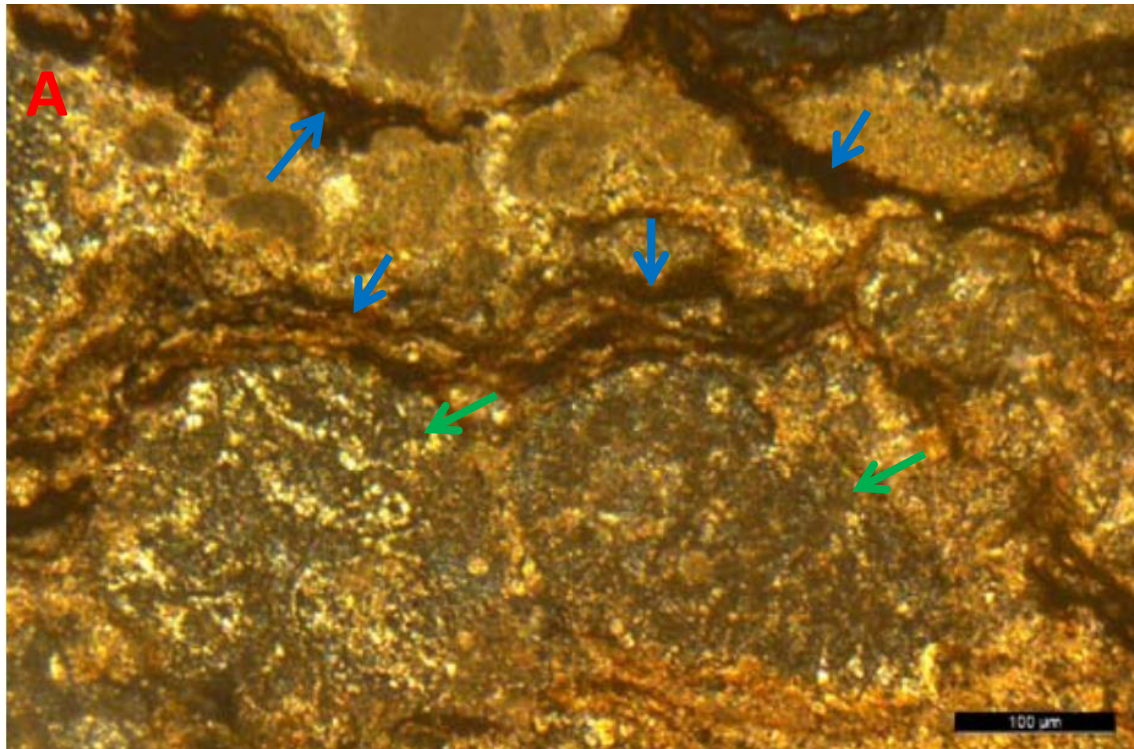
LITOFÁCIES Cp



Fonte: Próprio autor.

Figura 33 - Fotomicrografia da lâminas JB-10 correspondente a litofácies Cp (Calcário peloidal) composto por peloides (setas verdes) e esteiras algálicas (setas azuis). Os peloides estão achatados e orientados na direção das esteiras algálicas. . A- Níctis cruzados e B- Catodoluminescência.

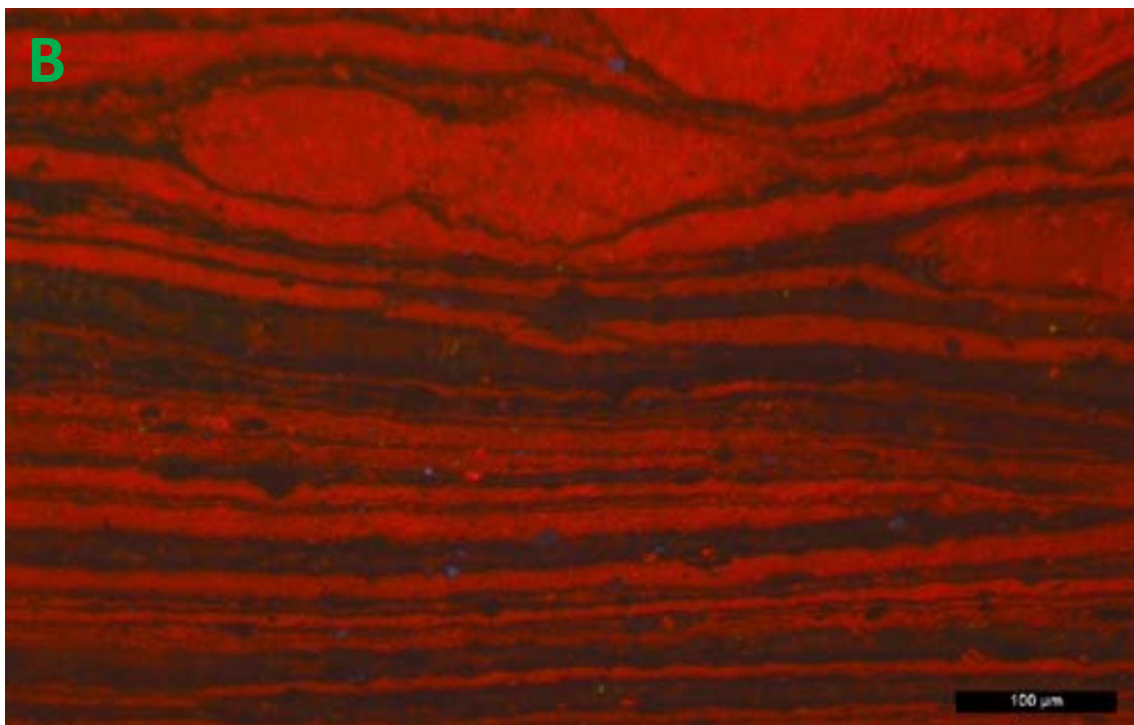
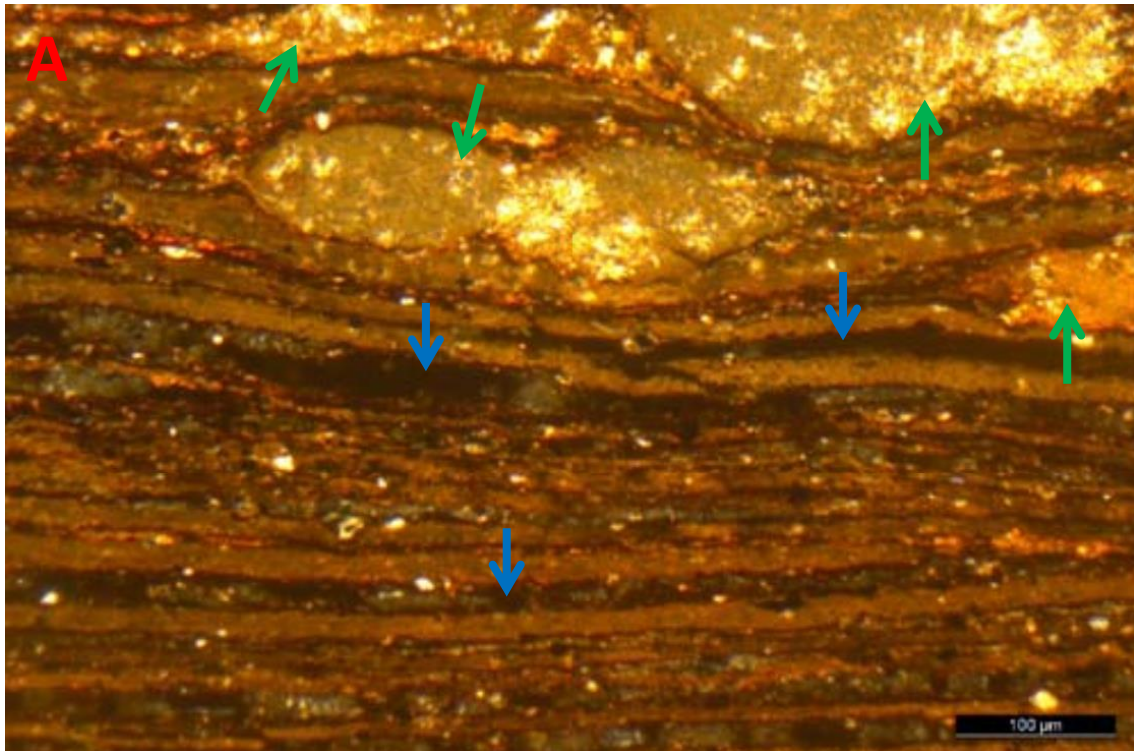
LITOFÁCIES Cp



Fonte: Próprio autor.

Figura 34 - Fotomicrografia da lâminas JB-11 correspondente a litofácies Cp (Calcário peloidal) composto por peloides (setas verdes) e esteiras algálicas (setas azuis). Os peloides estão achatados e orientados na direção das esteiras algálicas. . A- Níctis cruzados e B- Catodoluminescência.

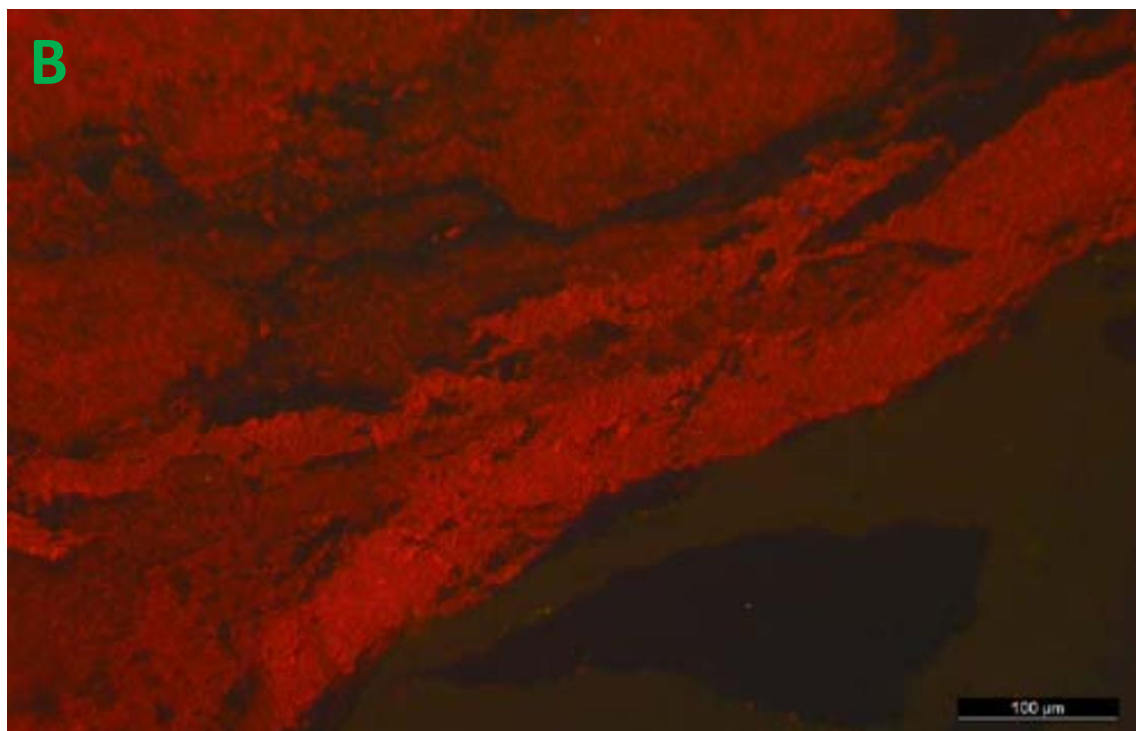
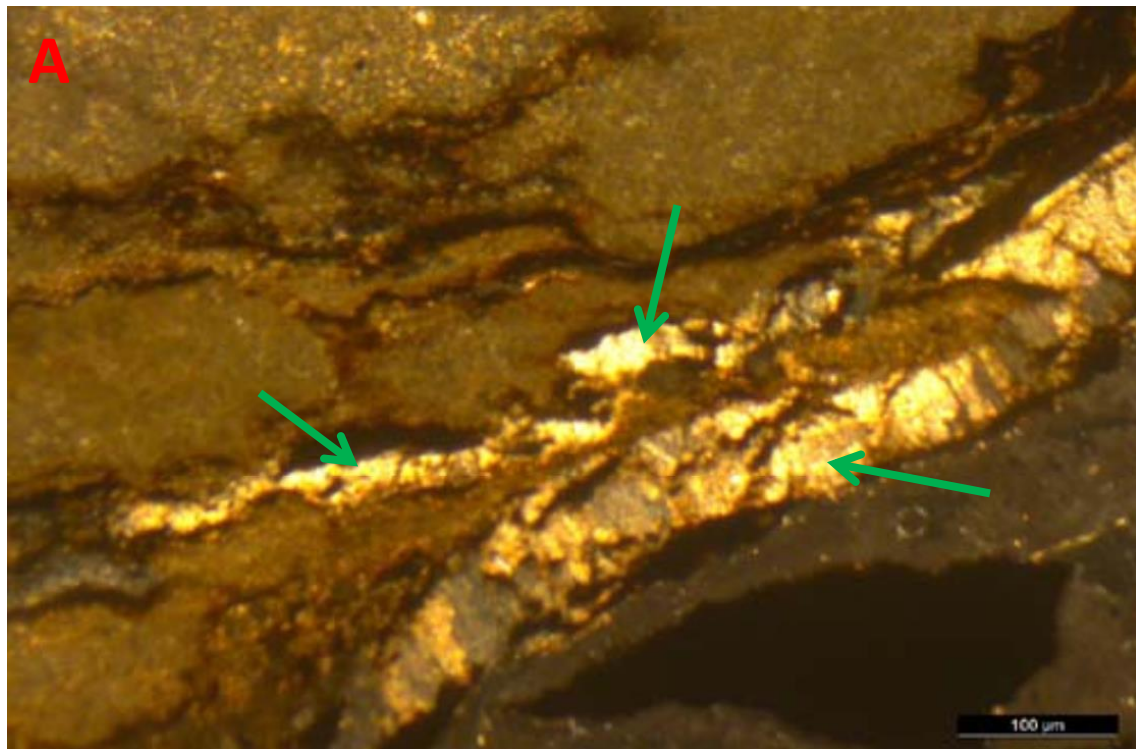
LITOFÁCIES Cp



Fonte: Próprio autor.

Figura 35 - Fotomicrografia da lâmina JB-12 correspondente a litofácies Cp (Calcário peloidal) composto por peloides e esteiras algálicas. Observa-se a presença de fratura preenchida por calcita fibrosa (setas verdes). A- Nicóis cruzados e B- Catodoluminescência.

LITOFÁCIES Cp



Fonte: Próprio autor.

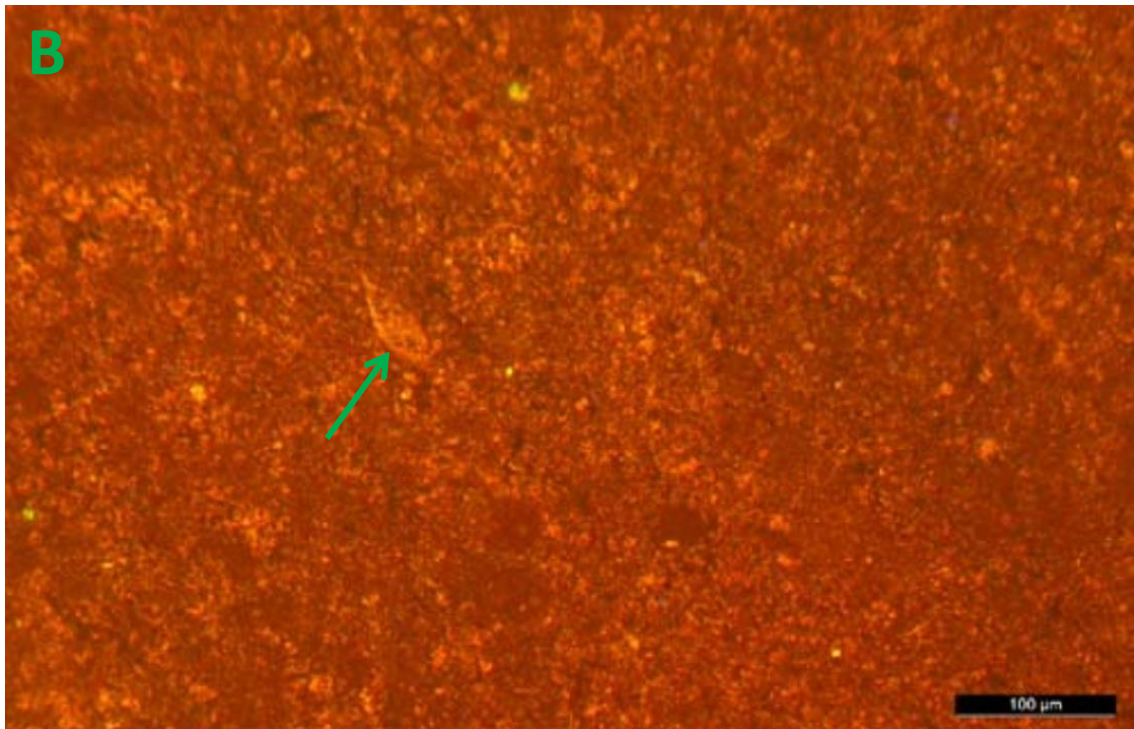
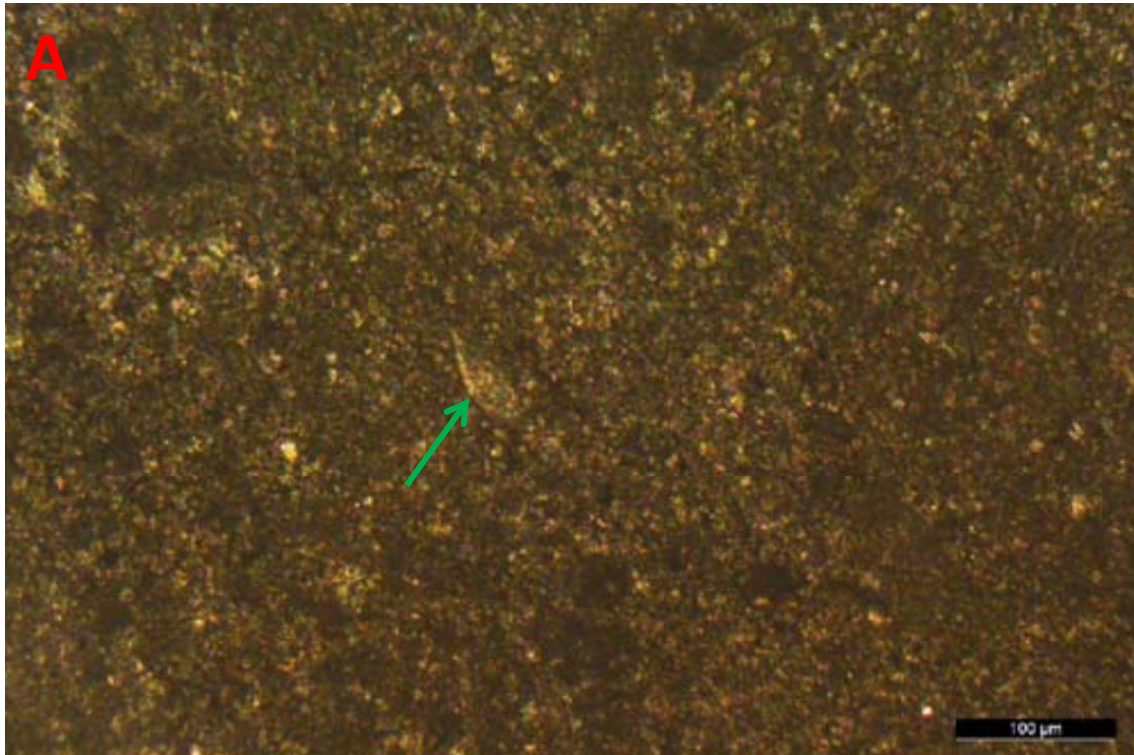
LITOFÁCIES Cm – Trata-se de calcários maciços de coloração acinzentada. É uma rocha composta por matriz micrítica, grãos de dolomita e bioclastos constituídos de carapaças de ostracodes. Nas lâminas JB-3 e JB-4 (Figuras 36 e 37) observou-se que a maioria dos grãos não se toca, implicando num empacotamento frouxo. Observaram-se algumas estruturas como escorregamentos e fraturas preenchidas por calcita. A porosidade observada é do tipo intergranular.

LITOFÁCIES Cs – Caracterizado por um calcário com siliciclásticos finamente laminado, onde predomina uma matriz carbonática com poucos grãos siliciclásticos dispersos. A coloração varia entre cinza-esverdeado, castanho-claro, castanho-escuro e castanho-esverdeado. Através das lâminas JB-1 e JB-2 (Figuras 38 e 39) foi possível observar grãos de quartzo subarredondado a subangulosos, com extinção ondulante, dispersos numa matriz micrítica. Observou-se micas (muscovita) e grãos de feldspato (coloração azul mais clara e brilhante na CL), todos em menor quantidade que o quartzo. A maioria dos grãos está orientada e não se toca, implicando em um empacotamento frouxo. A porosidade predominante desta litofácies é a intergranular e fenestral.

LITOFÁCIES CI - Os calcários laminados são os principais litotipos que afloram na Serra Negra, principalmente em escarpas, cortes de estrada e riachos da serra (Figura 40). Esses calcários apresentam uma granulação fina (calcilutitos) e são constituídos por uma alternância de lâminas com espessura milimétrica (0,5 a 1,5 mm), de cores bege-claro e bege-escuro a marrom (Figura 41A). Há pseudomorfos de sal fraturando os calcários e também fraturas preenchidas por calcita recristalizada (Figura 41B). Na lâmina JB-6 (Figura 42) se observa uma matriz micrítica (grande massa de cor avermelhada na CL), finamente laminada, onde os pontos marrons observados na CL podem indicar a presença de ferro. Ainda na lâmina JB-6, observa-se ondulação provocada por efeitos diagenéticos (provavelmente microconcreção). A porosidade observada nessa litofácies é do tipo intergranular, de fratura e vulgular.

Figura 36 - Fotomicrografia da lâmina JB-3 correspondente a litofácies Cm (Calcário Maciço). Presença de microcristais de dolomita e bioclastos (seta verde) dispersos na matriz. A- Nícois cruzados e B- Catodoluminescência.

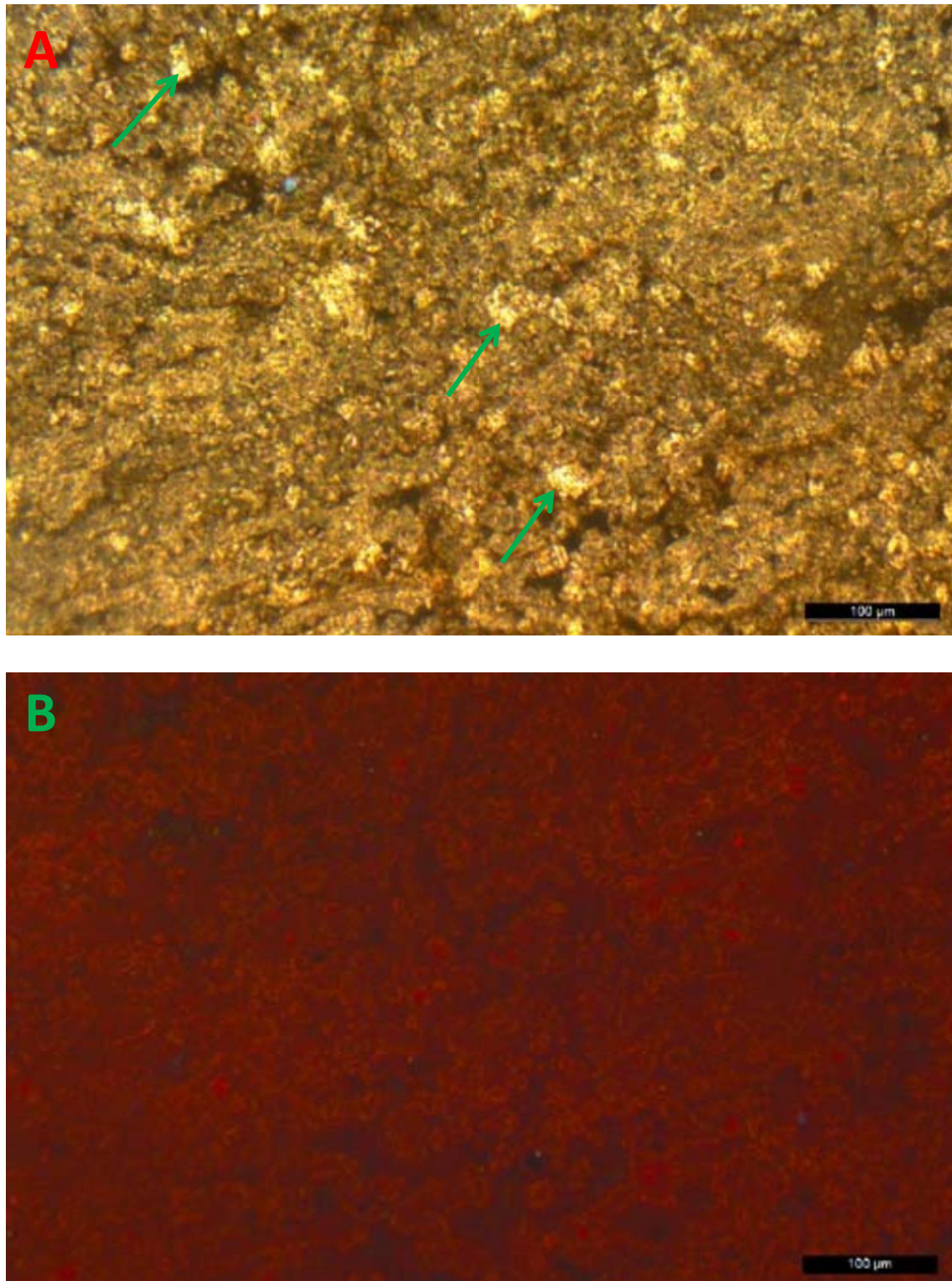
LITOFÁCIES Cm



Fonte: Próprio autor.

Figura 37 - Fotomicrografia da lâmina JB-4 correspondente a litofácies Cm (Calcário Maciço). Presença de microcristais de dolomita dispersos na matriz (seta verde). A- Nícois cruzados e B- Catodoluminescência.

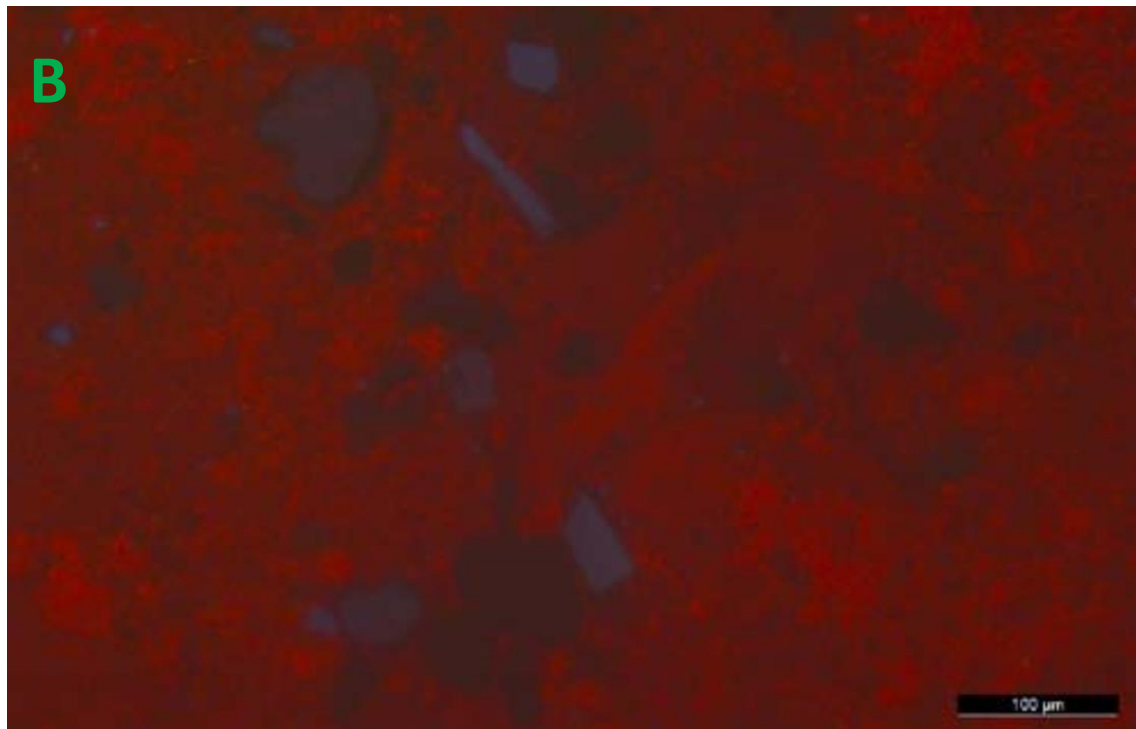
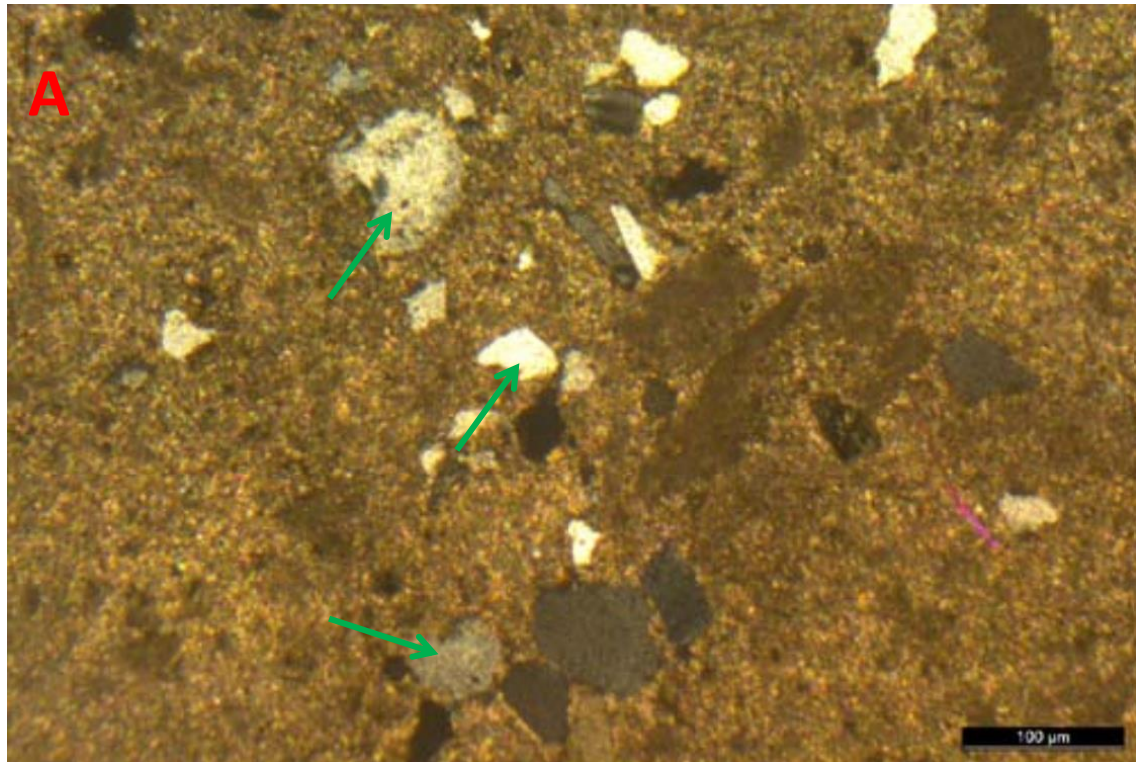
LITOFÁCIES Cm



Fonte: Próprio autor.

Figura 38 - Fotomicrografia da lâmina JB-1 correspondente a litofácies Cs (Calcário com siliciclásticos). Observa-se alguns grãos de quartzo, subangulosos, dispersos na matriz micrítica (seta verde). A- Nícois cruzados e B- Catodoluminescência.

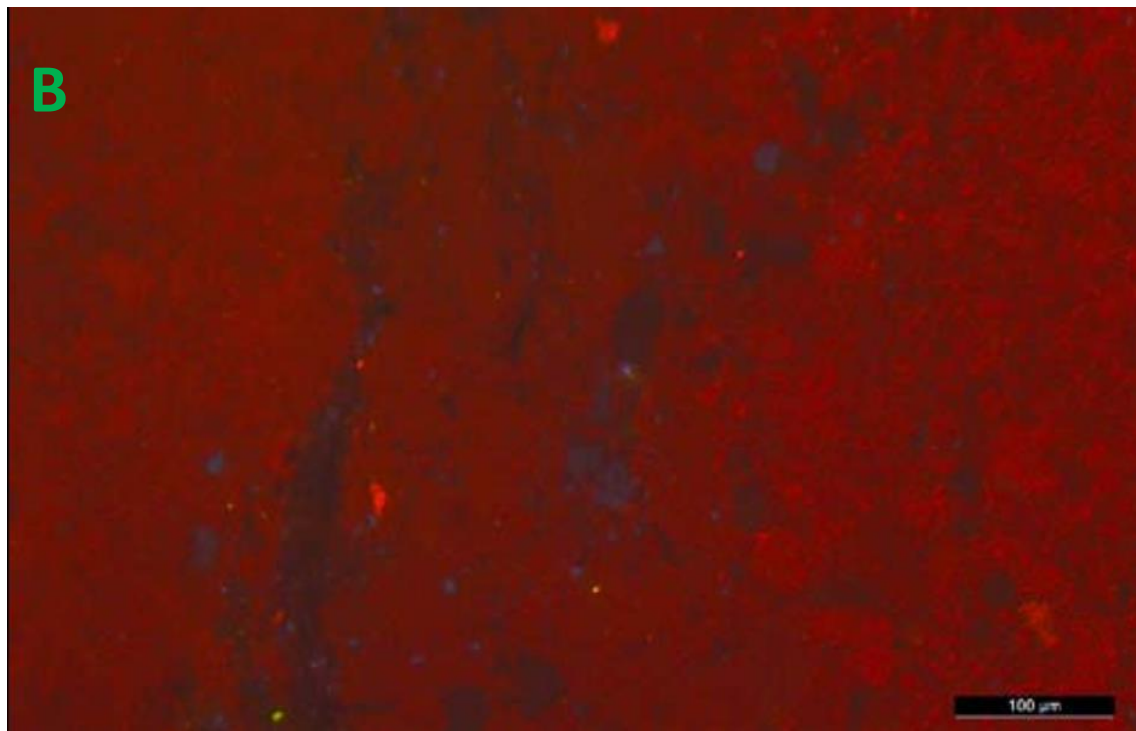
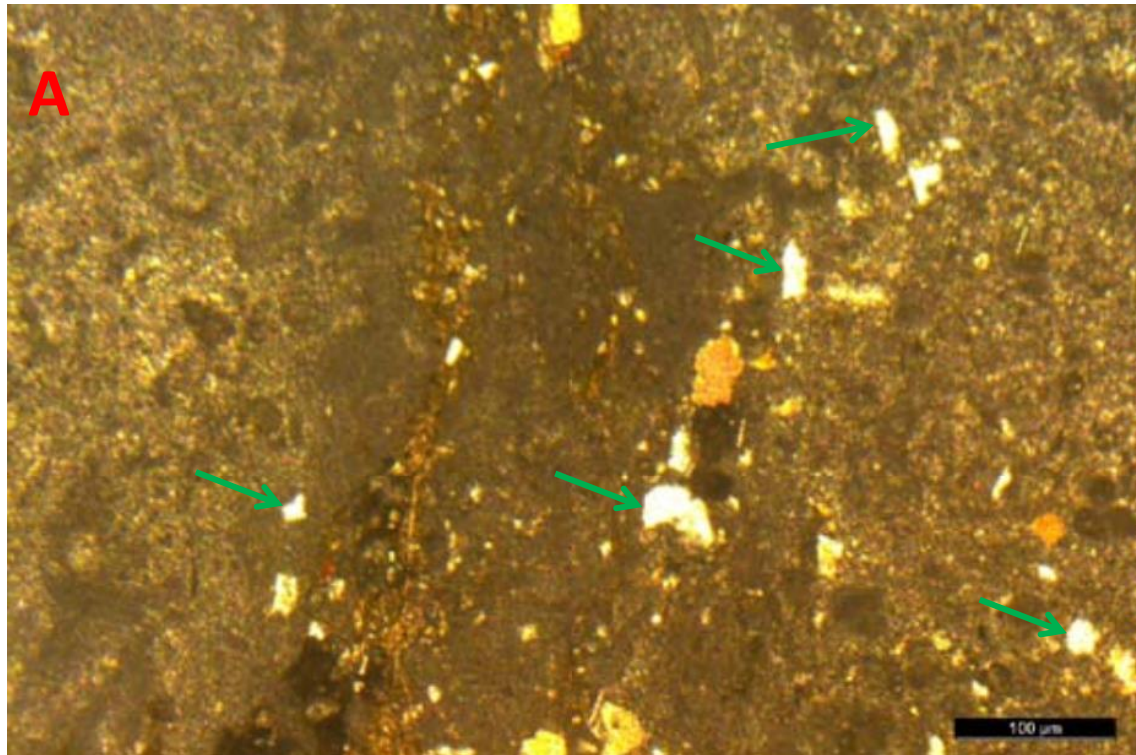
LITOFÁCIES Cs



Fonte: Próprio autor.

Figura 39 - Fotomicrografia da lâmina JB-2 correspondente a litofácies Cs (Calcário com siliciclásticos). Observa-se alguns grãos de quartzo, subangulosos, dispersos na matriz micrítica (seta verde). A- Nícois cruzados e B- Catodoluminescência.

LITOFÁCIES Cs



Fonte: Próprio autor.

LITOFÁCIES Csp- Trata-se de um calcário rico em siliciclastos com níveis de pirita e enxofre.

LITOFÁCIES Rac – É caracterizada por ritmitos argilo-carbonáticos, observada principalmente na base do poço 2-JB-SN-2A-PE. Esses ritmitos são constituídos por: argilitos maciços, por vezes carbonático, de coloração cinza-claro-esverdeado a escuro; folhelhos escuros; e por último, calcilutitos escuros.

Figura 40 – Calcários laminados lacustres Aptianos da Litofácies Cl, Formação Crato, aflorando em um corte de estrada na Serra Negra, Bacia de Jatobá.



Fonte: Próprio autor.

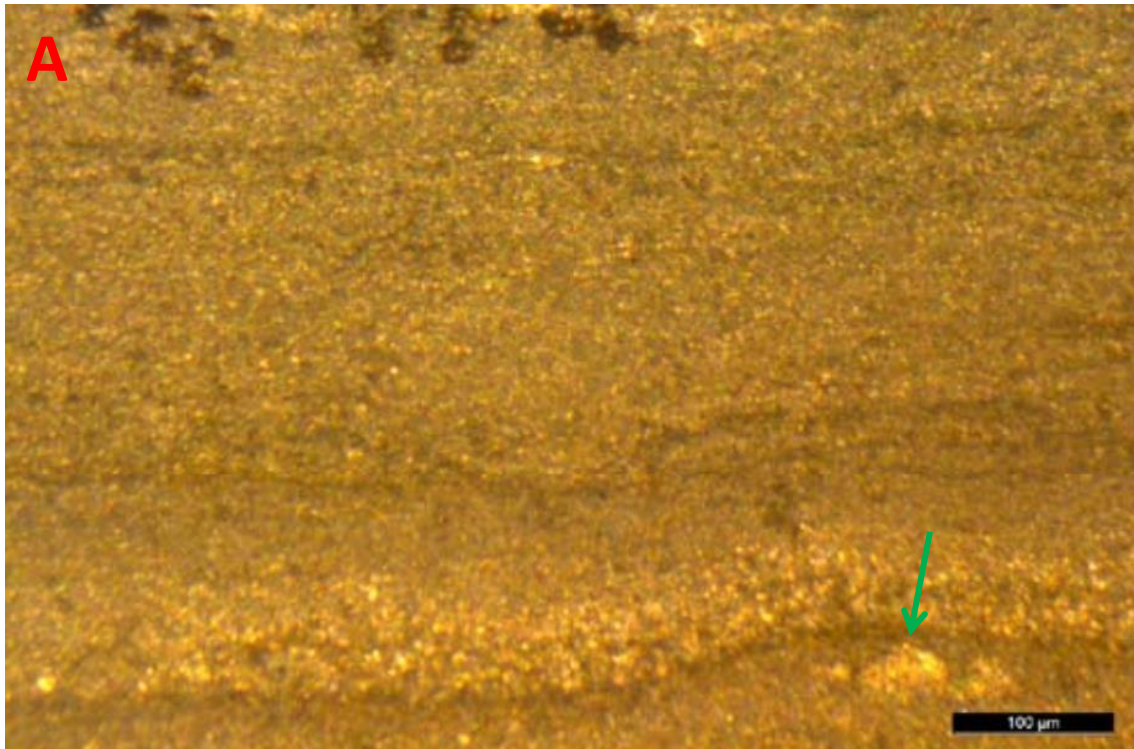
Figura 41 – A- Calcário laminado (Litofácies Cl) em afloramento da Formação Crato, Serra Negra, Bacia de Jatobá , mostrando em detalhe, as alternâncias de coloração entre suas lâminas. B- Calcário laminado da Formação Crato apresentando fratura preenchida por calcita recristalizada.



Fonte: Próprio autor.

Figura 42 - Fotomicrografia da lâmina JB-6 correspondente a litofácies CI (Calcário Laminado). Na porção inferior da lâmina é observada uma ondulação (seta verde) provocada por microconcreção (efeito diagenético).
A- Níctis cruzados e B- Catodoluminescência.

LITOFÁCIES CI



Fonte: Próprio autor.

4.1.3 Isótopos Estáveis

Para tentar entender o comportamento hidrológico do paleoambiente deposicional, semelhante aos trabalhos já citados no início deste capítulo, foram analisados os valores isotópicos de ^{13}C e ^{18}O em um total de 14 novas amostras (Tabela 3) de rochas das formações Marizal e Crato na Serra Negra, Bacia de Jatobá.

As amostras JB-1 a JB-4 foram coletadas do poço estratigráfico 2-JB-SN-2A-PE, entre as profundidades de amostragem de 84 a 89m. Já as amostras JB-6 a JB-15 foram coletadas no poço 2-JB-SN-2B-PE, entre as profundidades de amostragem de 12 a 55m. Os valores da razão $\delta^{13}\text{C}$ observados variam entre -8.47 até -0.09 ‰ VPDB. Para $\delta^{18}\text{O}$, a razão varia entre -6.44 até -1.83 ‰ VPDB.

Tabela 3 - Resultados da análise isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$.

Poço	Amostra	peso $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰	peso $\delta^{18}\text{O}_{\text{V}}$ PDB ‰
Poço 2A	JB-1	-5.52	-3.42
	JB-2	-3.54	-1.83
	JB-3	-3.45	-2.02
	JB-4	-4.15	-2.87
Poço 2B	JB-6	-0.09	-6.01
	JB-7	-7.09	-6.31
	JB-8	-7.72	-2.65
	JB-9	-7.77	-4.74
	JB-10	-7.48	-5.24
	JB-11	-5.56	-4.02
	JB-12	-8.47	-4.11
	JB-13	-7.59	-6.32
	JB-14	-7.46	-6.44
	JB-15	-7.45	-4.71

Segundo Faure e Mensing (2005), os sedimentos carbonáticos marinhos são mais ricos em ^{18}O do que os sedimentos lacustres, e apresentam os valores da razão $\delta^{18}\text{O}$ próximos de zero (-2 ‰ VPDB a +2 ‰ VPDB). Já as amostras de sedimentos carbonáticos lacustres apresentam valores da razão $\delta^{18}\text{O}$ negativos. Desta maneira, as amostras analisadas do poço 2-JB-SN-2A-PE apresentam valores de $\delta^{18}\text{O}$ (-1,83 a -3,42) que se enquadram dentro de um ambiente lacustre, porém com uma salinidade relativamente alterada na porção intermediária

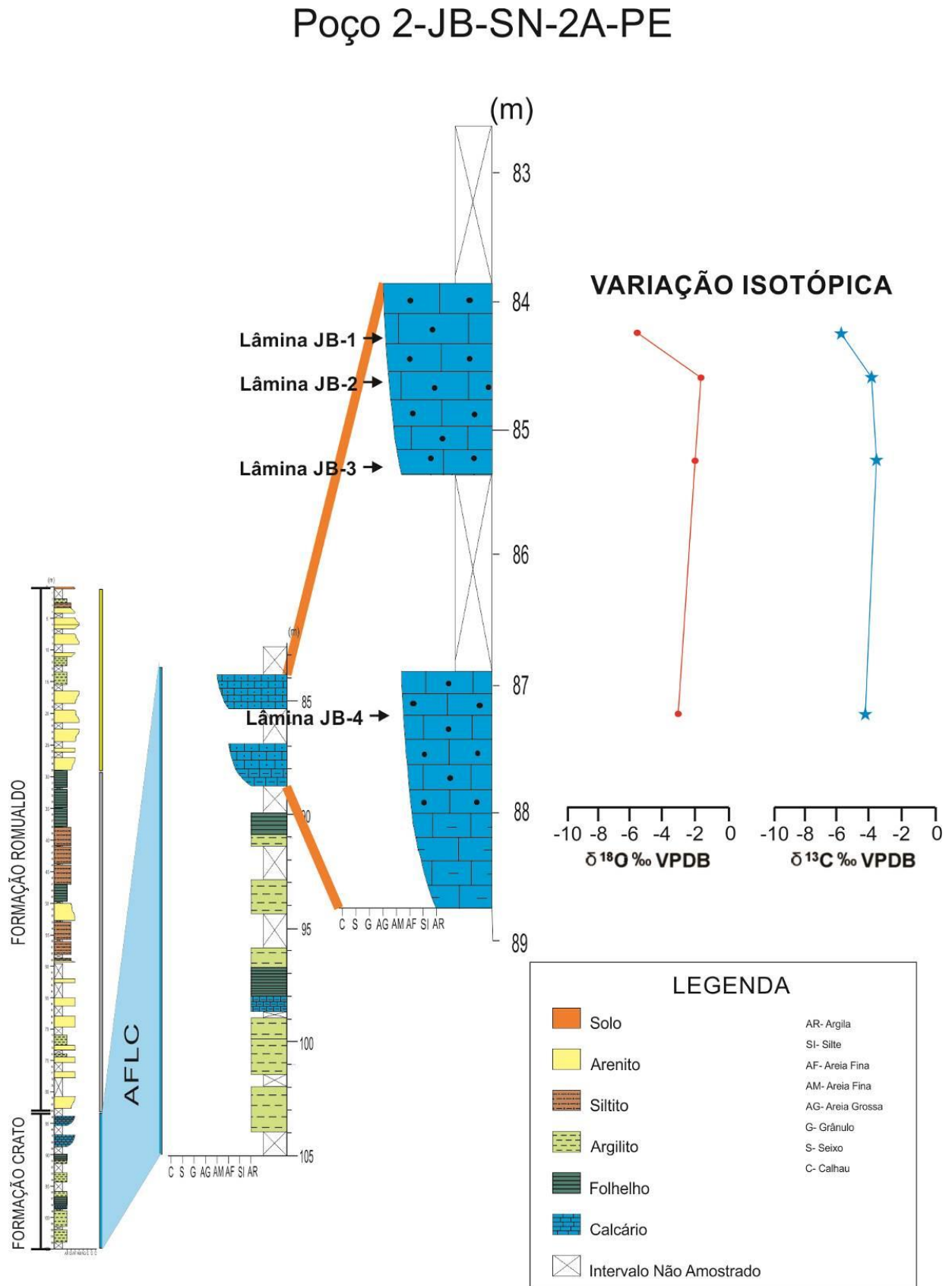
amostrada (Figura 43), possivelmente devido a uma descida rápida do nível do lago, voltando à água ficar mais doce no topo da porção amostrada. Já o poço 2-JB-SN-2B-PE, apresenta os valores de $\delta^{18}\text{O}$ (-2,65 a -6,44) predominantemente negativos, com pouca variação, exceto pela amostra JB-8 (Figura 44) onde os valores ficam menos negativos, indicando um pequeno aumento da salinidade do lago.

A razão isotópica de $\delta^{13}\text{C}$, assim como $\delta^{18}\text{O}$, também pode ser utilizada para caracterizar rochas carbonáticas de origem marinha e lacustre, sendo as de origem marinha com valores da razão $\delta^{13}\text{C}$ próximos de 0 ‰ VPDB. Já as rochas carbonáticas de origem lacustre apresentam, normalmente, os $\delta^{13}\text{C}$ entre 0 ‰ VPDB e -20 ‰ VPDB. Logo, as amostras analisadas do poço 2-JB-SN-2A-PE também se enquadram dentro dos valores estabelecidos na literatura para ambientes lacustres (KELTS; TALBOT, 1990; CAMOIN et al., 1997; SILVEIRA et al., 2014). Os dados amostrados apresentam pouca variação nos valores isotópicos de C^{13} , indicando apenas um pequeno aumento da salinidade na porção intermediária amostrada, que é normalizada no topo.

No poço 2-JB-SN-2B-PE, os valores da razão de $\delta^{13}\text{C}$ amostrados seguem um padrão, que fica entre -7,4 e -8,0 ‰ VPDB, exceto para as amostras JB-6 e JB-11. Há uma variação na razão de $\delta^{13}\text{C}$ em JB-6, tornando-a menos negativa, próxima de zero, provavelmente pela maior concentração de sais e maior presença de matéria orgânica no ambiente devido a um ambiente relativamente mais árido, causando redução no nível do lago.

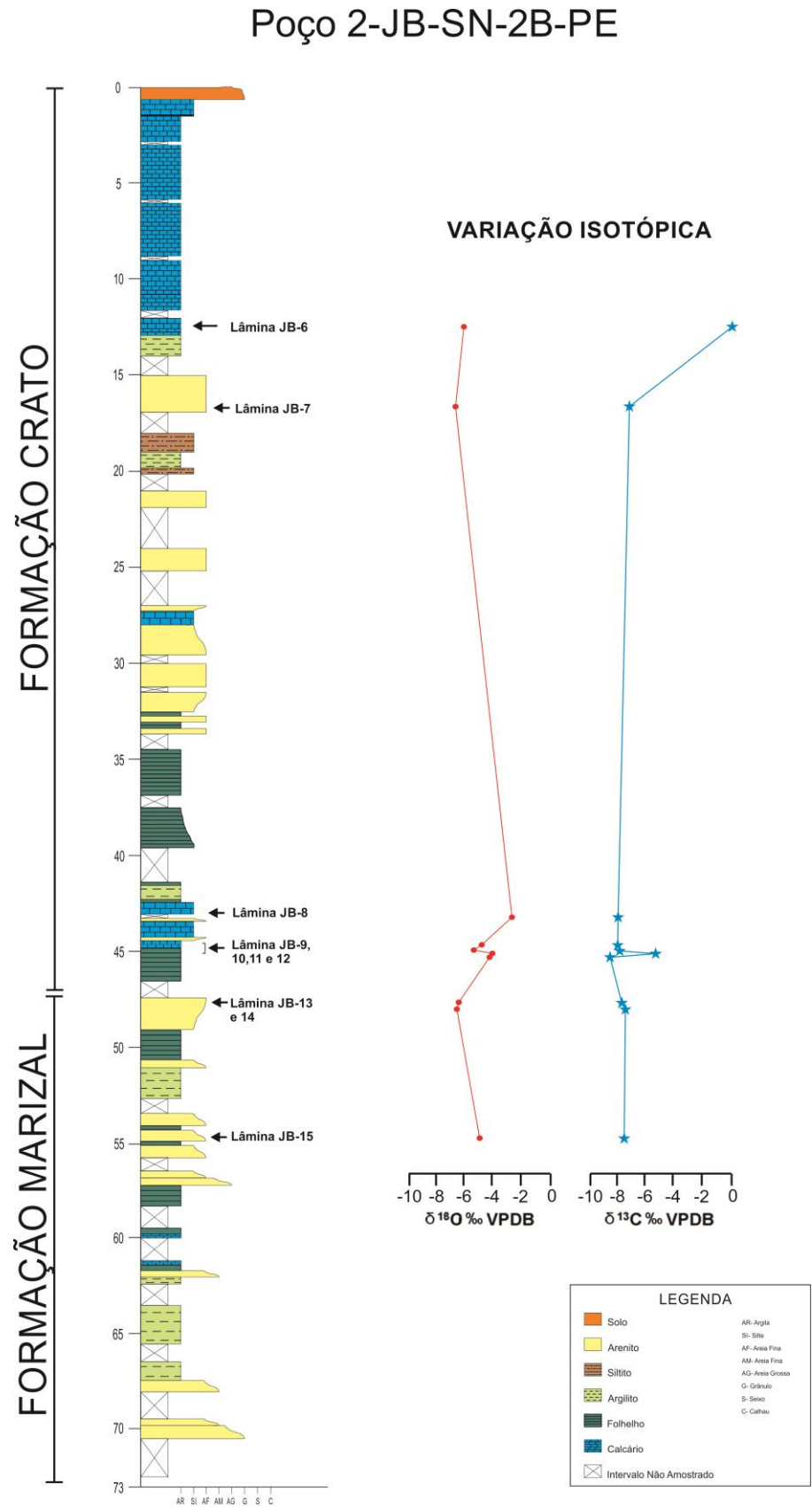
Através dos resultados apresentados, foi observado que há uma covariância nos valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ nos dois poços, sugerindo que o paleoambiente em análise se comportou como um lago fechado, com alguma variação do balanço hídrico por causa dos efeitos de influxo e evaporação.

Figura 43 - Correlação de poço 2-JB-SN-2A-PE com as amostras de variação isotópica de ^{18}O e ^{13}C – Serra Negra, Bacia de Jatobá.



Fonte: Próprio autor.

Figura 44 - Correlação do poço 2-JB-SN-2B-PE com as amostras de variação isotópica de ^{18}O e ^{13}C – Serra Negra, Bacia de Jatobá.



Fonte: Próprio autor.

4.1.4 Análise Semi-Quantitativa de Elementos Maiores Através de Análise Estatística Multivariada

Análise de Componentes Principais (ACP)

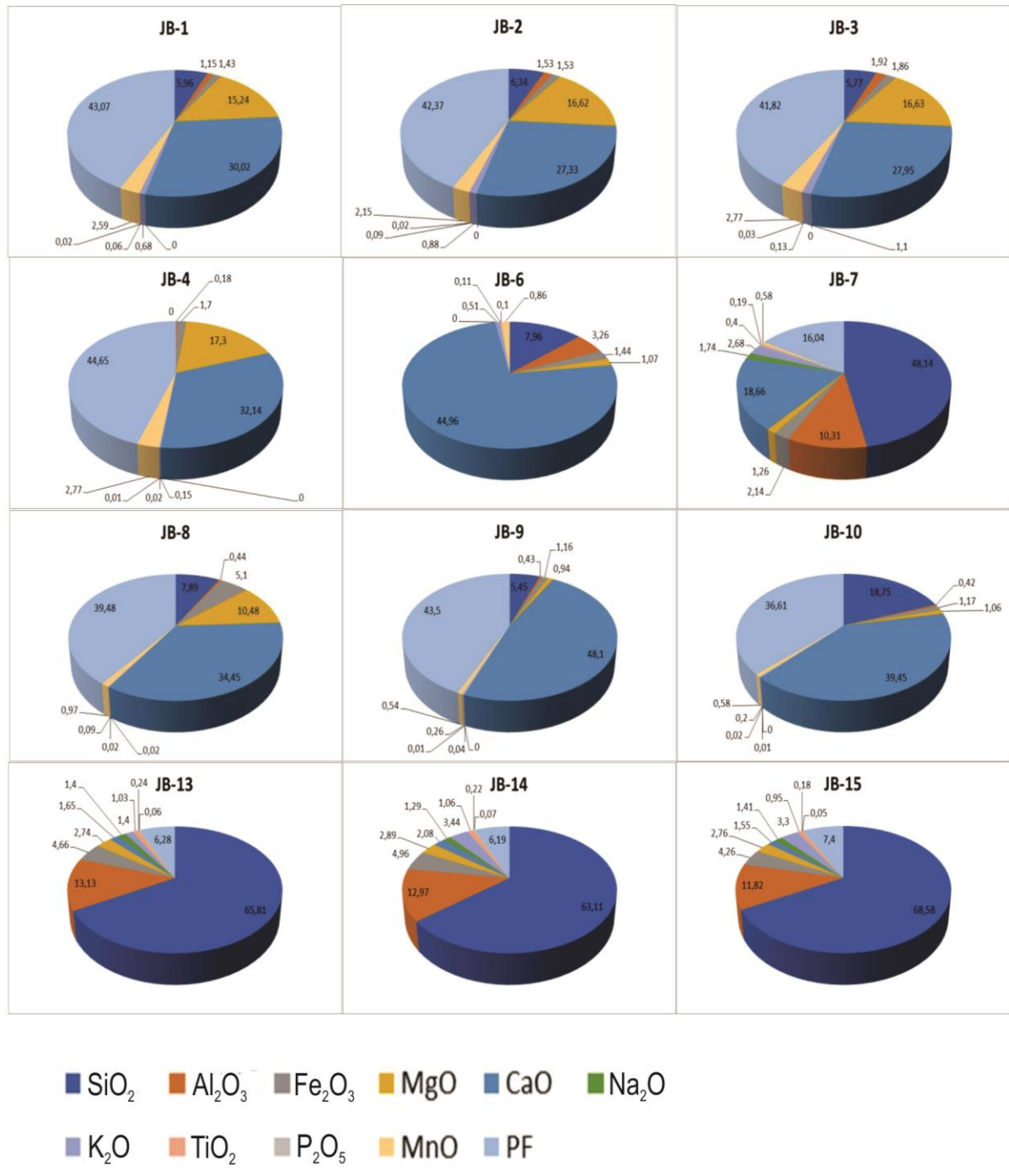
A Análise de Componentes Principais é um método que utiliza a projeção de dados n-dimensionais em um espaço de menor dimensão, ou seja, as informações contidas no espaço de dimensão n são comprimidas por combinações lineares das variáveis originais a um espaço geralmente de ordem 2 ou 3. A ACP é um método exploratório porque auxilia na elaboração de hipóteses gerais a partir dos dados coletados, separando a informação importante da redundante e aleatória. Em uma análise de componentes principais, o agrupamento das amostras define a estrutura dos dados pela construção de gráficos de *scores* e *loadings*, cujos eixos são Componentes Principais (PC ou Factor) nos quais os dados são projetados. Os *scores* fornecem a composição das PCs em relação às amostras, enquanto os *loadings* fornecem essa mesma composição em relação às variáveis.

Para esse estudo foram utilizado os resultados das análises dos elementos maiores (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅ e MnO) além da Perda ao Fogo (PF), em 12 (doze) amostras (JB-1, JB-2, JB-3, JB-4, JB-6, JB-7, JB-8, JB-9, JB-10, JB-13, JB-14 e JB-15), das formações Crato e Marizal, na Serra Negra, distribuídas entre os poços 2-JB-SN-2A-PE e 2-JB-SN-2B-PE (Tabela 4 e Figura 45).

Tabela 4 - Teor composicional dos elementos maiores das amostras dos poços 2-JB-SN-2A-PE e 2-JB-SN-2B-PE - Serra Negra, Bacia de Jatobá.

ELEMENTOS	JB-1	JB-2	JB-3	JB-4	JB-6	JB-7	JB-8	JB-9	JB-10	JB-13	JB-14	JB-15
SiO ₂	5,96	6,34	5,77	0	7,96	48,14	7,89	5,45	18,75	65,81	63,11	68,58
Al ₂ O ₃	1,15	1,53	1,92	0,18	3,26	10,31	0,44	0,43	0,42	13,13	12,97	11,82
Fe ₂ O ₃	1,43	1,53	1,86	1,7	1,44	2,14	5,1	1,16	1,17	4,66	4,96	4,26
MgO	15,24	16,62	16,63	17,3	1,07	1,26	10,48	0,94	1,06	2,74	2,89	2,76
CaO	30,02	27,33	27,95	32,14	44,96	18,66	34,45	48,1	39,45	1,65	2,08	1,55
Na ₂ O	0	0	0	0	0	1,74	ND	0	0	1,4	1,29	1,41
K ₂ O	0,68	0,88	1,1	0,15	0,51	2,68	0,02	0,04	0,01	1,4	3,44	3,3
TiO ₂	0,06	0,09	0,13	0,02	0,11	0,4	0,02	0,01	0,02	1,03	1,06	0,95
P ₂ O ₅	0,02	0,02	0,03	0,01	0,1	0,19	0,09	0,26	0,2	0,24	0,22	0,18
MnO	2,59	2,15	2,77	2,77	0,86	0,58	0,97	0,54	0,58	0,06	0,07	0,05
PF	43,07	42,37	41,82	44,65	39,73	16,04	39,48	43,5	36,61	6,28	6,19	7,4
TOTAL	100,22	98,86	99,98	98,91	60,27	102,16	98,93	100,42	98,26	98,4	98,28	102,24

Figura 45 - Gráficos com os Teores composicionais dos elementos maiores das amostras dos poços 2-JB-SN-2A-PE e 2-JB-SN-2B-PE - Serra Negra, Bacia de Jatobá.

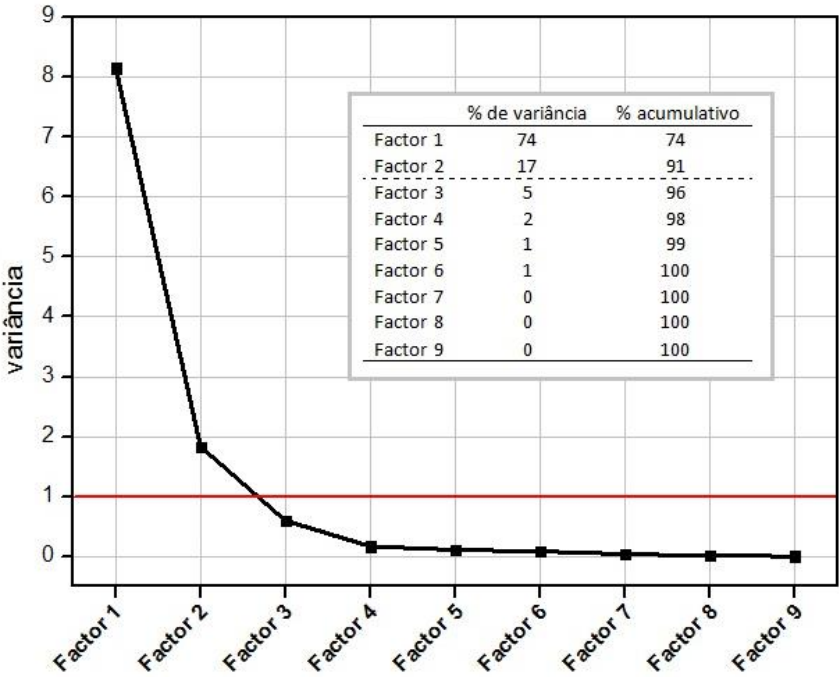


Fonte: Próprio autor.

A verificação da qualidade da análise multivariada pode ser comprovada quando a redução de dimensionalidade supera os 70% de informação da variância ou quando o valor da variância de cada componente individual (Factor) é superior a 01 (um). Neste caso como observado no gráfico da Variância, a combinação das duas primeiras Componentes (Factor 1

x Factor 2) obtiveram um percentual de 91% da informação da variância total do sistema, sendo que Factor 1 contém 74% e 17% para o Factor 2 (Figura 46).

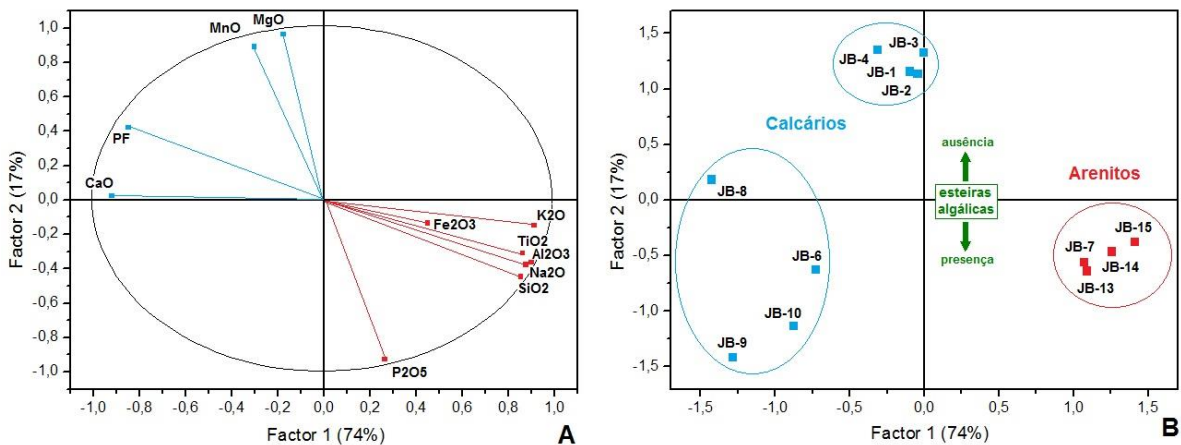
Figura 46 – Gráfico da variância total do sistema explicadas por cada componente.



Fonte: Próprio autor.

Diante disso, foram confeccionados os gráficos de Análise de Componentes Principais para as variáveis (Figura 47A) e para as amostras (Figura 47B) dos dados apresentados neste trabalho.

Figura 47 – Gráfico obtido por Análise de Componentes Principais.



Fonte: Próprio autor.

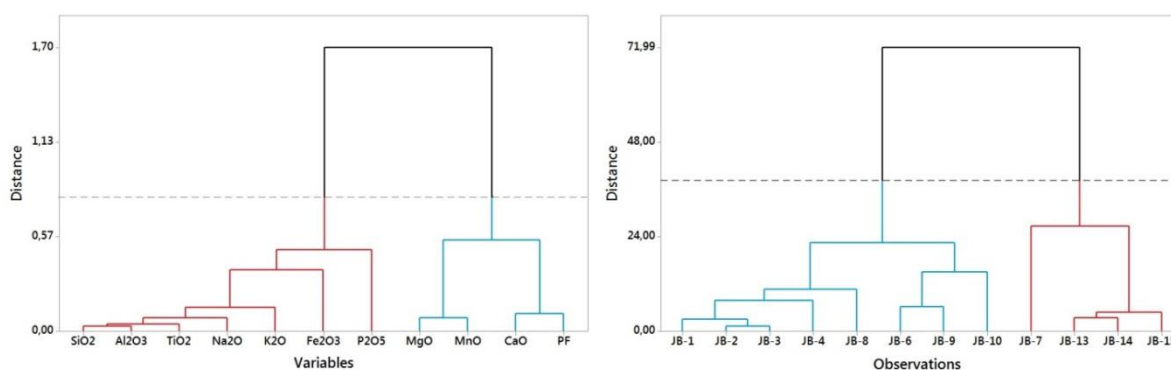
Observa-se de forma geral que existem dois grandes grupos formados nesses gráficos, que aqui foram selecionados com duas cores distintas, o azul localizado a esquerda do eixo Factor 1 e o outro grupo em vermelho localizado a direita do mesmo eixo. O grupo em vermelho é composto pelas amostras JB-7, JB-13, JB-14 e JB15 (Figura 47B) e está relacionado às amostras do mesmo grupo do gráfico das variáveis SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , TiO_2 e P_2O_5 (Figura 47A). Tal comportamento sugere que essas amostras estão agrupadas pela forte semelhança química de sua litologia, que são descritas como arenitos, apesar das amostras JB-13, JB-14 e PB15 pertencerem a Formação Marizal e a amostra JB-7 ser da Formação Crato elas se agrupam em caráter predominante de sua composição em relação à localização no tempo de suas respectivas formações geológicas.

Para o segundo grupo em azul, que é composto pelas amostras JB-1, JB-2, JB-3, JB-4, JB-6, JB-8, JB-9 e JB10, está relacionado às variáveis MgO , CaO , MnO e PF . Esse agrupamento sugere que a litologia seja novamente o fator de semelhança entre essas amostras, que são descritas como calcários. Embora seja notória uma distinção para as amostras JB-1, JB-2, JB-3 e JB-4 com as variáveis MnO e MgO , para as amostras JB-6, JB-8, JB-9 e JB-10 relacionadas às variáveis CaO e PF . Essa separação em dois subgrupos de calcários pode ser bem exemplificada pelos gráficos da Figura 41B, onde mostra que o primeiro subgrupo (JB-1, JB-2, JB-3 e JB-4) é todo pertencente à Formação Crato do poço 2-JB-SN-2A-PE (Poço 2A) e o outro subgrupo (JB-6, JB-8, JB-9 e JB10) pertencem ao poço 2-JB-SN-2B-PE (Poço 2B) da mesma Formação. Essa separação pode ter sido influenciada pela presença de Esteiras algálicas identificadas apenas nas amostras do poço 2B, juntamente com elevados teores de CaO e PF juntos. Neste caso justifica-se o motivo pelo qual o P_2O_5 possui um comportamento distinto dos demais no gráfico da Figura 41A, uma vez que existe certo teor de fosfato nos arenitos calcíferos e também nesses calcários, provavelmente devido à presença de matéria orgânica e esteiras algálicas identificadas em algumas lâminas delgadas. De modo geral, utilizando o método Análise de Componentes Principais foi possível classificar quimicamente as amostras analisadas pelas suas litologias (arenitos ou calcários) e em subgrupos como pelo teor de fosfato, que foram identificadas pela presença ou ausência de esteiras algálicas e matéria orgânica.

Análise de Agrupamento Hierárquico

Outra análise estatística foi elaborada com o objetivo de comprovação das primeiras observações no tratamento dos dados deste trabalho. Assim, foi realizada uma Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) que diminui a matriz de dados em uma dimensão, pela reunião de pares semelhantes, até a reunião de todos os pontos em um único grupo. O objetivo da AAH é exibir os dados em um espaço bidimensional de maneira a enfatizar os seus agrupamentos e padrões naturais. A distância entre os pontos (amostras ou variáveis) reflete a similaridade de suas propriedades, sendo útil para determinar a semelhança entre amostras. O método relaciona as amostras de forma que as mais semelhantes são agrupadas entre si. Os resultados são apresentados na forma de um dendrograma que agrupa amostras ou variáveis em função da similaridade (Figura 48). Neste diagrama, a escala do gráfico das variáveis varia de zero (amostras sem similaridades) a um (amostras similares), utilizando a distância euclidiana e o método de conexão incremental.

Figura 48 – Dendrograma obtido pela Análise de Agrupamentos Hierárquicos.



Fonte: Próprio autor.

Da mesma forma que ACP, o gráfico de AAH é apresentado com a separação em grupos, com as variáveis e amostras, sendo o primeiro em vermelho com as amostras JB-7, JB-13, JB-14 e JB-15 e as variáveis SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O, TiO₂ e P₂O₅. O segundo grupo em azul contém as amostras JB-1, JB-2, JB-3, JB-4, JB-6, JB-8, JB-9 e JB-10 e as variáveis MgO, CaO, MnO e PF (Figura 48). Essa separação também sugere que a semelhança dessas amostras está na sua litologia, distinguindo-se assim os arenitos dos calcários. Também é possível evidenciar o subgrupo formado das amostras de calcários,

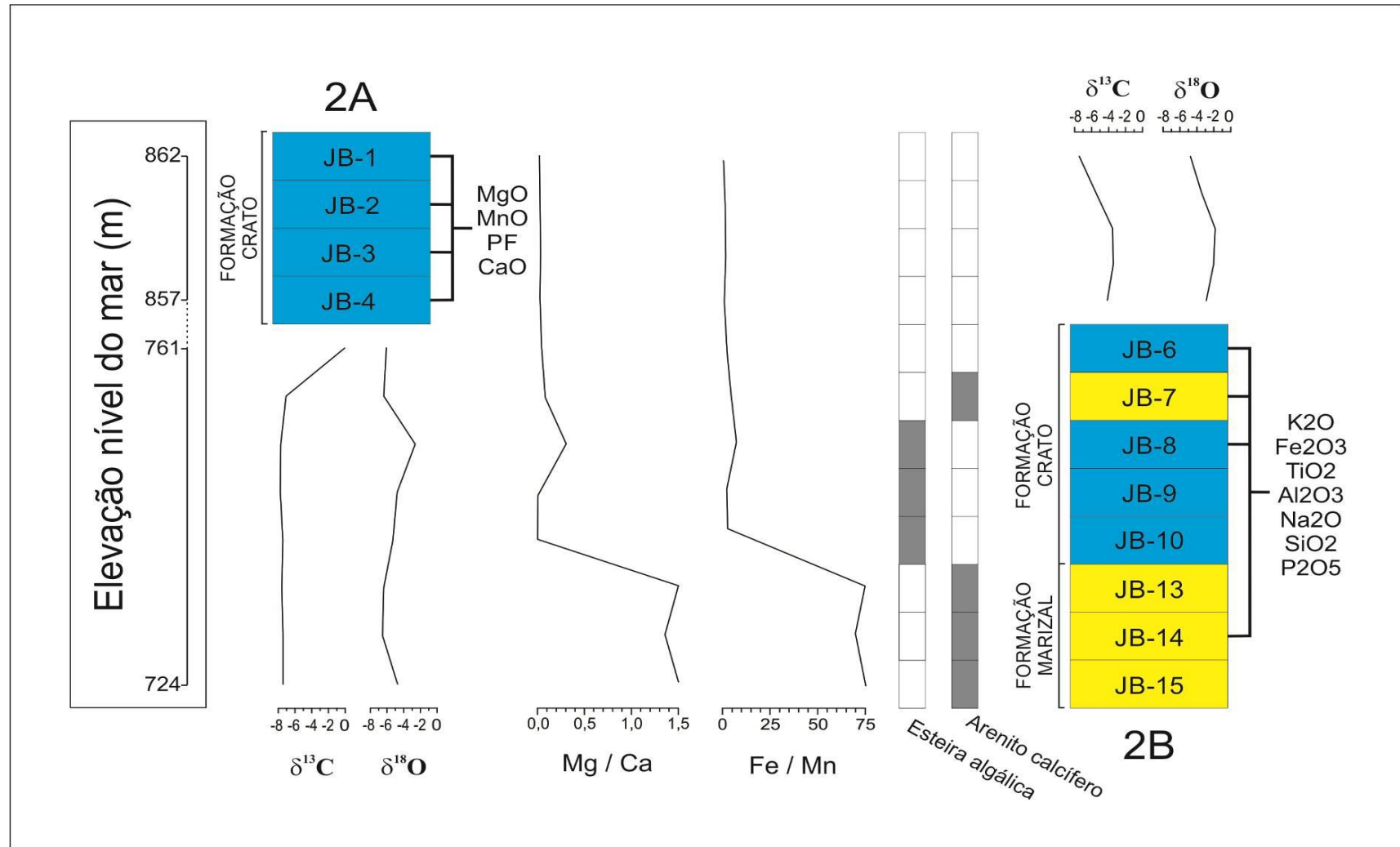
distinguindo-se o primeiro pela presença de MgO e MnO, do segundo com maiores teores de CaO e PF. Nessa análise é possível observar outro subgrupo dos arenitos, que é formado pela amostra JB-7, uma vez que está deslocada da similaridade das demais amostras de arenito. Vale ressaltar que essa amostra pertence à Formação Crato, diferente dos outros arenitos (JB-13, JB-14 e JB15) que são da Formação Marizal. Esse fato pode estar associado à ausência de biotitas e óxido de ferro observadas em maior quantidade nas amostras da Formação Marizal. Tal distinção corrobora com a hipótese de que os métodos multivariados evidenciaram a separação das amostras em função de sua composição química e da localização de suas formações geológicas.

Para integralizar as observações verificadas pelos métodos estatísticos (ACP e AAH), é apresentada uma figura em conjunto com os resultados da razão Mg/Ca, da razão Fe/Mn e razões isotópicas, com a separação das amostras por poço (2A e 2B), sua litologia (azul para os calcários e amarelo para os arenitos), localizados em sua profundidade e formação geológica (Figura 49).

A razão Mg/Ca que incide processos de dolomitização é mais elevado para as amostras dos arenitos da Formação Marizal com valores acima 01. As demais amostras, todas da Formação Crato possuem valores da razão Mg/Ca inferiores a 01, indicando a presença de maior salinidade presente nas amostras de arenito da Formação Marizal. Essa variação da salinidade entre as duas formações também pôde ser observada nas análises de Isótopos Estáveis, porém de forma mais sutil. A partir dessa análise, é possível levantar a hipótese de que durante a deposição dos arenitos calcíferos da Formação Marizal houve uma transição rápida de ambiente, tornando-se seco e árido mais rápido do que no ambiente onde foram depositados os arenitos da Formação Crato.

Quanto à razão Fe/Mn indicar um brusco aumento na concentração de ferro nos arenitos da Formação Marizal, com valores acima de 70, diferente dos calcários e arenitos da Formação Crato que apresentam valores abaixo de 06, podemos afirmar que essa ocorrência não tem relação com a presença de esteiras algálicas ou matéria orgânica, e sim com o tempo de exposição desses sedimentos ao paleoambiente no qual foram depositados. A hipótese mais provável é de os sedimentos da Formação Marizal, durante a sua deposição, sofreram maior tempo de exposição e soterramento que os sedimentos da Formação Crato, aumentando assim a sua concentração de ferro.

Figura 49 – Resultados dos métodos estatísticos integrados com os demais parâmetros



Fonte: Próprio autor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES – SERRA DO TONÃ

DISCUSSÕES INICIAIS

A Serra do Tonã, localizada na Sub-bacia de Tucano Norte, é composta por sedimentos Pós-rifte representados pelas formações Marizal e Crato. Essa sequência de sedimentos Aptianos pôde ser observada através dos poços estratigráficos TN-ST-4-BA, 2-TN-ST-3A-BA e TN-ST-3B-BA, que foram locados a partir do topo da própria Serra do Tonã, seguindo a seguinte cota topográfica de 515m, 525m e 461, respectivamente (Figuras 50, 51 e 52).

Na Formação Marizal se observa, predominantemente, sedimentos formados em ambiente fluvial associado a deltas. Segundo Varejão et al. (2016), a Formação Marizal, na Sub-bacia de Tucano Norte, pode ser dividida em duas sequências fluviais principais composta predominantemente por arenitos, podendo ocorrer siltitos e argilitos intercalados com os arenitos. Estas duas sequências fluviais estão separadas por um evento tipicamente lacustre, com espessura de até 15m, aproximadamente, que aflora no sopé da Serra do Tonã. Esse evento lacustre é composto por uma alternância de folhelhos e calcários, nomeada por Freitas (2014) de “Camada Amargosa”. Essa sequência pôde ser observada, também, através do perfil do poço TN-ST-3B-BA (Figura 52).

A Serra do Tonã é formada, a partir do sopé, pelos sedimentos que compõem a “Camada Amargosa”, os sedimentos da segunda sequência fluvial da Formação Marizal, e por último, no topo da serra, pelos sedimentos lacustres sobrepostos da Formação Crato, como ilustrado, em parte, no mapa geológico da área de estudo (Figura 53).

Silveira et al. (2014) detalhou o intervalo superior do poço 2-TN-ST-3A-BA, correspondente a Formação Crato na Serra do Tonã, o qual chamou de Associação de Fácies Lacustre (AFL). O foco principal do autor, no referido trabalho, foi à associação de fácies carbonática, que foi dividida em três lifofácies principais: calcários laminados, calcários maciços e margas. Nesse mesmo trabalho, o autor realizou o estudo de isótopos estáveis de carbono e oxigênio da porção carbonática pertencente à AFL (Figura 54).

Os resultados apresentados por Silveira et al. (2014) mostram valores da composição isotópica do carbono variando entre - 8,76 e 1,41 ‰ VPDB e a de oxigênio entre -14,28 a - 4,14 ‰ VPDB. Tendo em vista que os valores da razão $\delta^{18}\text{O}$ para carbonatos marinhos, segundo Faure e Mensing (2005), estão próximos de zero (-2 ‰ VPDB a +2 ‰ VPDB), e que a razão entre os $\delta^{13}\text{C}$ para ambientes lacustres são negativos ou próximos de zero (-20 ‰ VPDB a 0 ‰ VPDB), logo, pode-se afirmar que os valores apresentados se enquadram dentro

da variação normalmente observada em carbonatos lacustres. Pode-se ainda sugerir, através dos dados isotópicos de ^{13}C e ^{18}O , que esses carbonatos da Serra do Tonã são semelhantes aos carbonatos Aptianos encontrados na Serra Negra, Bacia de Jatobá.

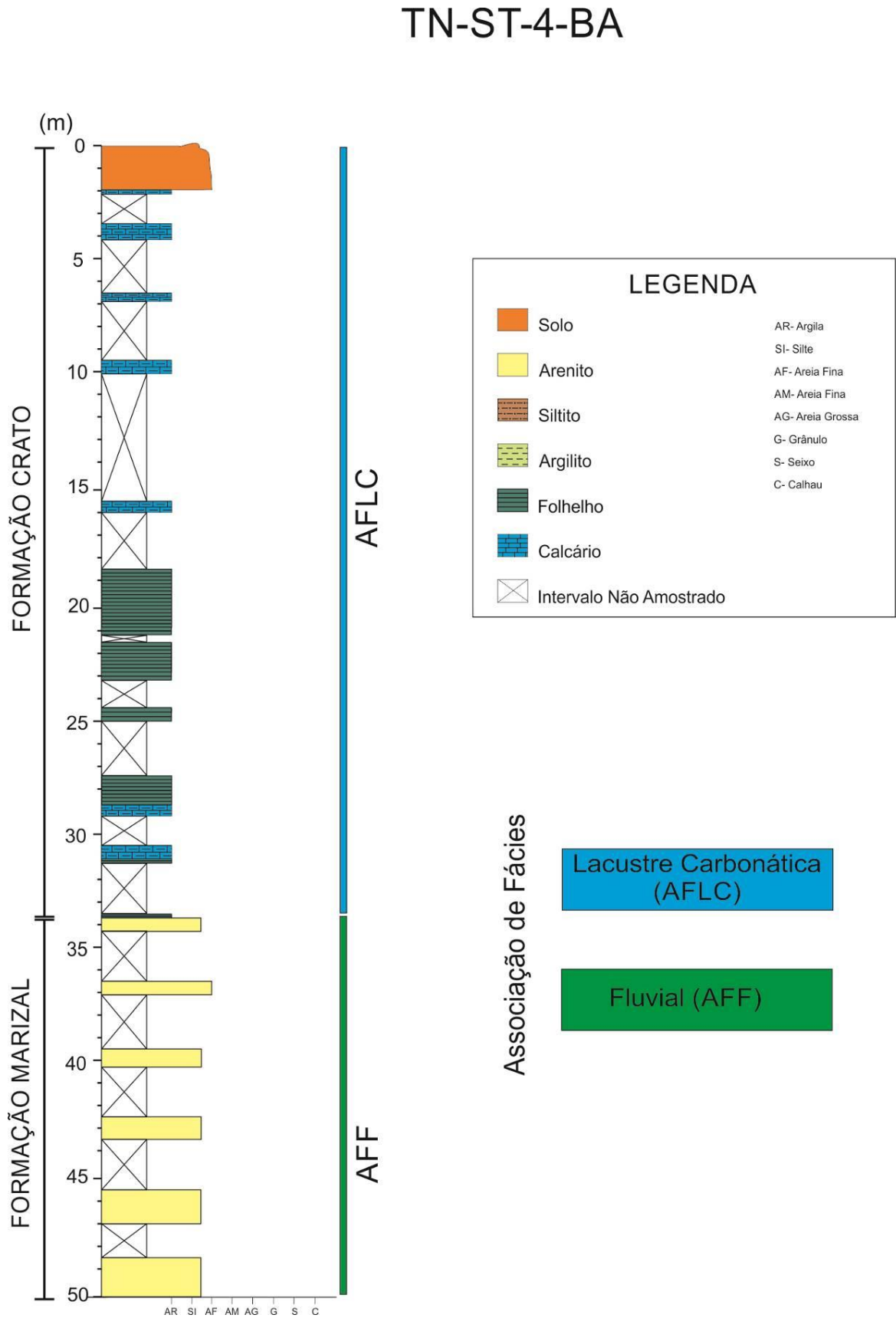
Durval (2017) teve como foco principal do seu trabalho o detalhamento da porção correspondente a Formação Marizal na Serra do Tonã, no mesmo poço que Silveira et al. (2014) trabalharam. O autor observou dez litofácies principais, tipicamente fluviais associado a deltas, no qual caracterizou de Associação de Fácies Fluvial (AFF). A AFF é composta principalmente por arenitos finos a médios, calcíferos e não calcíferos; siltitos; argilitos; folhelhos, calcários laminados, maciços e margas.

Neste capítulo do trabalho, foi revisada a sequência lacustre descrita por Silveira et al. (2014), sendo aqui chamada de Associação de Fácies Lacustre Terrígena (AFLT) e Associação de Fácies Lacustre Carbonática (AFLC), onde foram encontrados mais cinco litofácies, além das já descritas por aqueles autores, complementando parte do seu trabalho. No total, foram observadas sete litofácies, sendo duas ligadas a AFLT e cinco ligadas a AFLC.

Na AFLT foram observadas as seguintes litofácies: Arenito calcífero (Acc) e Arenito com cimento de óxido e hidróxido de ferro (Aoa). Já na AFLC se observou as seguintes litofácies: Calcário maciço (Cm), Calcário laminado (Cl), Calcário peloidal (Cp), Calcário com siliciclásticos (Cs) e Ritmitos argilo-carbonáticos (Rac) (Tabela 5).

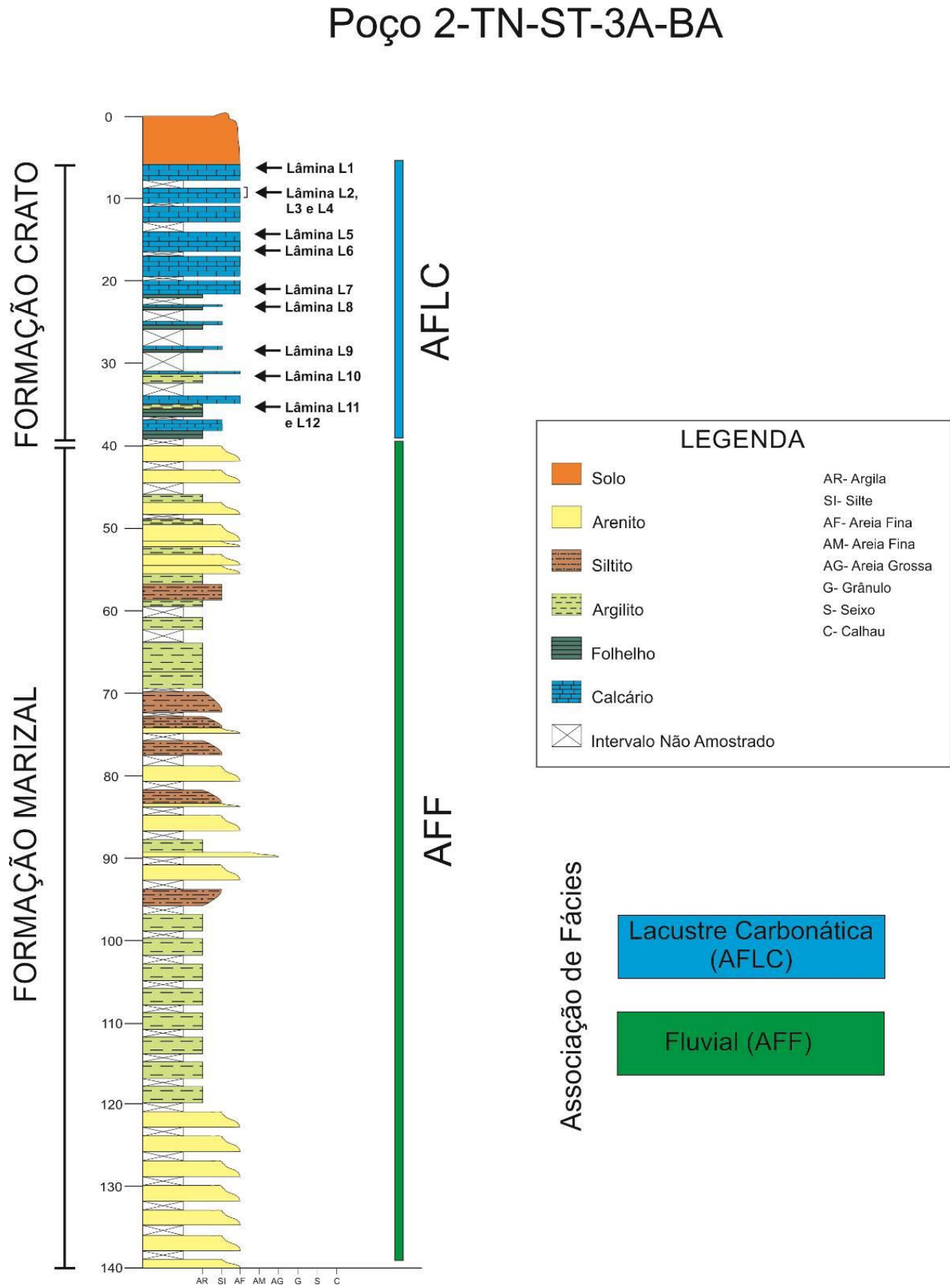
Foi realizada também uma associação de poços estratigráficos, para o melhor entendimento da sequência de sedimentos na Serra do Tonã. Esses poços contribuíram com a tese de que poderia haver um grande paleolago envolvendo a região da Sub-bacia de Tucano Norte e Bacia de Jatobá.

Figura 50 - Perfil estratigráfico do Poço TN-ST-4-BA – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A cota topográfica do topo do poço é de 515m em relação ao nível do mar.



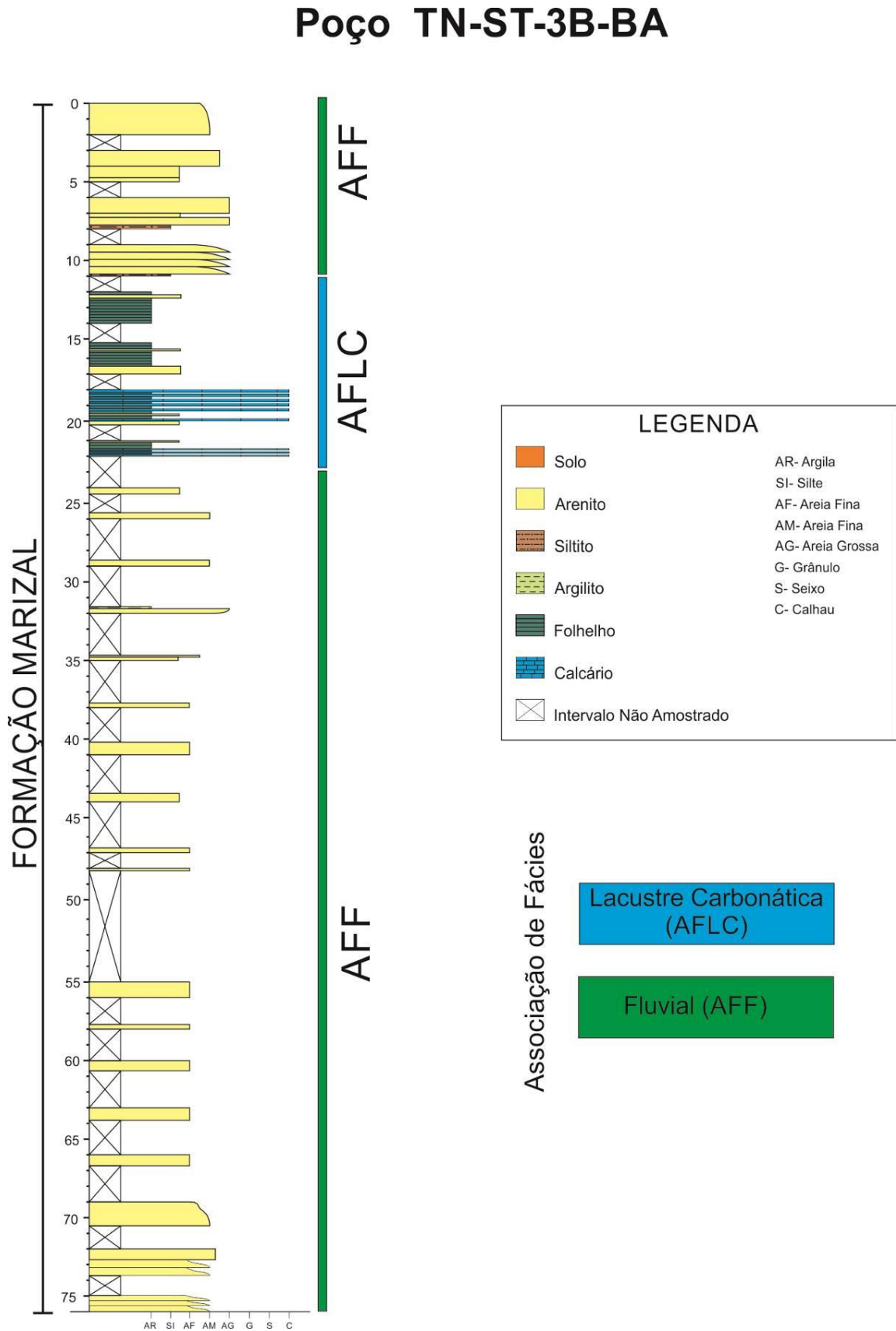
Fonte: Próprio autor.

Figura 51 - Perfil estratigráfico do Poço 2-TN-ST-3A-BA – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A cota topográfica do topo do poço é de 524m em relação ao nível do mar.



Fonte: Próprio autor.

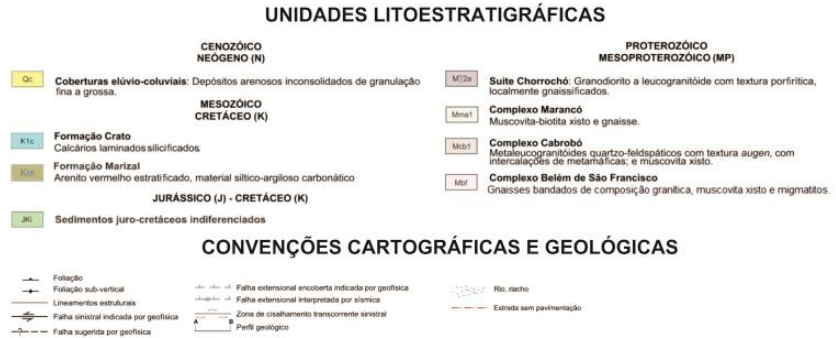
Figura 52 - Perfil estratigráfico do Poço TN-ST-3B-BA – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A cota topográfica do topo do poço é de 461m em relação ao nível do mar.



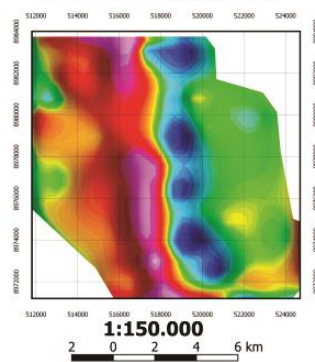
Fonte: Próprio autor.

Figura 53 – Mapa Geológico destacando, em parte, as Formações Marizal e Crato, encontradas na Serra do Tonã, próximo a borda de falha da Sub-bacia de Tucano Norte. Revisado e modificado de Souza (2015).

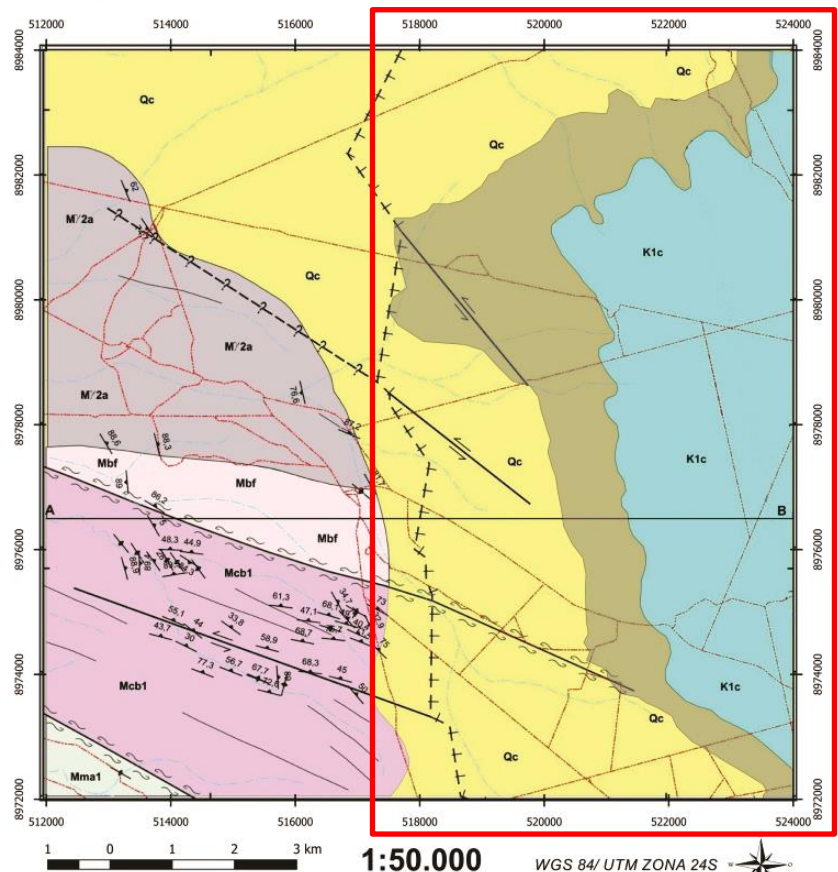
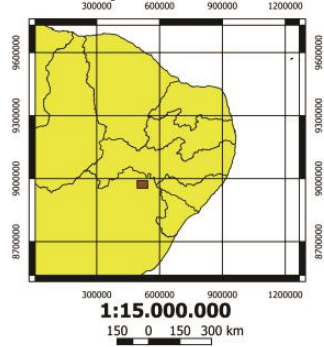
MAPA GEOLÓGICO DA BORDA DA SUB-BACIA DE TUCANO NORTE



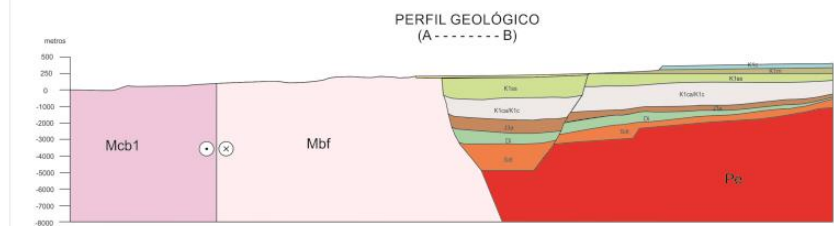
MAPA GEOFÍSICO DA ÁREA DE ESTUDO DA SUB-BACIA DE TUCANO NORTE - BACIA DE JATOBÁ



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



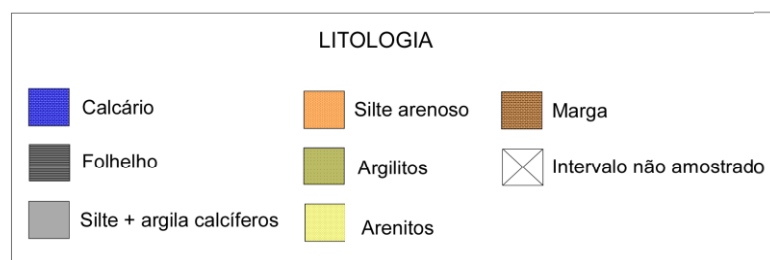
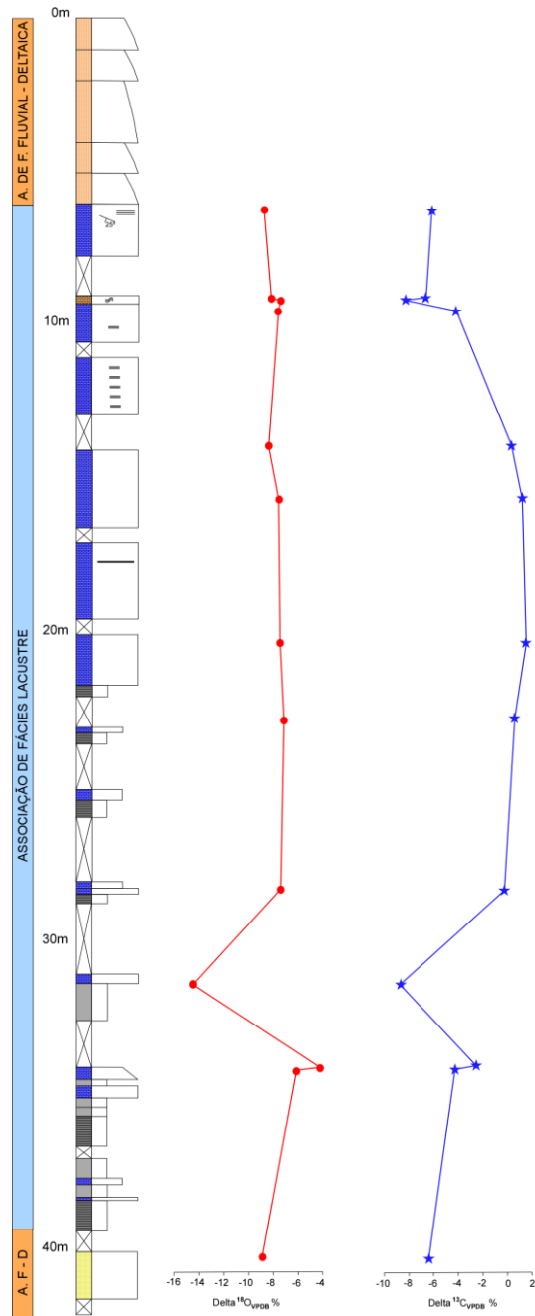
Perfil Geológico
Sub-bacia de Tucano Norte - Serra do Tonã



Fonte: Próprio autor.

Figura 54 - Curvas isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ do sistema lacustre da Serra do Tonã, baseado no furo 2-TN-ST-03a-BA (SILVEIRA et al., 2014).

Perfil estratigráfico do Furo 2-TN-ST-03a-BA



Fonte: Próprio autor.

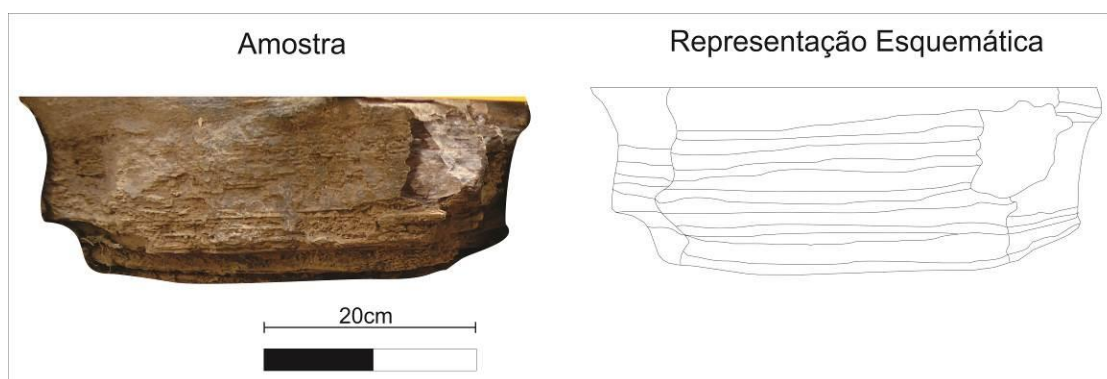
RESULTADOS

5.1 FORMAÇÃO CRATO NA SERRA DO TONÃ - SUB-BACIA DE TUCANO NORTE

A Formação Crato na Serra do Tonã é representada principalmente por calcários lacustres laminados e maciços, às vezes silicificados, com coloração em tons de marrom, abrangendo tonalidades desde o bege-claro ao marrom escuro (Figura 55). A coloração mais escura das lâminas é aqui atribuída à presença de óxidos e hidróxidos de ferro, pirita framboidal e/ou matéria orgânica preservada.

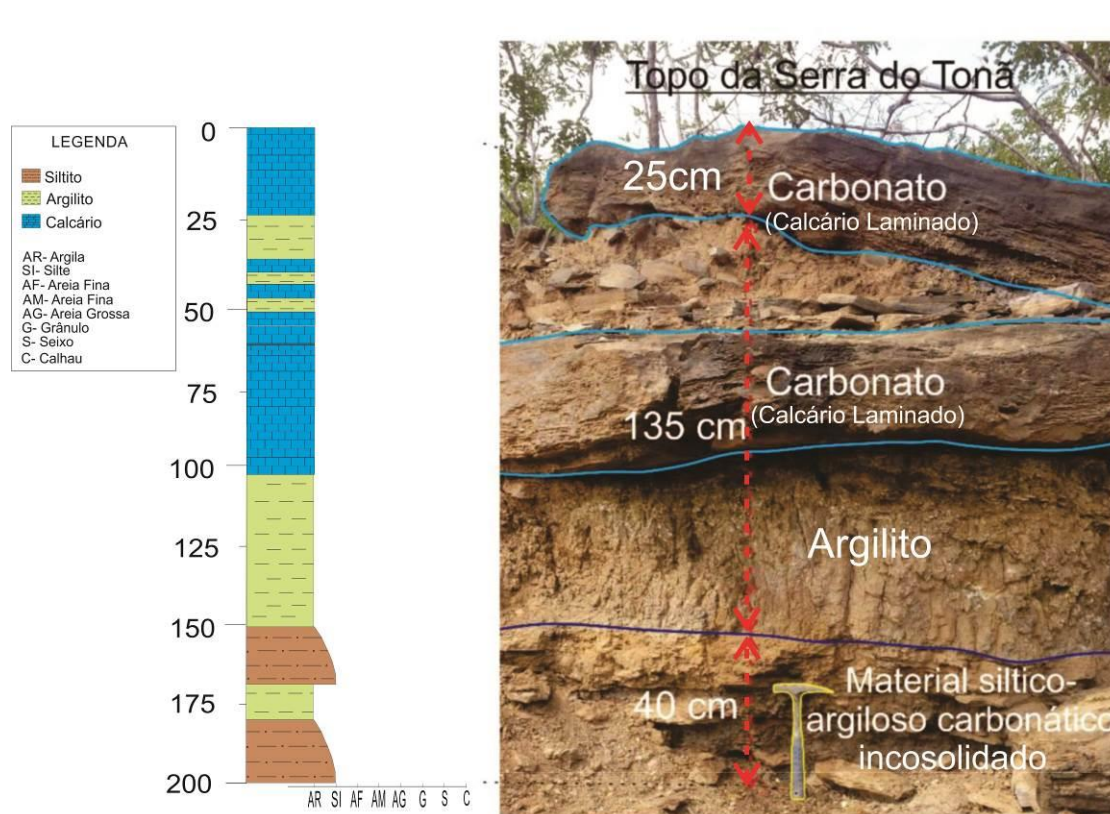
A área observa-se grande presença de placas laminadas descontínuas de calcário, alternadas por intervalos de argilas carbonáticas, folhelhos e arenitos muito finos da Formação Crato. Estas placas estão distribuídas de forma abundante ao longo do topo da Serra do Tonã, observando-se ainda pequenos fragmentos soltos e dispersos próximos às escarpas da serra (Figura 56).

Figura 55 - Amostra de mão de um calcário laminado parcialmente intemperizado da Serra do Tonã, Sub-Bacia de Tucano Norte. Ao lado sua representação esquemática.



Fonte: Próprio autor.

Figura 56 - Interpretação e perfil estratigráfico relativo a afloramento da sequência carbonática do topo da Serra do Tonã. Placas carbonáticas ocorrem em meio a material bastante intemperizado sobreposto a intervalo siltico-argiloso de composição carbonática. Modificado de Souza (2015).



Fonte: Próprio autor.

Como resultado do estudo do perfil estratigráfico do poço 2-TN-ST-3A-BA (Figura 51) e das observações realizadas em trabalhos de campo, a Formação Crato na Serra do Tonã foi novamente individualizada em uma única unidade como descrito em trabalhos recentes já citados, porém, agora está associada a uma associação de fácies lacustre terrígena e uma fácies lacustre carbonática, constituída de sete litofácies (Tabela 5). Sendo assim, foram observadas e identificadas cinco novas litofácies (Cp, Cs, Rac, Acc e Aoa) além das duas litofácies (Cm e Cl) já descritas anteriormente por Silveira et al. (2014). Essa nova definição contou ainda com auxílio de novos estudos petrográficos/catoluminescência e novas amostras do poço 2-TN-ST-3A-BA (Quadro 4).

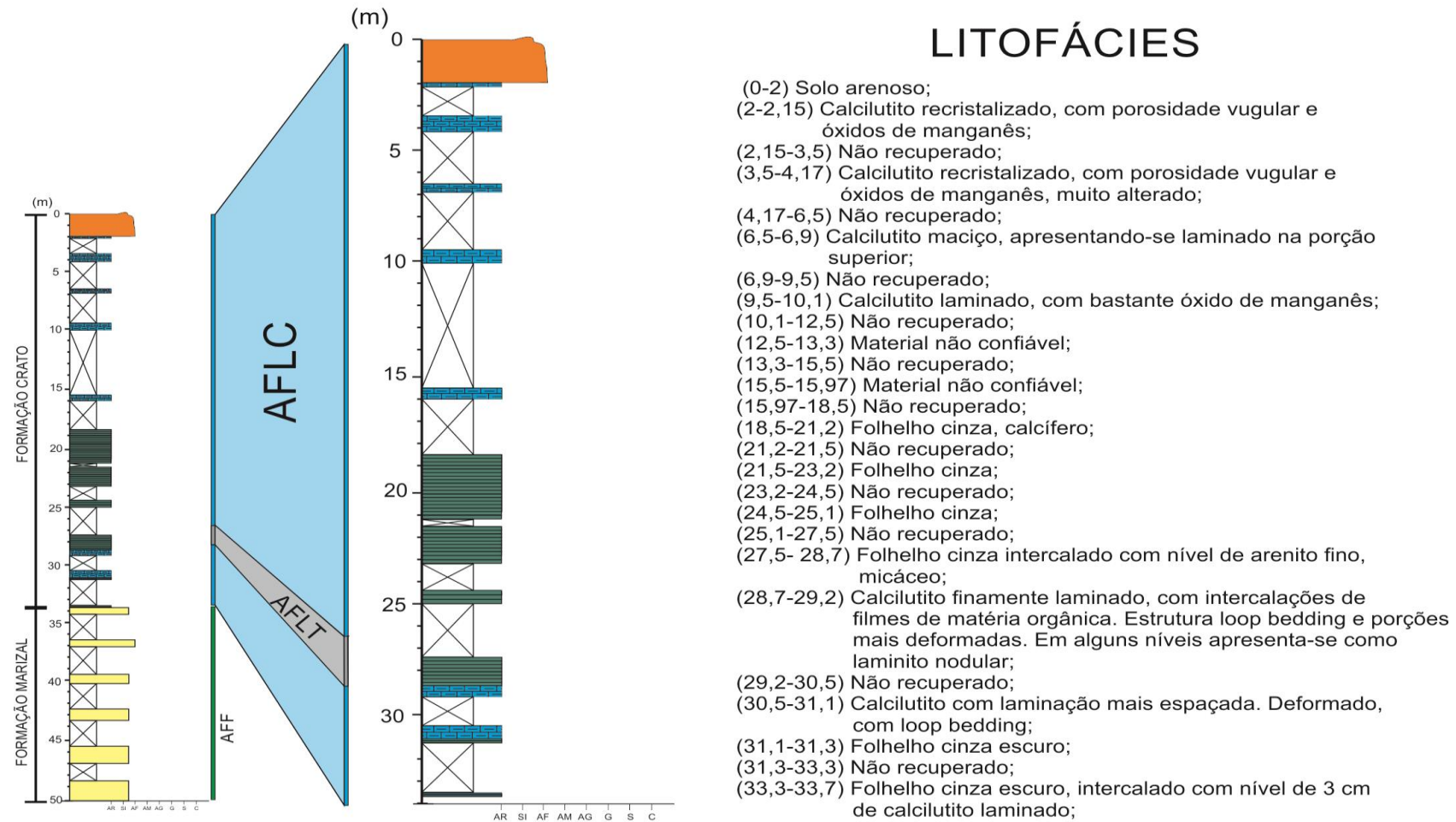
Tabela 5 - Resumo das litofácies observadas na Formação Crato, encontradas nos poço 2-TN-ST-3A-BA – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES	LITOFÁCIES	DESCRIÇÃO
Lacustre Carbonática (AFLC)	Cm	Calcários maciços de coloração acinzentada, com granocrescência ascendente.
	Cl	Calcário Laminado variando a coloração entre castanho-claro e castanho-escuro, podendo apresentar "slumps".
	Cp	Calcário Peloidal composto por massa carbonática micrítica e pelóides circundados por esteiras algálicas.
	Cs	Calcário com siliciclásticos composto por uma matriz carbonática, com laminação formada por minerais siliciclásticos, predominando muscovita e biotita.
	Rac	Ritmitos argilo-carbonáticos de coloração acinzentada
Lacustre Terrígena (AFLT)	Acc	Arenito Calcífero, predominando grãos de quartzo dispersos em um cimento carbonático.
	Aoa	Arenito com cimento de óxido e hidróxido de ferro, e argila de infiltração. Possui pouca calcita espática.

O poço estudado 2-TN-ST-3A-BA possui um total de 140m, sendo detalhado nesta tese o intervalo que vai de 6 a 40m de profundidade (Figura 57). Esse intervalo corresponde à sequência lacustre aptiana da Formação Crato, ligada a uma Associação de Fácies Lacustre Carbonática (AFLC) e pequenos eventos ligados a uma Associação de Fácies Lacustre Terrígena (FLT). Na porção do intervalo entre 6 e 22m é possível observar uma sequência de calcilutitos e calcarenitos esbranquiçados com níveis fossilíferos, ricos em ostracodes e restos de vegetais carbonizados. No intervalo entre 22 e 31m temos uma alternância de folhelhos calcíferos, calcilutitos, calcarenitos e arenitos muito finos. Entre 31 e 36,5m temos principalmente intercalação entre folhelhos e arenitos. O último intervalo detalhado, que vai de 36,5 e 40m, é composto predominantemente por ritmitos argilo-carbonáticos, predominando folhelhos e calcilutitos.

No Poço TN-ST-4-BA, entre o intervalo que vai de 2 a 18m de profundidade, predominam calcários laminados e calcilutitos. A partir do intervalo entre 18 a 34m predominam ritmitos argilocarbonáticos compostos predominantemente por folhelhos e calcilutitos (Figura 58).

Figura 58 - Perfil do Poço TN-ST-4-BA com destaca para a porção pertencente à Formação Crato na Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte.



Fonte: Próprio autor.

Associação de Fácies Lacustre Terrígena (AFLT)

Caracterizada pela maior entrada de sedimentos terrígenos num ambiente sedimentação tipicamente lacustre.

LITOFÁCIES Acc- Composta por um arenito fino, calcífero, esbranquiçado, com laminação cruzada, rico em grãos de quartzo subarredondado a subangulosos dispersos em um cimento carbonático. Possui ainda grãos de feldspato, muscovita e biotita. Nas lâminas petrográficas Lâminas L-1 e L-9 (Figuras 59 e 11) pôde-se observar o predomínio dos contatos do tipo tangencial entre os grãos de quartzo, porém o empacotamento é frouxo. Poucos grãos de quartzo apresentam extinção ondulante e apenas aproximadamente 5% são policristalino, indicando uma provável fonte não metamórfica. Os grãos de mica estão bem preservados, indicando um possível soterramento rápido. Na catodoluminescência (CL) foi possível observar que os grãos de quartzo apresentam uma coloração azul escura a marrom e às vezes verde. O feldspato apresenta uma coloração azul mais clara e brilhante. A presença do cimento carbonático (cor vermelha) e cimento de óxido e hidróxido de ferro também puderam ser notados na CL. A porosidade é do tipo intergranular.

LITOFÁCIES Aoa- Arenito fino micáceo, esbranquiçado, com laminação cruzada, composta predominante por grãos de quartzo subarredondados a subangulosos. Nas lâminas petrográficas L-10, L-11 e L-12 (Figuras 61, 62 e 63) foi possível identificar que os grãos de quartzo possuem, em sua maioria, extinção ondulante, e apenas aproximadamente 5% são policristalinos. Foi observado também que os grãos praticamente não se tocam, implicando em um empacotamento frouxo. A matriz da rocha é formada por cimento de óxido e hidróxido de ferro (melhor identificada na CL - Figuras 60 e 61) e argila. As muscovitas e biotitas se apresentam bem preservadas. Na CL, os grãos de quartzo apresentam uma coloração que varia entre azul escuro e marrom, às vezes verde. Já os feldspatos apresentam uma coloração azul mais clara. Os pontos verdes na podem indicar a presença de fosfato ou quartzo metamórfico, já os pontos vermelhos indicam a presença de cimento carbonático. A porosidade é do tipo intergranular.

Associação de Fácies Lacustre Carbonática (AFLC)

Nesta litofácies são observados sedimentos formados principalmente em ambientes lacustres fechados, que não possuem efluentes estáveis, ou seja, em sua maioria são sedimentos formados tipicamente por precipitação química e biogênica. Podemos caracterizar como um paleoambiente onde predominam águas rasas, tranquilas e com alta taxa de evaporação.

LITOFÁCIES Cm- Trata-se de um calcário maciço de cor bege, granulação predominantemente fina (calcilutito). Na lâmina petrográfica L-8 foi possível identificar uma matriz micrítica de coloração bege-escuro com microcristais de dolomita, representada por pontos mais claros (Figura 64). Na catodoluminescência os microcristais de dolomita apresentam uma coloração amarronzada/vermelho escuro. A porosidade observada foi do tipo vulgar e intergranular.

LITOFÁCIES CI- Está representada por um calcário laminado, com lâminas variando de coloração entre tons de bege, marrom claro e marrom escuro. Na lâmina L-7 (Figura 65) foi possível identificar uma matriz micrítica com alternância de lâminas milimétricas claras e escuras, forte presença de microcristais de dolomita e níveis horizontais escuros. Estes níveis podem representar matéria orgânica substituída por pirita e passando para um estágio de oxidação. Na catodoluminescência, estes níveis ficam mais escuros devido ao ferro ser um inibidor da luminescência. Porosidade é do tipo intercristalina e intergranular.

LITOFÁCIES Cp- Está representada por um calcário peloidal, composto por peloides e ostracodes. Nas lâminas L-4 (Figura 66) foi possível identificar uma matriz carbonática (calcita micrítica, massa de coloração marrom e calcita espática, cor branca). Observou-se pirita e cimento de óxido e hidróxido de ferro. Porosidade é do tipo vulgar e intergranular.

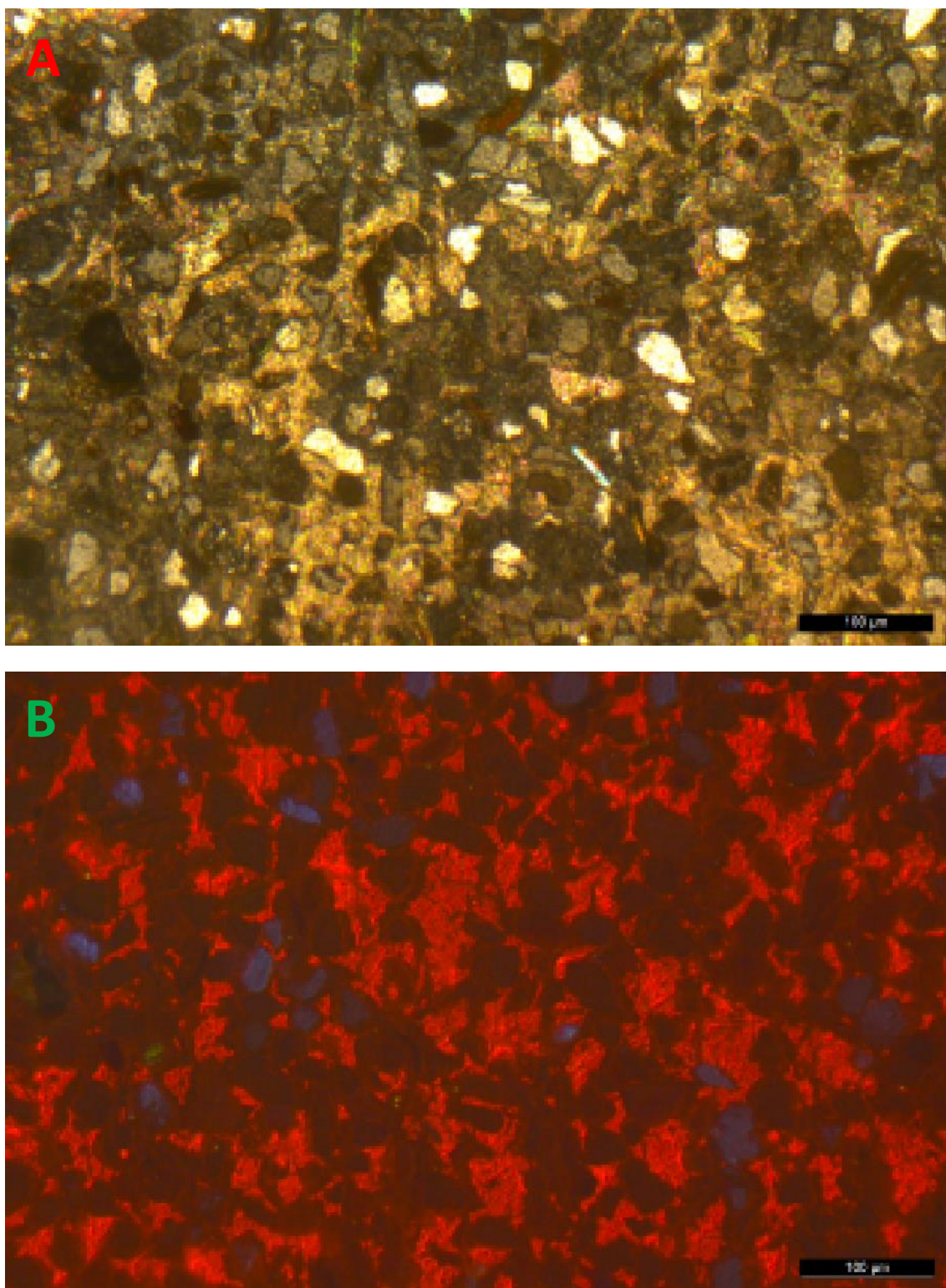
LITOFÁCIES Cs- Trata-se de um calcário com siliciclásticos formado por uma matriz carbonática de coloração bege, com laminação composta por minerais siliciclásticos,

predominando muscovita e biotita. Nas lâminas petrográficas L-2 e L3, além dos minerais já citados, também foram identificados, grãos de quartzo subarredondados a subangulosos, pirita e cimento de óxido e hidróxido de ferro (Figuras 67 e 68). Na catodoluminescência, a matriz carbonática é representada pela massa de coloração avermelhada, enquanto a pirita, pelos pontos escuros. A porosidade observada foi do tipo intergranular, fratura e vulgular.

LITOFÁCIES Rac- Assim como na Serra Negra, Bacia de Jatobá, na Serra do Tonã os Ritmitos Argilo-Carbonáticos são constituídos por argilitos e folhelhos, por vezes calcíferos, de coloração cinza-claro a cinza-escuro, intercalados por calcilutitos beges. Ocorrem predominantemente na base da Formação Crato entre as profundidades de 22 a 39m no poço 2-TN-ST-3A-BA, e entre as profundidades de 18,5 a 29m no poço TN-ST-4-BA.

Figura 59 - Fotomicrografia da lâmina L-1 representando a Litofácies Aac (Arenito Calcífero) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nícteis cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.

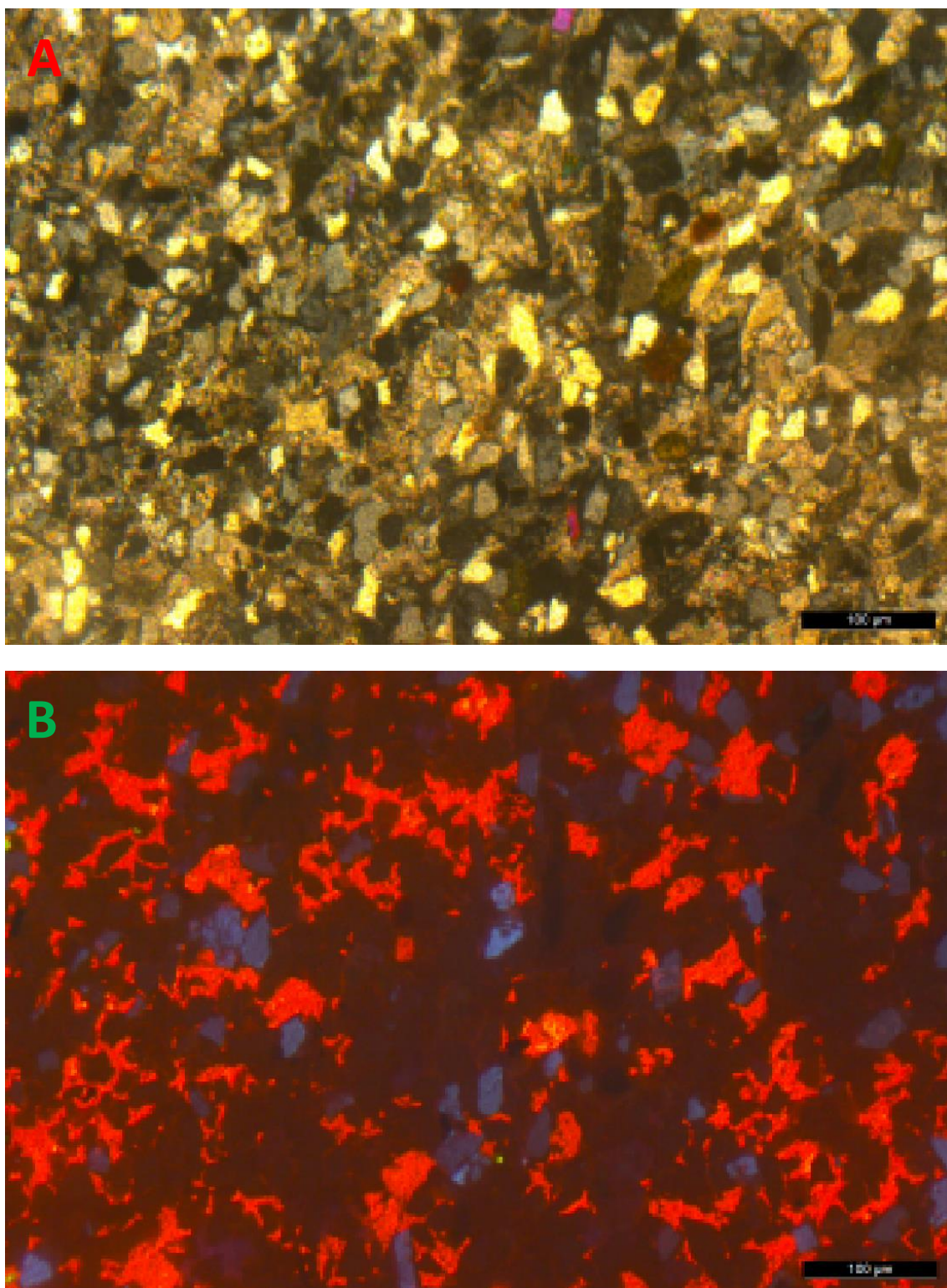
LITOFÁCIES ACC



Fonte: Próprio autor.

Figura 60 - Fotomicrografia da lâmina L-9 representando a Litofácies Aac (Arenito Calcífero) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nicóis cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.

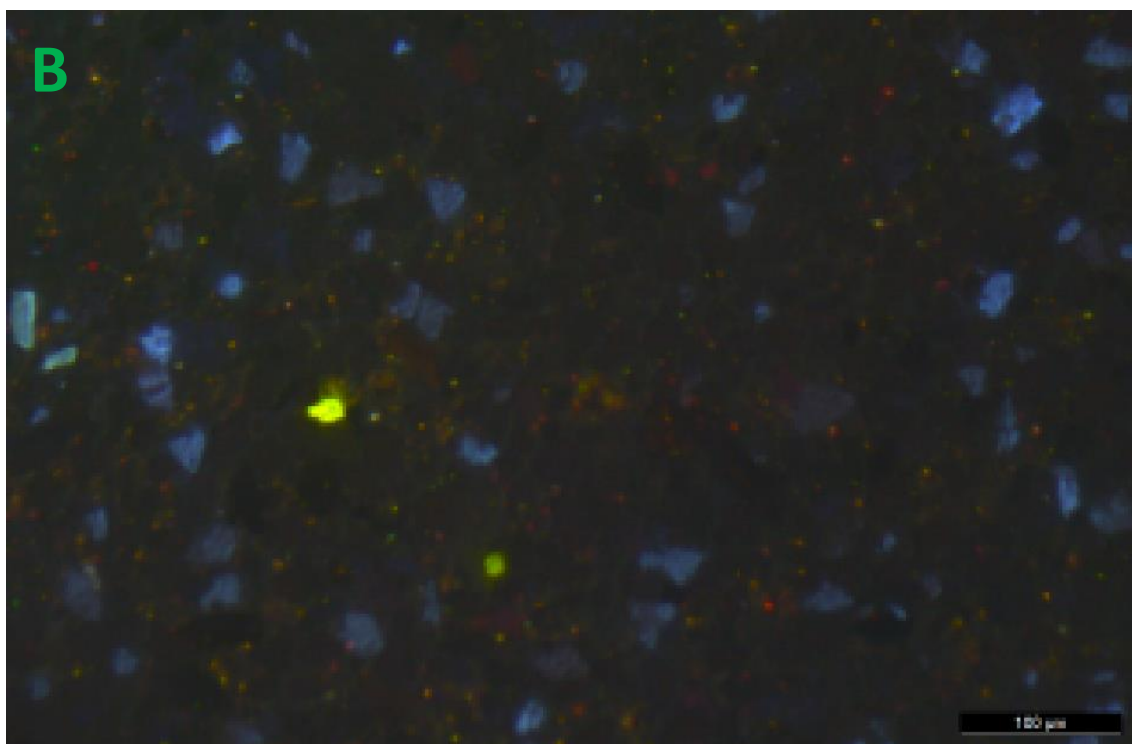
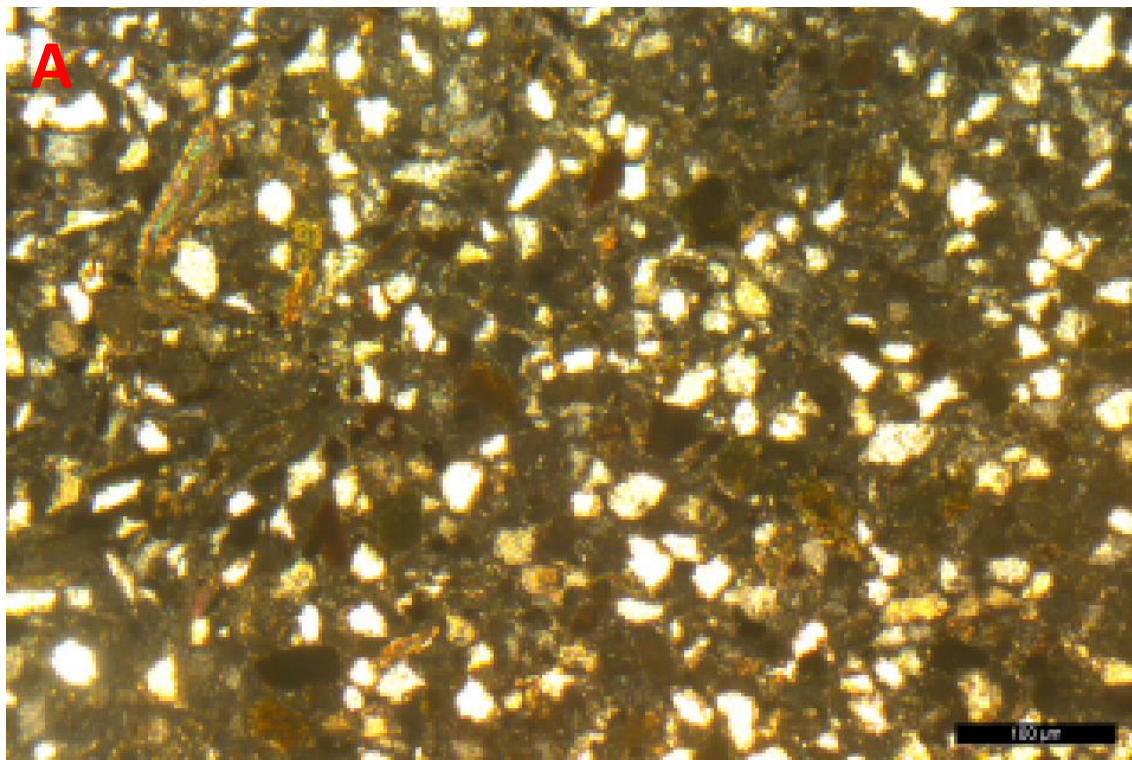
LITOFÁCIES ACC



Fonte: Próprio autor.

Figura 61 - Fotomicrografia lâmina L-10 representando a Litofácies Aoa (Arenito com cimento de óxido e hidróxido de ferro) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nicois cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.

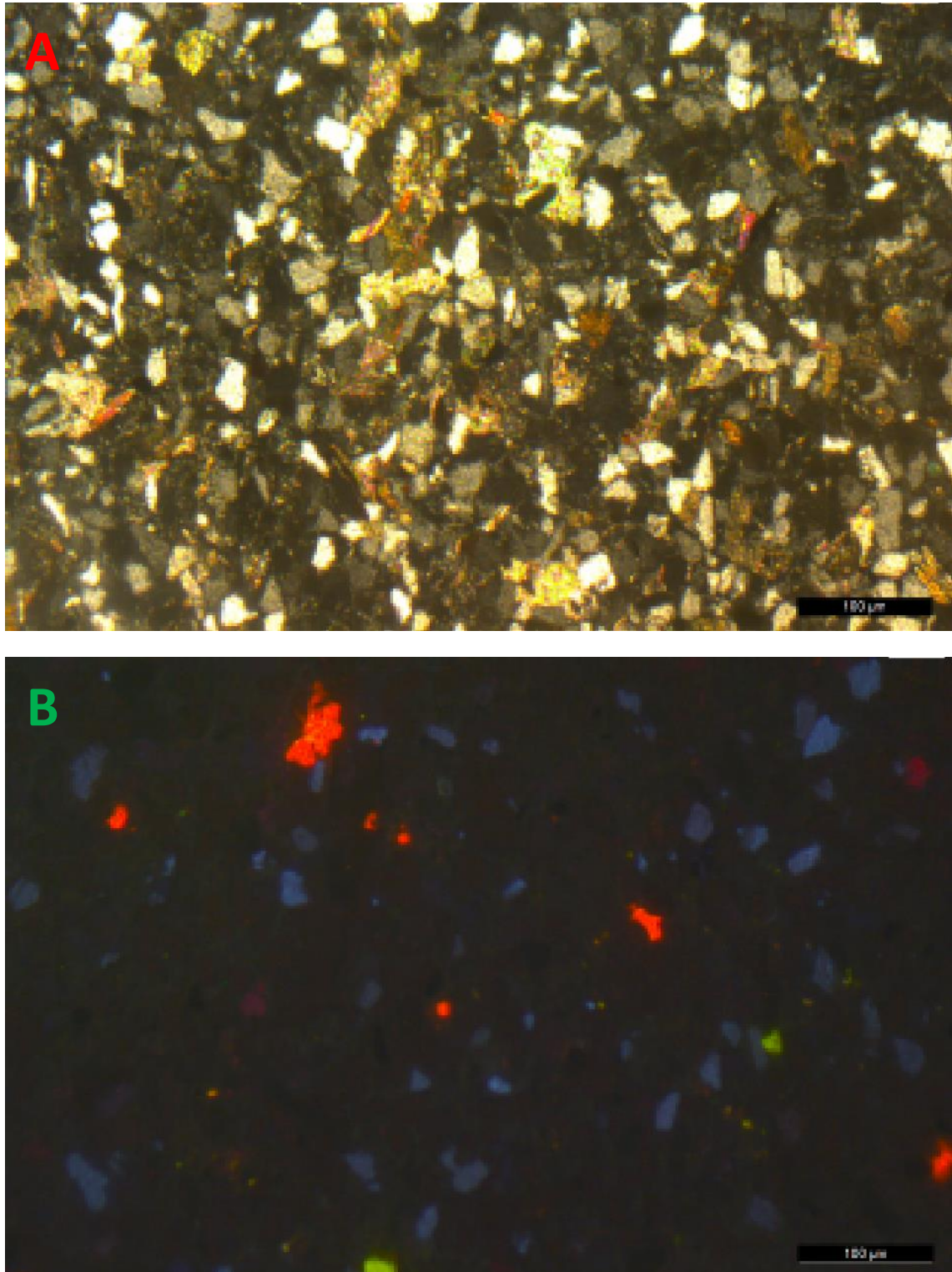
LITOFÁCIES Aoa



Fonte: Próprio autor.

Figura 62 - Fotomicrografia da lâmina L-11 representando a Litofácies Aoa (Arenito com cimento de óxido e hidróxido de ferro). O Cimento carbonático está representado pelos pontos vermelhos, enquanto os verdes representam quartzo metamórfico. – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nícois cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.

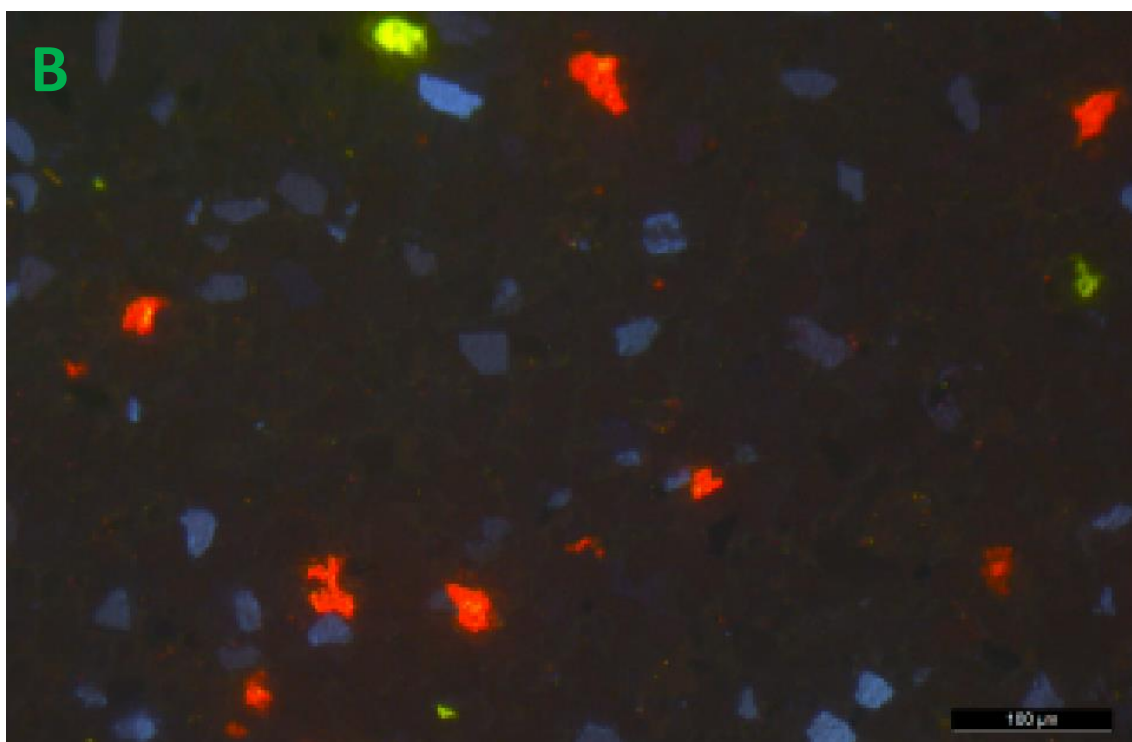
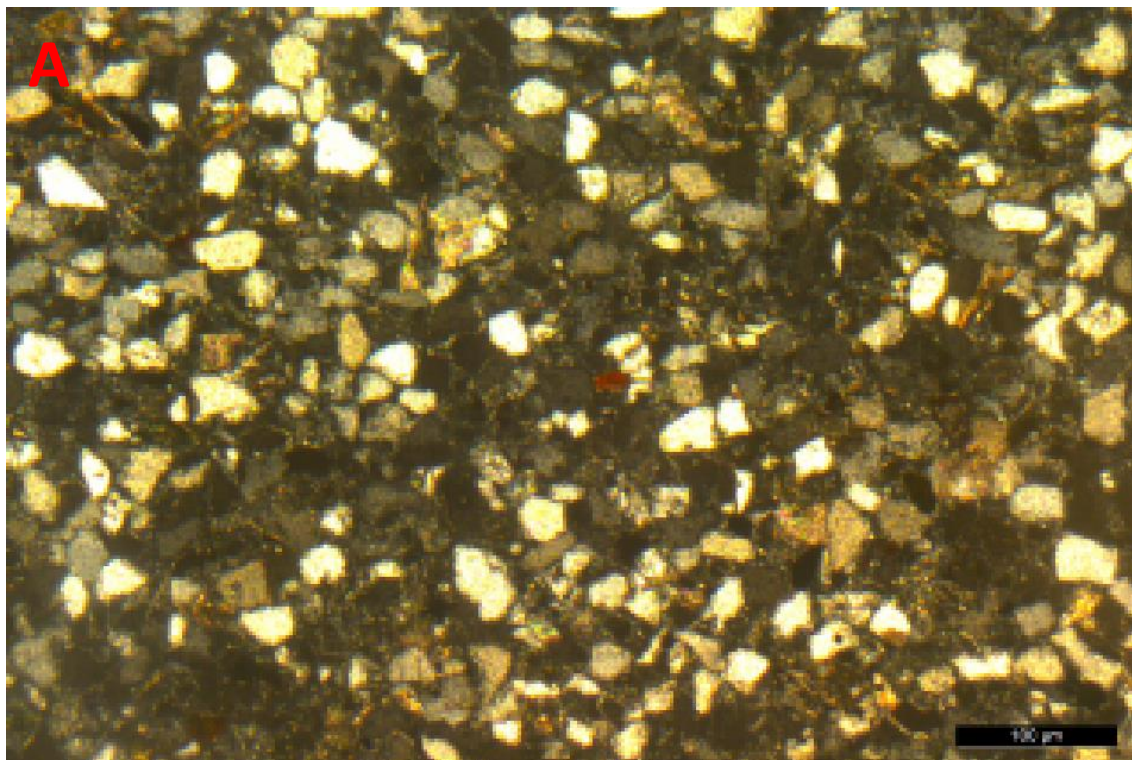
LITOFÁCIES Aoa



Fonte: Próprio autor.

Figura 63 - Fotomicrografia da lâmina L-12 representando a Litofácies Aoa (Arenito com cimento de óxido e hidróxido de ferro) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. Pontos azuis brilhantes representam feldspatos, enquanto os vermelhos, cimento carbonático. A- Nicóis cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.

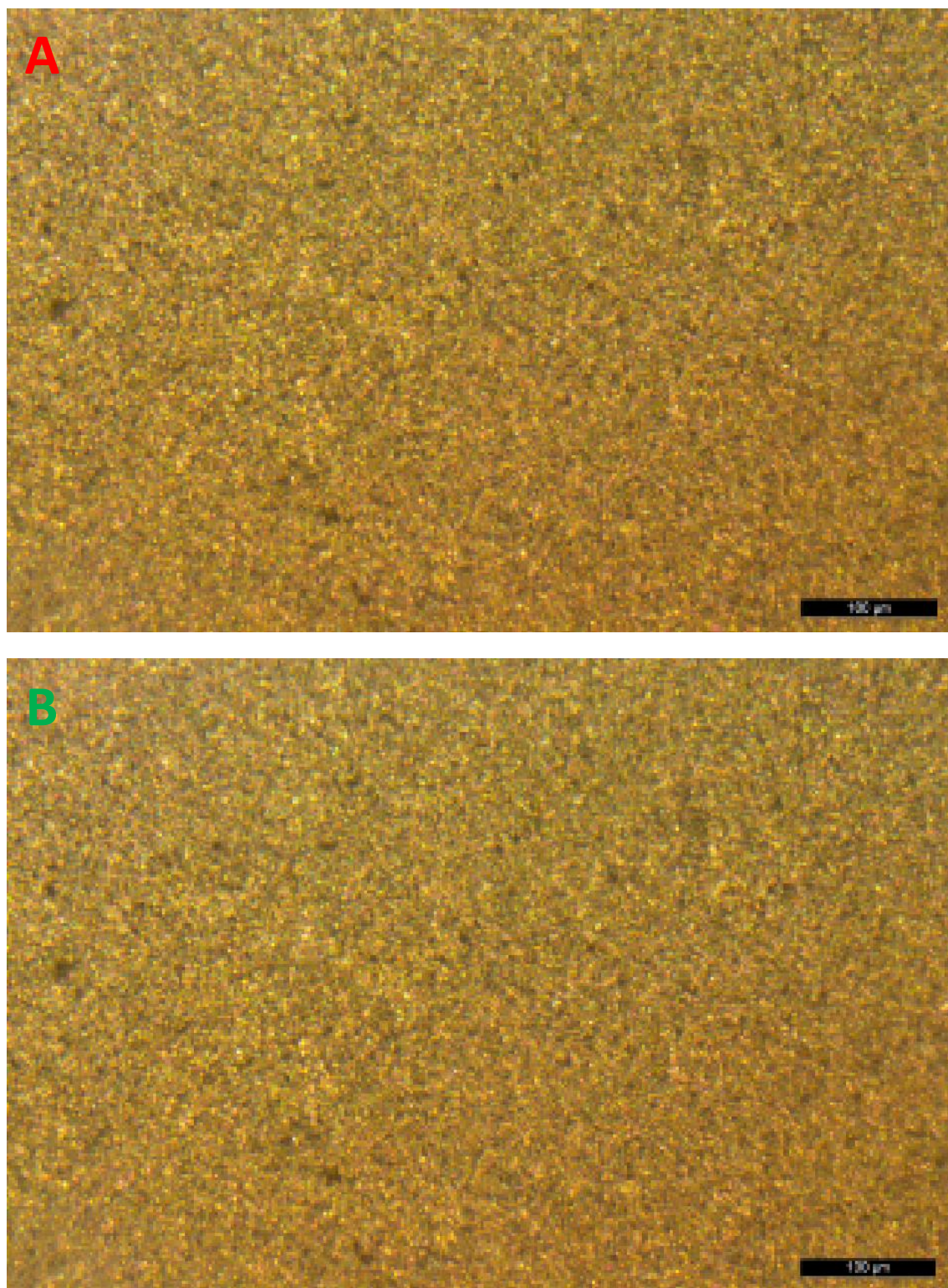
LITOFÁCIES Aoa



Fonte: Próprio autor.

Figura 64 - Fotomicrografia da lâmina L-8 representando a Litofácies Cm (Calcário maciço) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nicois paralelos e B- Nicois cruzados. Escala = 100µm.

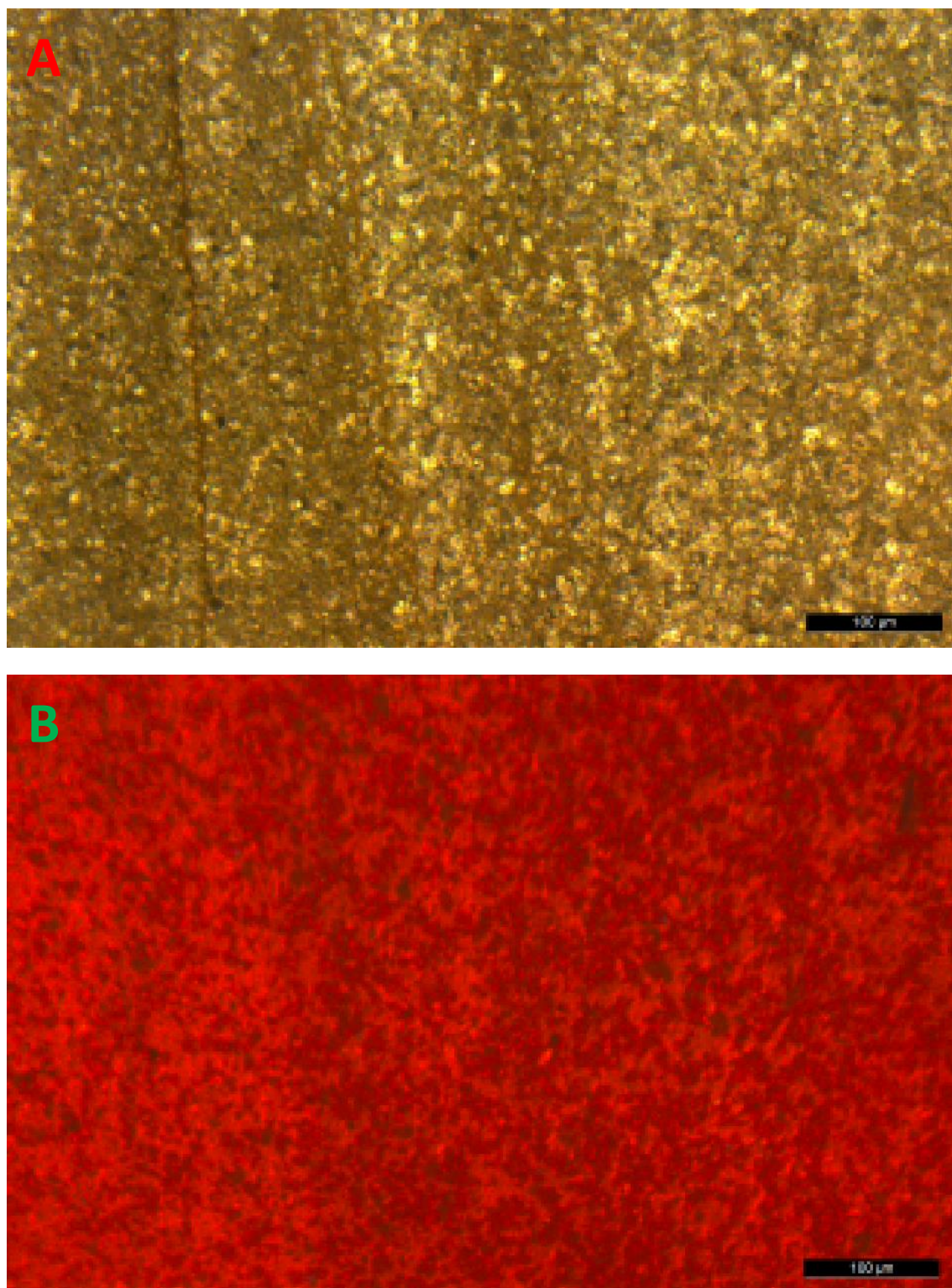
LITOFÁCIES Cm



Fonte: Próprio autor.

Figura 65 - Fotomicrografia da lâmina L-7 representando a Litofácies Cl (Calcário laminado) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nicóis cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.

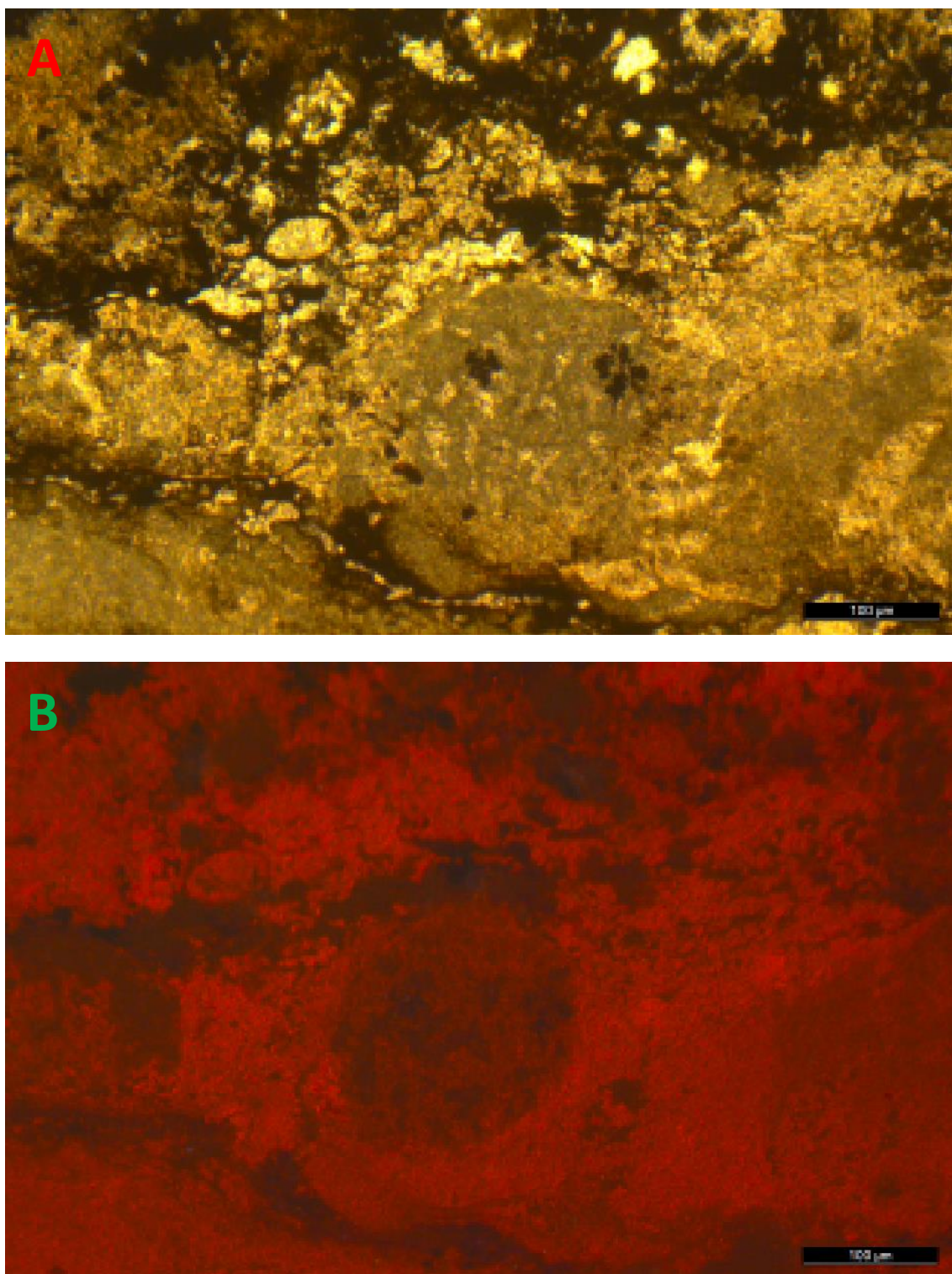
LITOFÁCIES Cl



Fonte: Próprio autor.

Figura 66 - Fotomicrografia da lâmina L-4 representando a Litofácies Cp (Calcário peloidal) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nicóis paralelos e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.

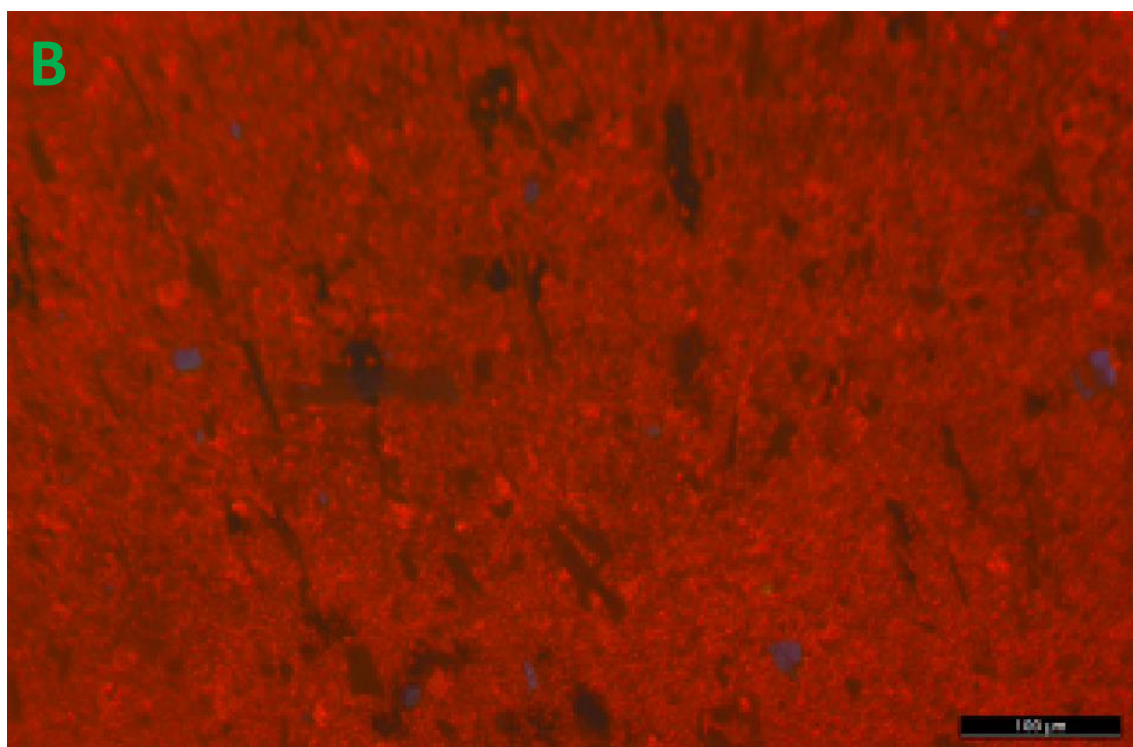
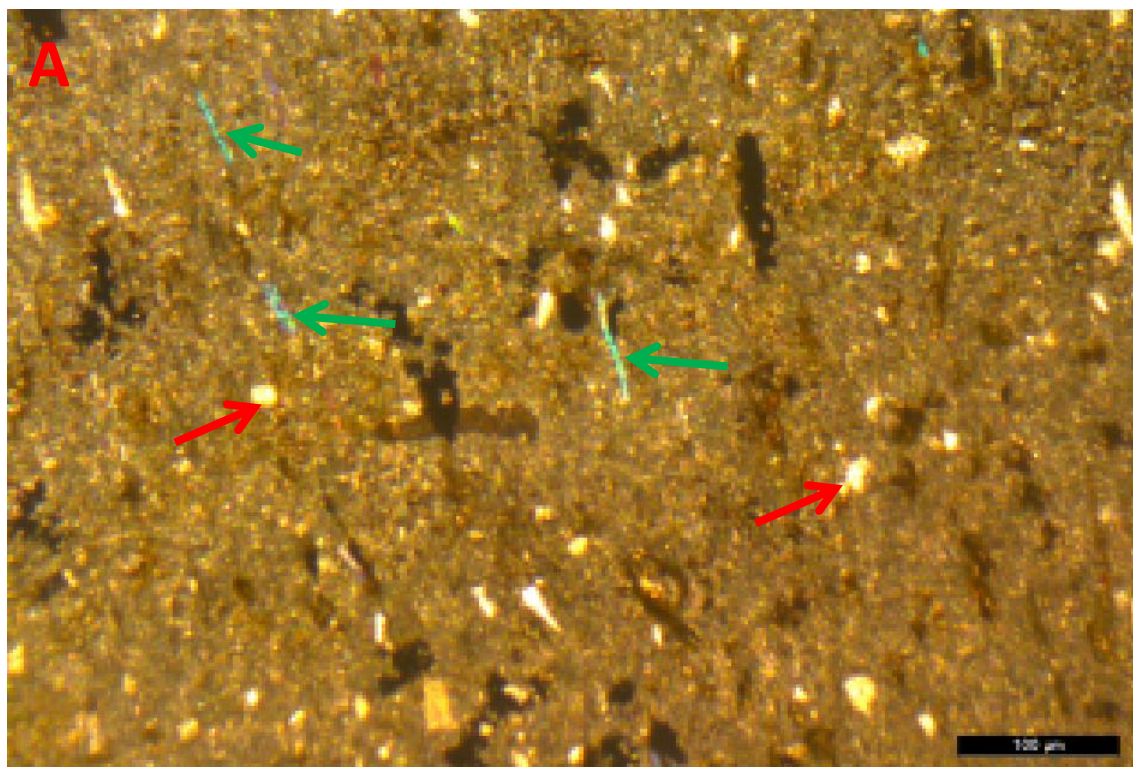
LITOFÁCIES Cp



Fonte: Próprio autor.

Figura 67 - Fotomicrografia da lâmina L-2 representando a Litofácies Cs (Calcário com siliciclásticos). Presença de muscovita (seta verde) e quartzo (seta vermelha) – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nícois cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.

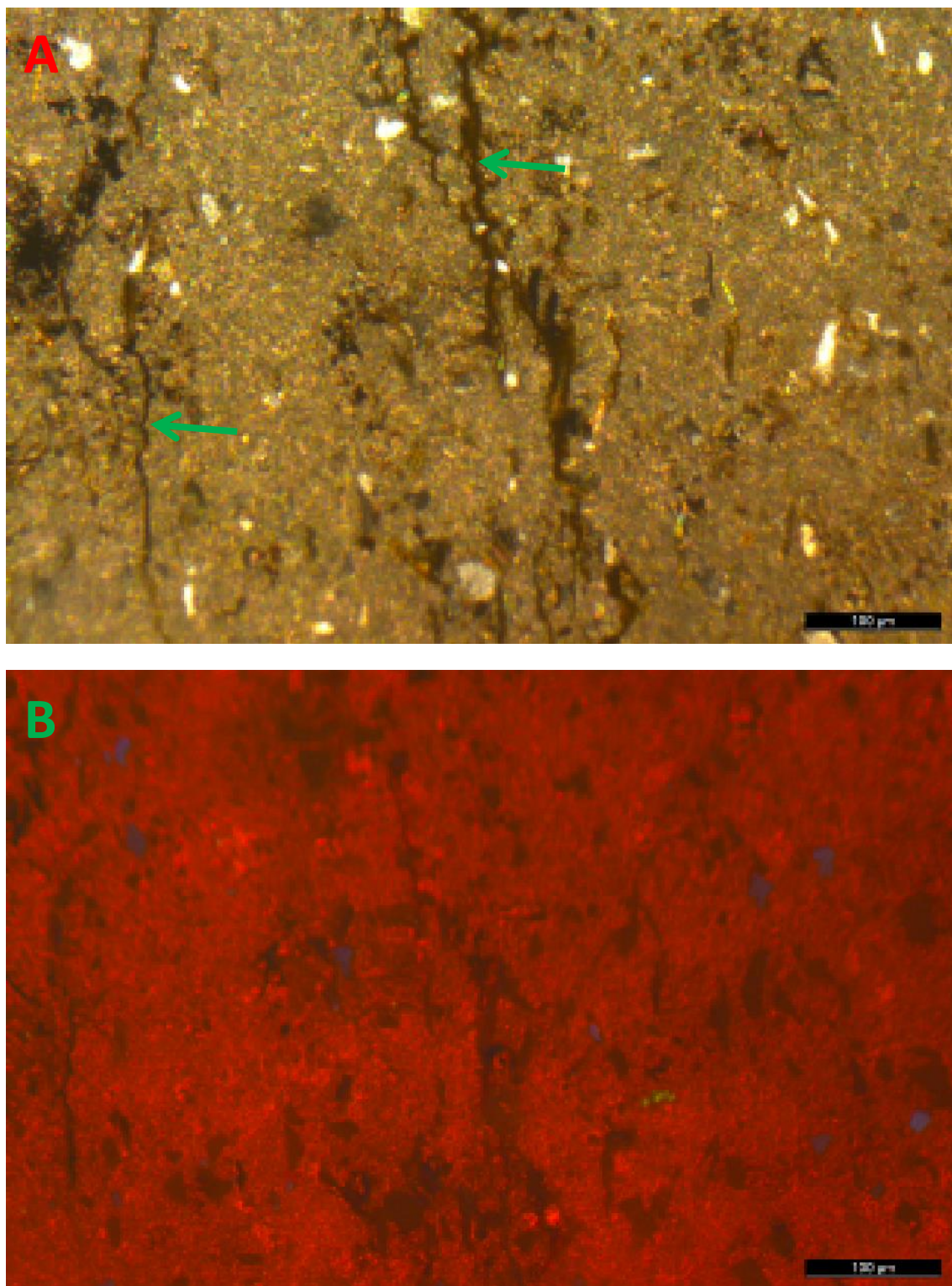
LITOFÁCIES Cs



Fonte: Próprio autor.

Figura 68 - Fotomicrografia da lâmina L-3 representando a Litofácies Cs (Calcário com siliciclásticos). As setas verdes representam microfraturas nos calcários – Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte. A- Nícois cruzados e B- Catodoluminescência. Escala = 100µm.

LITOFÁCIES Cs



Fonte: Próprio autor.

6 INTERPRETAÇÃO DE DADOS GRAVIMÉTRICOS E AEROMAGNETOMÉTRICOS DA BACIA DE JATOBÁ E SUB-BACIA DE TUCANO NORTE

Os dados gravimétricos e aeromagnetométricos foram processados e interpretados com o intuito de definir o arcabouço tridimensional de cada região trabalhada. Dentre os objetivos estão: correlacionar estruturas, localizar falhas e por fim, determinar aproximadamente a espessura dos sedimentos nas áreas de estudo. Os resultados serviram para complementar o conhecimento na busca de novas correlações nas bacias em questão.

O método gravimétrico tem aplicações importantes nos estudos das bacias sedimentares para a exploração de hidrocarbonetos, prospecção de jazidas de minerais metálicos, mapeamento geológico e no entendimento da estrutura da crosta de grandes segmentos litosféricos. A importância da gravimetria na prospecção de petróleo está associada à facilidade na identificação de falhas verticais e de espessamentos sedimentares, sendo um processo bastante rotineiro e de fácil aplicação. Portanto, o método é bastante utilizado na identificação de depressões tectônicas e na modelagem de bacias sedimentares. Contudo, a gravimetria, como qualquer método geofísico, também possui as suas ambiguidades, as quais podem ser reduzidas através de outros métodos geofísicos e mapeamentos geológicos associados.

Os princípios básicos do método gravimétrico estão baseados na lei da Gravitação Universal de Newton. Esta lei enuncia que a força **F** (medida em newtons) entre duas partículas de massas **m₁** e **m₂** (medidas em quilograma) é diretamente proporcional ao produto dessas massas e inversamente proporcional à distância **r** (medida em metros) entre seus centros de massa.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Onde $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm/Kg}$ é a constante de gravitação universal.

DADOS GRAVIMÉTRICOS

Como já foi descrito no capítulo de materiais e métodos desta tese, os dados gravimétricos foram levantados pela PETROBRAS e distribuídos para uso público pelo Banco Nacional de Dados Gravimétricos-BNDG/ANP. Os dados de anomalia Bouguer simples foram interpolados em uma malha de 0,5 x 0,5 km pelo método de mínima curvatura com o emprego do *software* Oasis Montaj da Geosoft® (Figuras 69 e 70).

DADOS AEROMAGNETOMÉTRICOS

A magnetometria, assim como a gravimetria, é um dos métodos potenciais mais antigos da geofísica, onde geralmente se mede o campo magnético total. Por ser um método de aquisição de dados relativamente simples e rápido, pois não requer extensas correções, a indústria de exploração de hidrocarbonetos fez e ainda faz intenso emprego dessa metodologia, permitindo a identificação de estruturas, como domos salinos e falhas, que podem contribuir para acumulação de hidrocarbonetos em rochas reservatório. Outras estruturas como zonas de cisalhamento e zonas de falhas são facilmente identificadas pela magnetometria por apresentarem fortes alinhamentos magnéticos.

A força do campo magnético é dada pela seguinte fórmula:

$$F = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{\mu \cdot r^2} r_1$$

onde **F** é a força em dinas no polo ρ_2 , r_1 é um vetor unitário dirigido de ρ_1 para ρ_2 , **r** é a distância entre os polos em cm e μ é a permeabilidade magnética do meio.

Por causa da baixa resolução dos dados aeromagnetométricos na área estudo da Bacia de Tucano Norte, foram trabalhados apenas os dados aeromagnetométricos da Bacia de Jatobá. Esse material foi cedido gentilmente pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). O levantamento dos perfis aeromagnetométricos foi realizado com linhas de voo e controle espaçadas de 500m e 5.000m, orientadas nas direções N-S e E-W, respectivamente, com altura de voo fixada em 100 metros de altura em relação ao terreno. As medidas foram realizadas a cada 0,1 segundo, o que devido à velocidade média da aeronave, equivale a

aproximadamente 7,7 m por leitura. Os executores do levantamento realizaram parte do trabalho de processamento, que envolve a correção da variação diurna e a remoção do IGRF (*International Geomagnetic Referencial Field*), o micronivelamento (LASA S.A.; PROSPECTORS, 2010).

Os dados de Campo Magnético Anômalo (CMA) foram interpolados em uma malha de 125 x 125 m pelo método bigrid no *software* Oasis Montaj[®]. A partir do CMA foram gerados a 1ª derivada vertical e a redução ao polo (Figura 71) no módulo Magmap com o emprego de filtros aplicados nos dados no domínio do número de onda por meio da Transformada de Fourier.

RESULTADOS

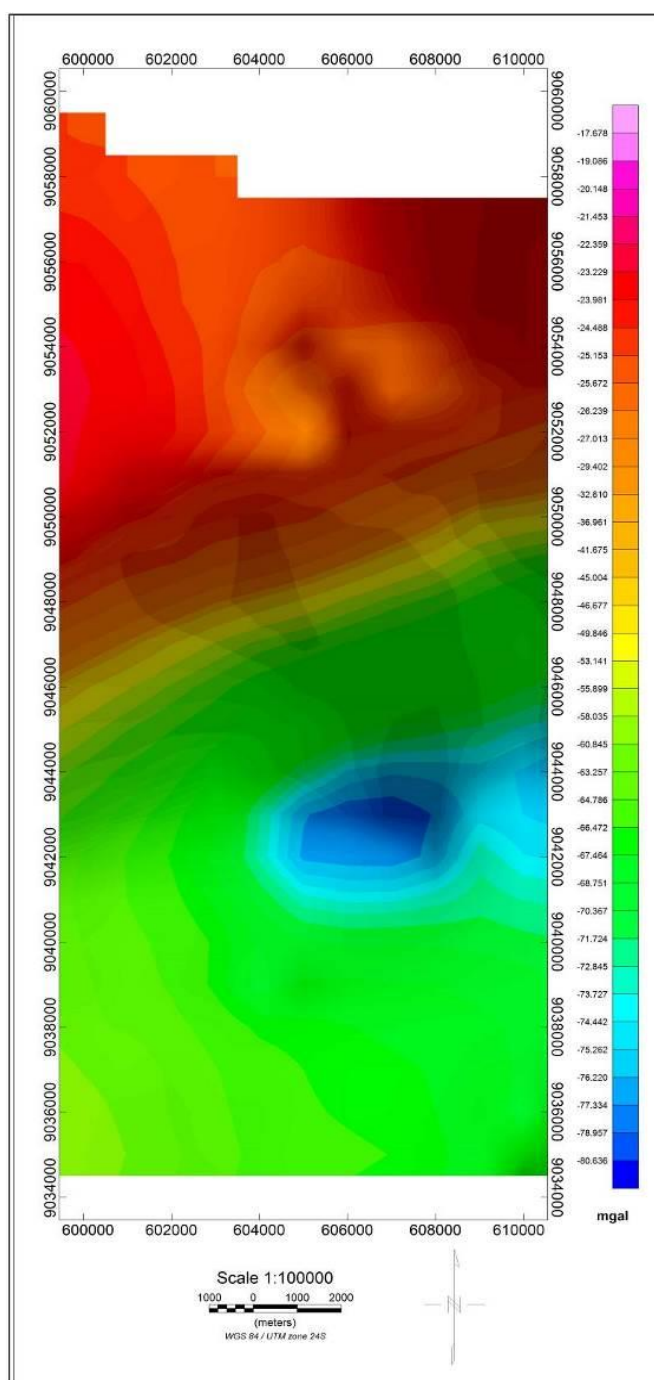
Na Bacia de Jatobá, os valores da anomalia Bouguer apresentaram uma variação máxima de 67,8 mGal (entre -16,0 e -83,8 mGal). Enquanto na Sub-bacia de Tucano Norte, a variação máxima da anomalia Bouguer é de 85,9 mgal (entre -32,3 e -118,2 mgal). Os valores mais positivos nos mapas estão concentrados na área de afloramento de rochas do embasamento cristalino, nas bordas das bacias e fora dos seus limites (Figuras 69 e 70). Os valores mais negativos estão concentrados dentro dos limites das bacias aonde dominam as rochas sedimentares e os principais depocentros. O depocentro da Bacia de Jatobá é formado por uma anomalia Bouguer negativa, de formato irregular a subarredondado, com amplitude máxima de 12,8 mGal (entre -71,0 e -83,8 mGal). Na Sub-bacia de Tucano Norte observou-se o depocentro formado por um eixo de anomalia Bouguer negativa, alongada na direção N-S, com amplitude máxima de 6,2 mgal (entre -112 a -118,2 mgal).

Pôde-se observar que a anomalia Bouguer negativa na Bacia de Jatobá apresentou um gradiente muito intenso para noroeste, enquanto na Sub-bacia de Tucano Norte esse gradiente foi para oeste. Esse tipo de conformação anômala em bacias sedimentares sugere que os sedimentos estão depositados em uma estrutura tectônica do tipo *semigraben*, com uma borda falhada (para noroeste na Bacia de Jatobá e para oeste na Sub-bacia de Tucano Norte) e uma borda flexural (para sudeste da Bacia de Jatobá e para leste da Sub-bacia de Tucano Norte).

O entendimento do arcabouço tectônico da Bacia de Jatobá pôde ser reforçado através dos dados magnetométricos (Figura 71). Esses dados forneceram informações sobre um conjunto de alinhamentos na direção NE-SW, que estão associados à Zona de Cisalhamento de Pernambuco (ZCPE). No mapa de “redução ao polo” (Figura 71C) ficou evidente uma

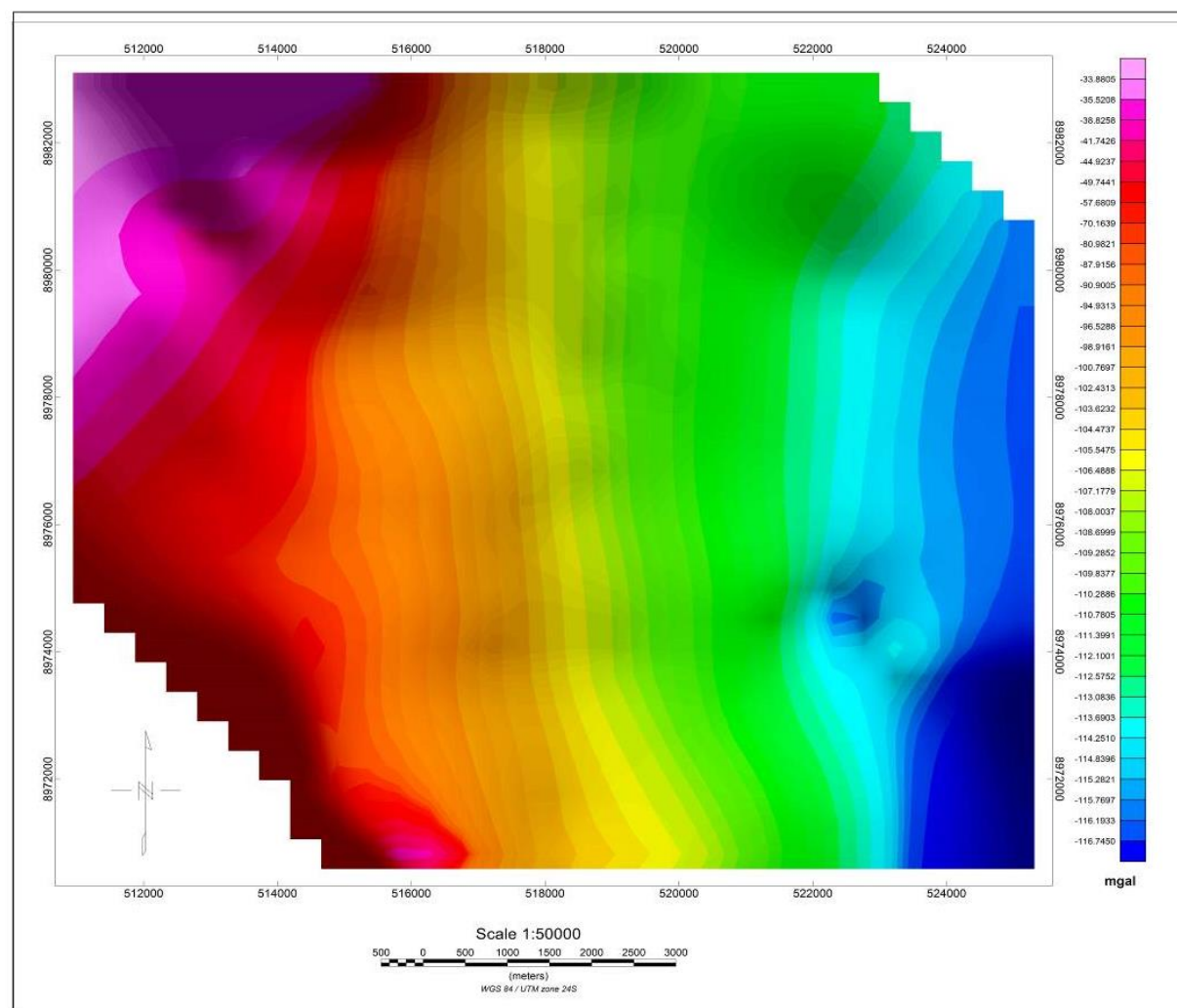
anomalia negativa de grande porte e formato arredondado, logo abaixo dos alinhamentos da ZCPE. Esta anomalia provavelmente está relacionada a um conjunto de depocentros da Bacia de Jatobá, que foi produzida pela atenuação dos dados magnetométricos, como resultado do espessamento do pacote sedimentar. Esses depocentros também puderam ser observados nos dados de gravimetria.

Figura 69 - Anomalia gravimétrica Bouguer da área de estudo da Bacia de Jatobá. Os dados foram interpolados em uma malha de 0,5 x 0,5 km pelo método de mínima curvatura.



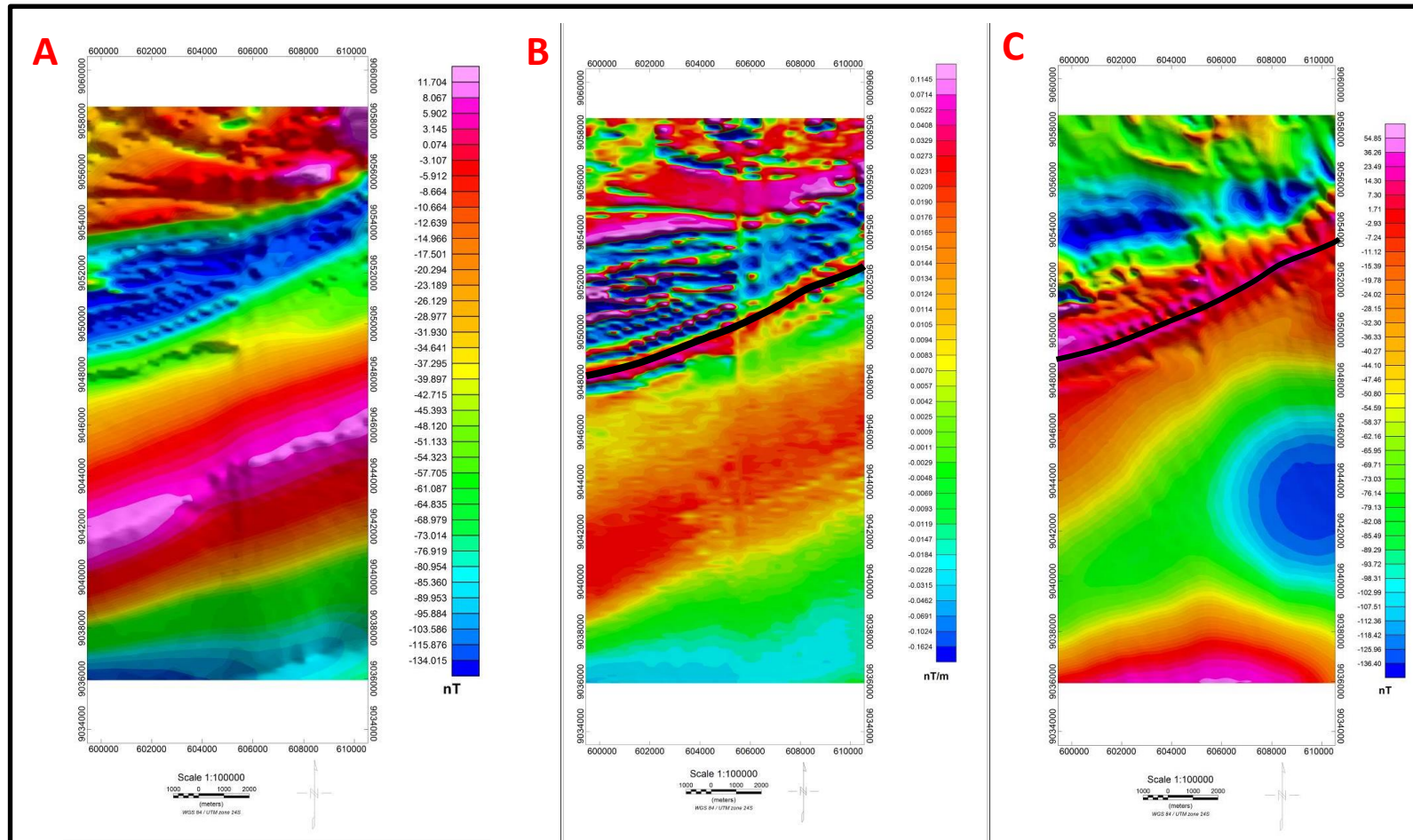
Fonte: Próprio autor.

Figura 70 - Anomalia gravimétrica Bouguer da área de estudo da Sub-bacia de Tucano Norte. Os dados foram interpolados em uma malha de 0,5 x 0,5km pelo método de mínima curvatura.



Fonte: Próprio autor.

Figura 71 - A – Mapa de Campo Magnético Anômalo (CMA) da área de estudo da Bacia de Jatobá; B- Mapa de primeira derivada vertical do CMA da área de estudo da Bacia de Jatobá; C- Mapa de redução ao polo do CMA da área de estudo da Bacia de Jatobá. A linha preta contínua representa parte da Zona de Cisalhamento Pernambuco



Fonte: Próprio autor.

Separação Regional-Residual dos Dados Gravimétricos

Um mapa de anomalia Bouguer é composto tanto por fontes rasas que refletem variações de densidades em pequenas áreas e que são de fundamental interesse à prospecção geológica, quanto por fontes profundas relacionadas com anomalias causadas por variações de densidades em áreas regionais.

Quando tratamos do estudo de bacias sedimentares através de dados gravimétricos, usualmente se remove as componentes referentes às fontes regionais, deixando apenas como resíduo as anomalias mais rasas, que nesse caso seriam as anomalias produzidas pelos sedimentos.

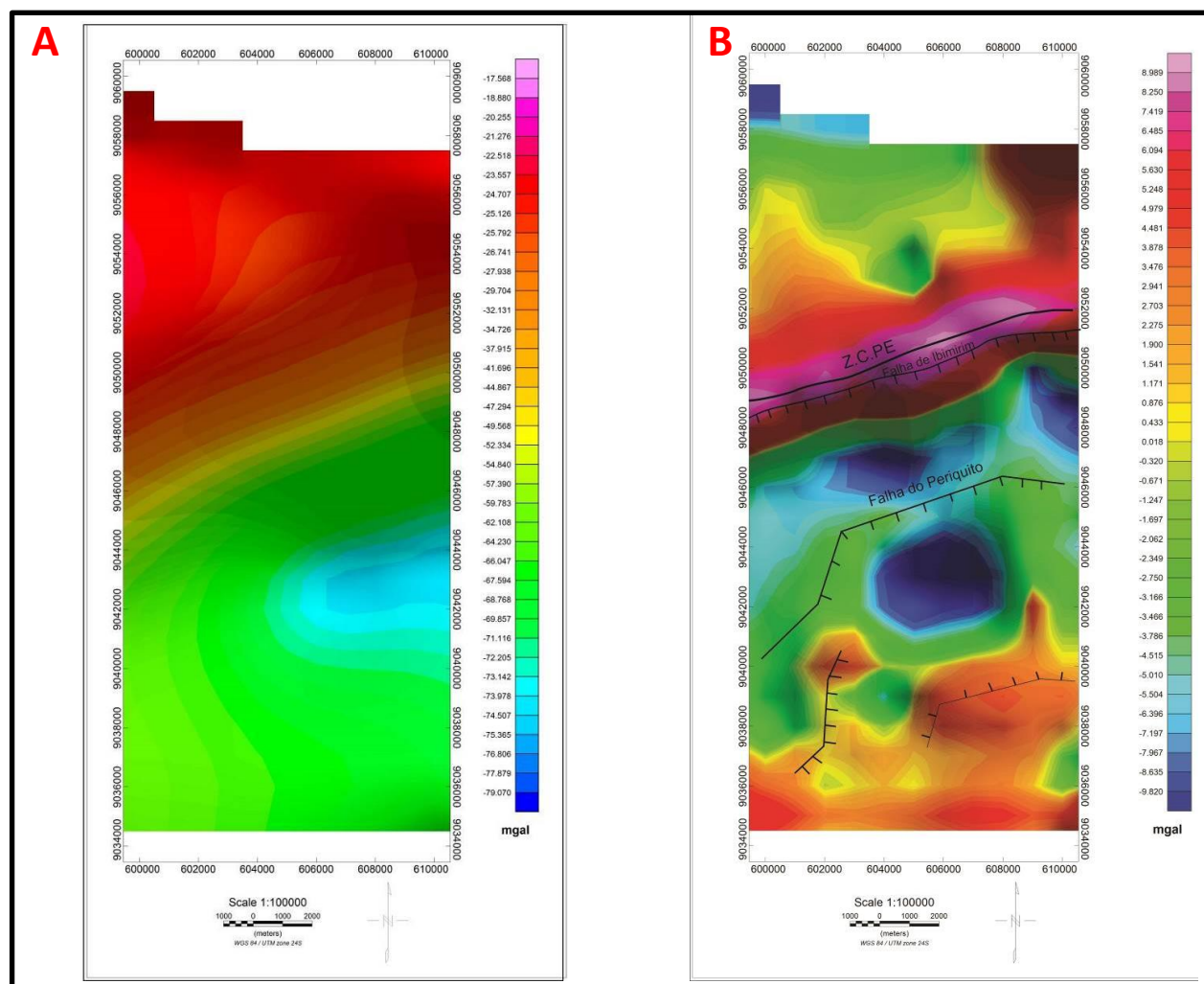
Para a separação regional-residual dos dados gravimétricos foi empregada uma técnica espectral em que um filtro passa-banda gaussiano aplicado no domínio de número de onda separa os dados originais nas componentes de onda longos (fontes profundas) e curtas (fontes rasas). Os resultados estão apresentados nas Figuras 72 e 73 e foram empregados para a interpretação das falhas que definem o arcabouço tectônico das bacias. Foi possível identificar nos mapas “Bouguer Residual” estruturas como falhas normais (incluindo falhas de borda de bacia) e zonas de cisalhamento, em ambas as bacias (Figuras 72B e 73B).

Entretanto, a componente residual representativa da pilha sedimentar separada por esse método espectral não preserva as amplitudes das anomalias, prejudicando a execução de modelagens quantitativas. Por causa disto, foi adotada a separação da componente residual pela remoção de uma superfície de tendência de 1ª ordem. Essa componente foi empregada na modelagem dos dados (Figuras 74 e 75).

Contraste de Densidade Entre os Sedimentos e o Embasamento Cristalino

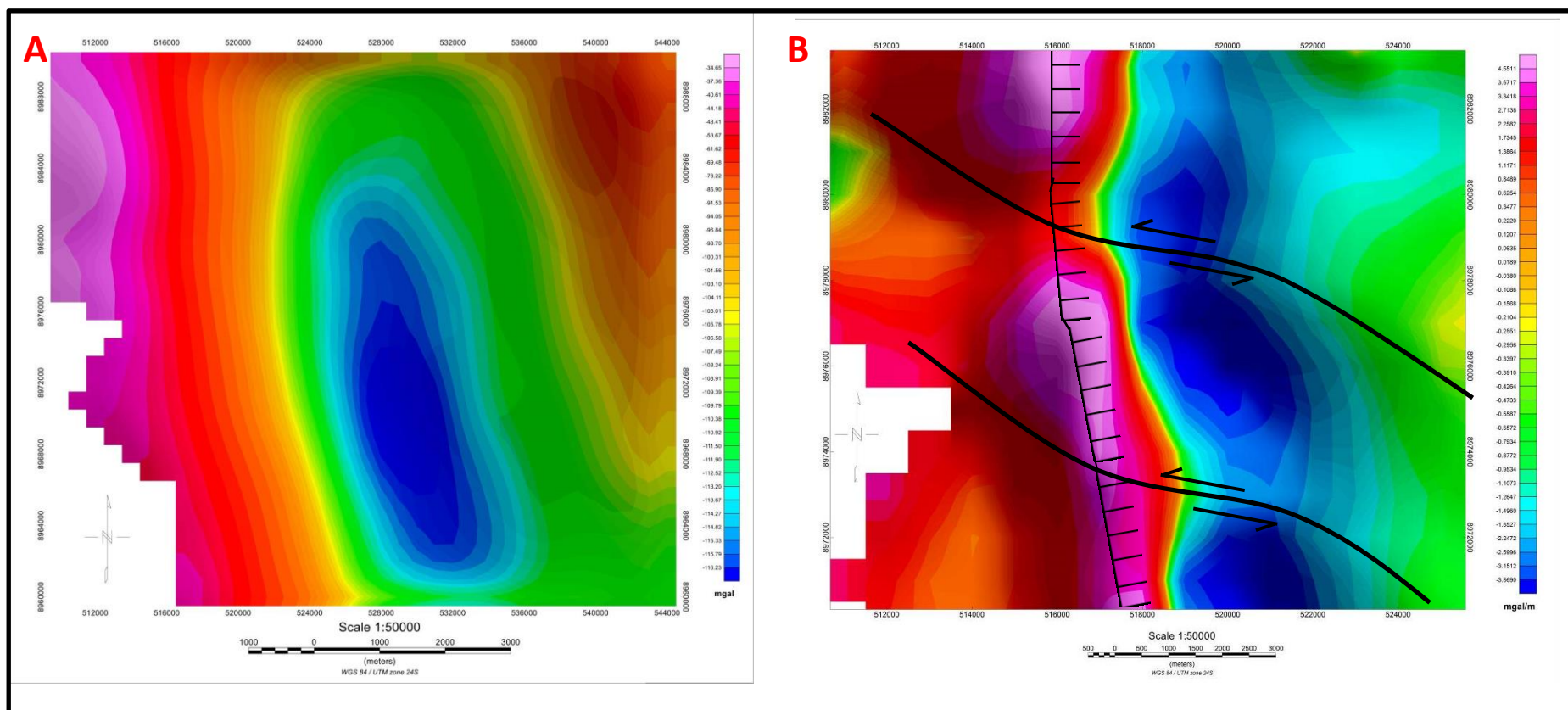
Foram utilizados os valores médios de densidade estabelecidos por Telford, Geldart e Sheriff (1990) de $2,35\text{g/cm}^3$ para o pacote de rochas sedimentares e de $2,8\text{g/cm}^3$ para as rochas do embasamento cristalino. Após estabelecer esses valores de densidade para cada conjunto, foi obtido um contraste de densidade de $0,45\text{ g/cm}^3$ entre rochas cristalinas e sedimentares. Através dos resultados obtidos, foi considerado que a densidade escolhida representa uma média adequada para os diversos tipos de rochas que ocorrem no entorno da bacia.

Figura 72 - A- Mapa de anomalia Bouguer Regional da área de estudo da Bacia de Jatobá; B- Mapa de anomalia Bouguer Residual da área de estudo da Bacia de Jatobá. A linha contínua representa uma zona de cisalhamento e as linhas com pequenos traços transversais representam falhas e o sentido do seu mergulho.



Fonte: Próprio autor.

Figura 73 - A- Mapa Bouguer Regional da área de estudo da Sub-bacia de Tucano Norte; B- Mapa Bouguer Residual da área de estudo da Sub-bacia de Tucano Norte. As linhas contínuas representam zonas de cisalhamento e as linhas com pequenos traços transversais representam falhas e o sentido do seu mergulho.



Fonte: Próprio autor.

Modelagens Gravimétricas 2D

Uma das etapas da interpretação de dados gravimétricos foi a transformação da informação geofísica em modelos quantitativos que auxiliam a interpretação geológica. Assim, foram realizados 21 perfis na Bacia de Jatobá e 25 perfis na Sub-bacia de Tucano Norte, transversais ao comprimento maior da anomalia negativa Bouguer (Figura 74 e 75).

Os dados de anomalia Bouguer foram modelados pelo método direto que consiste no ajuste ao perfil de dados observados em um perfil calculado a partir de um modelo de densidades (Figura 76). O cálculo da resposta gravimétrica do modelo utilizando o *software* GM-SYS é baseado nos algoritmos de Talwani, Worzel e Landisman (1959) e Talwani e Heirtzler (1964). Esse programa vem integrado ao *software* Oasis Montaj[®].

As etapas seguidas durante o processo de modelagem foram as seguintes:

- 1- Construção de modelos bidimensionais da Bacia de Jatobá e Sub-bacia de Tucano Norte, considerando a superfície de tendência da anomalia Bouguer nas duas bacias;
- 2- Calcular os efeitos das anomalias;
- 3- Comparar os efeitos calculados com os dados observados;
- 4- Ajustar o perfil gravimétrico calculado ao perfil de dados observados.

Durante esses procedimentos citados, outras informações geológicas e geofísicas foram consideradas como: perfil sísmico, poços estratigráficos, além de outros trabalhos já realizados nas bacias.

Modelo Tridimensional

As modelagens descritas no item anterior forneceram apenas uma visão bidimensional de várias seções das bacias (Figura 77). Para obter uma visão tridimensional do conjunto de 21 e 25 seções paralelas entre si, modeladas na Bacia de Jatobá e Sub-bacia de Tucano Norte, respectivamente, os perfis foram agrupados em um só banco de dados para cada bacia. Após essa etapa, os valores de profundidade foram interpolados pelo método de *Tinning*, em uma malha de 0,5 x 0,5 km. Os resultados desses procedimentos puderam ser visualizados nos mapas de profundidade (Figuras 78 e 79) e também nos modelos de densidade (Figuras 80 e 81), em quatro ângulos diferentes de perspectiva em 3D.

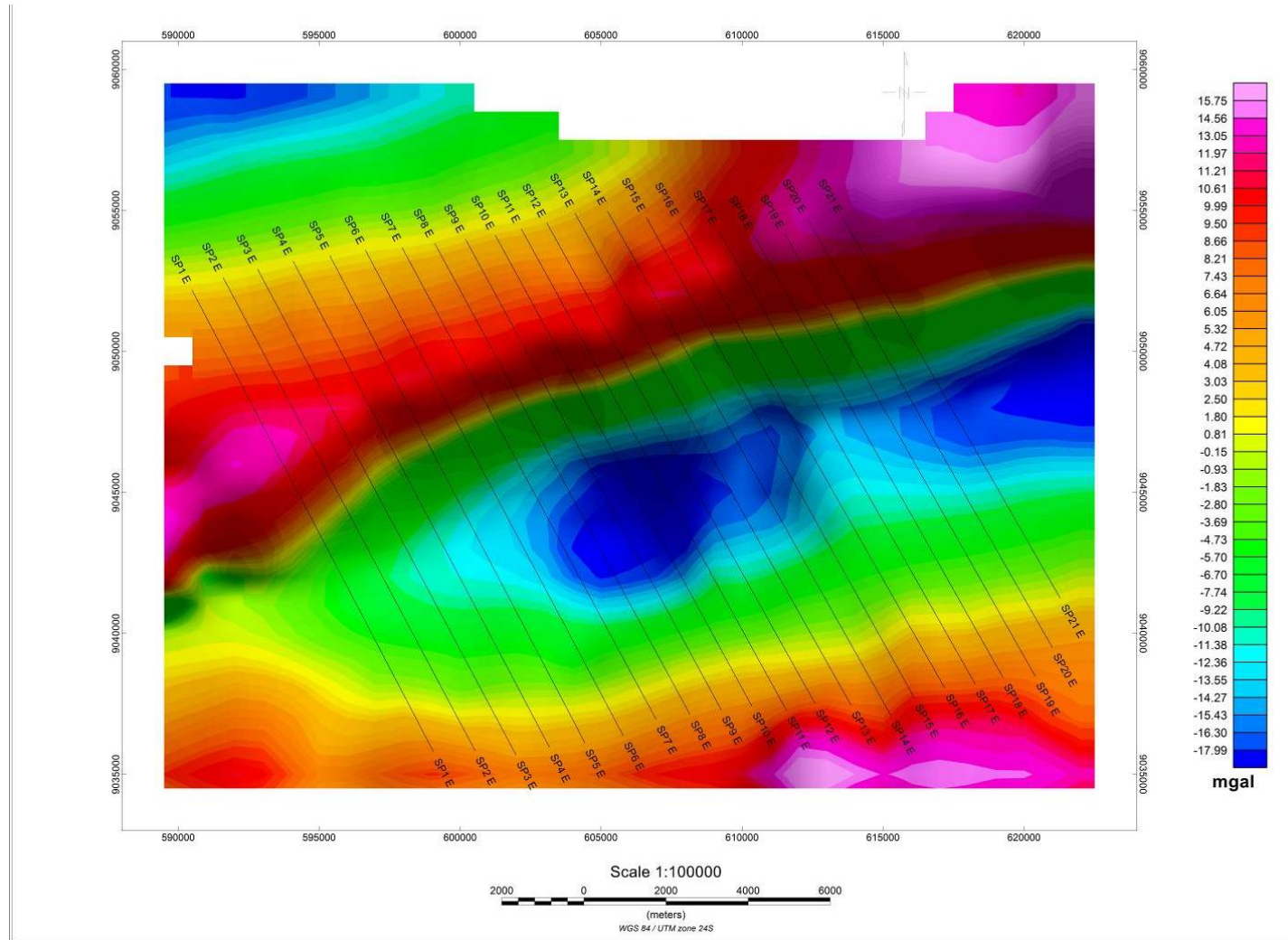
Os modelos tridimensionais gerados demonstraram que as áreas de estudos, em ambas as bacias, possuem: formatos semelhantes aos de *semigraben*, com uma borda principal falhada; depocentros profundos, chegando a até aproximadamente 2900m e 5100m, para as Bacias de Jatobá e Sub-bacia de Tucano Norte, respectivamente. Porém, as bacias divergem na orientação principal de suas estruturas, N-S para Tucano Norte e NE-SW para Jatobá.

Observou-se nas regiões onde estão inseridas as serras Negra (Bacia de Jatobá) e do Tonã (Sub-bacia de Tucano Norte), presença de *horsts* e *semigrabens* dentro das bacias (Figuras 78 e 79). Esse fator levantou a hipótese das serras terem sido formadas durante uma possível reativação do embasamento cristalino, resultando no soerguimento parcial desses blocos, já que os dados sísmicos e de afloramentos da região indicam que as falhas são do tipo normais em dominó (Figura 82) dentro da Bacia de Jatobá, como foi descrito por Lima et al. (2015). As Figuras 83 e 84 representam os perfis das áreas de borda das bacias, nas proximidades da Serra Negra e Serra do Tonã, respectivamente, construídos a partir dos dados geofísicos e de mapeamento geológico.

O evento de soerguimento seria posterior ao de deposição dos sedimentos das formações de idade aptiana, porém, ainda não é possível afirmar o motivo da ausência da Formação Romualdo na Serra do Tonã. O fato de não haver essa formação no Tucano Norte gera uma grande incógnita na história da Sub-bacia e possivelmente algumas hipóteses:

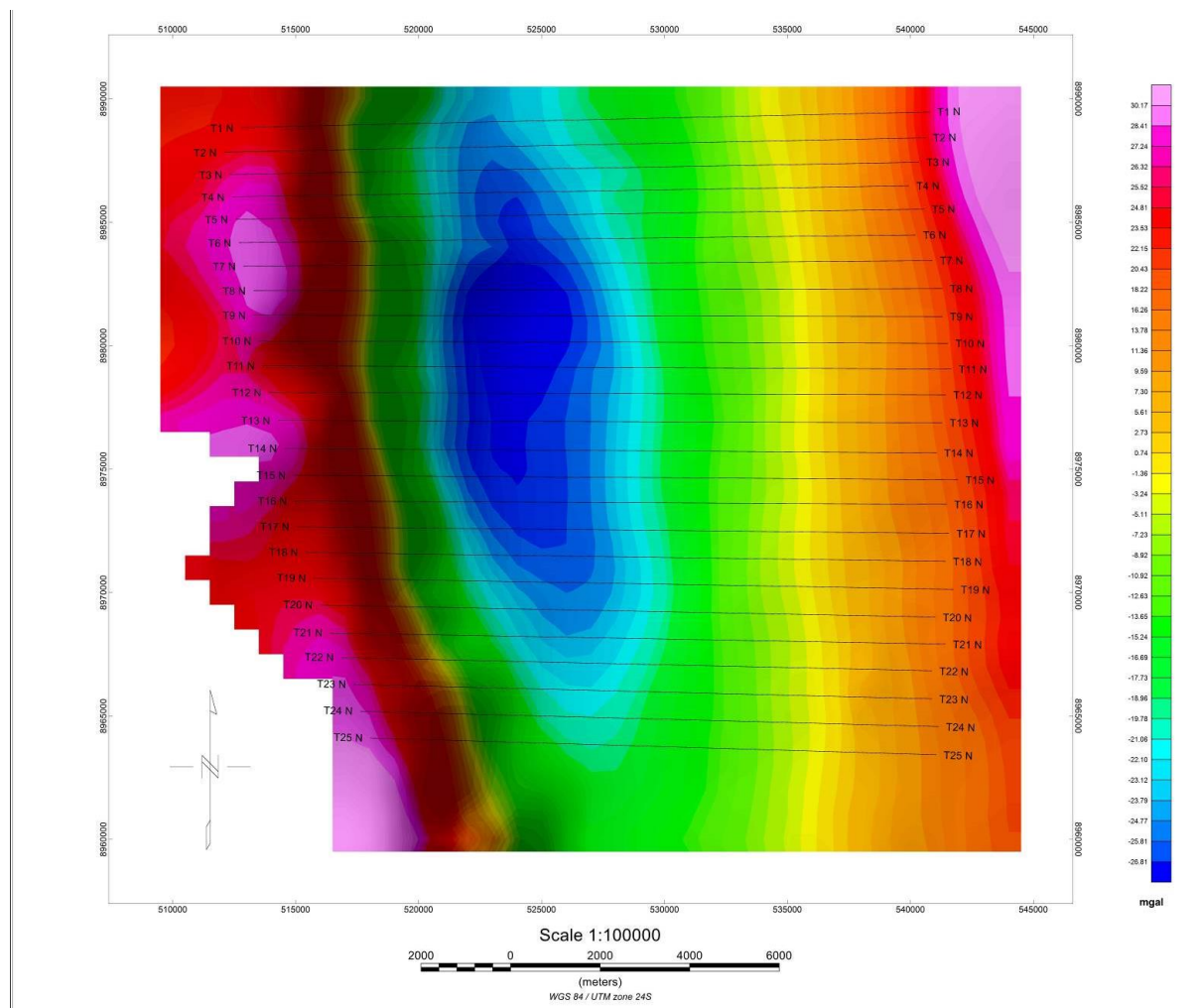
- 1- Não teria ocorrido a deposição desses sedimentos Aptianos da Formação Romualdo na Sub-bacia de Tucano Norte.
- 2- Houve a erosão completa da Formação Romualdo na Sub-bacia de Tucano Norte.
- 3- Havia conexão entre as duas bacias (Jatobá e Sub-bacia de Tucano Norte).

Figura 74 – Mapa de superfície de tendência da anomalia Bouguer da região de estudos da Bacia de Jatobá, com a localização dos perfis selecionados para a modelagem 2D.



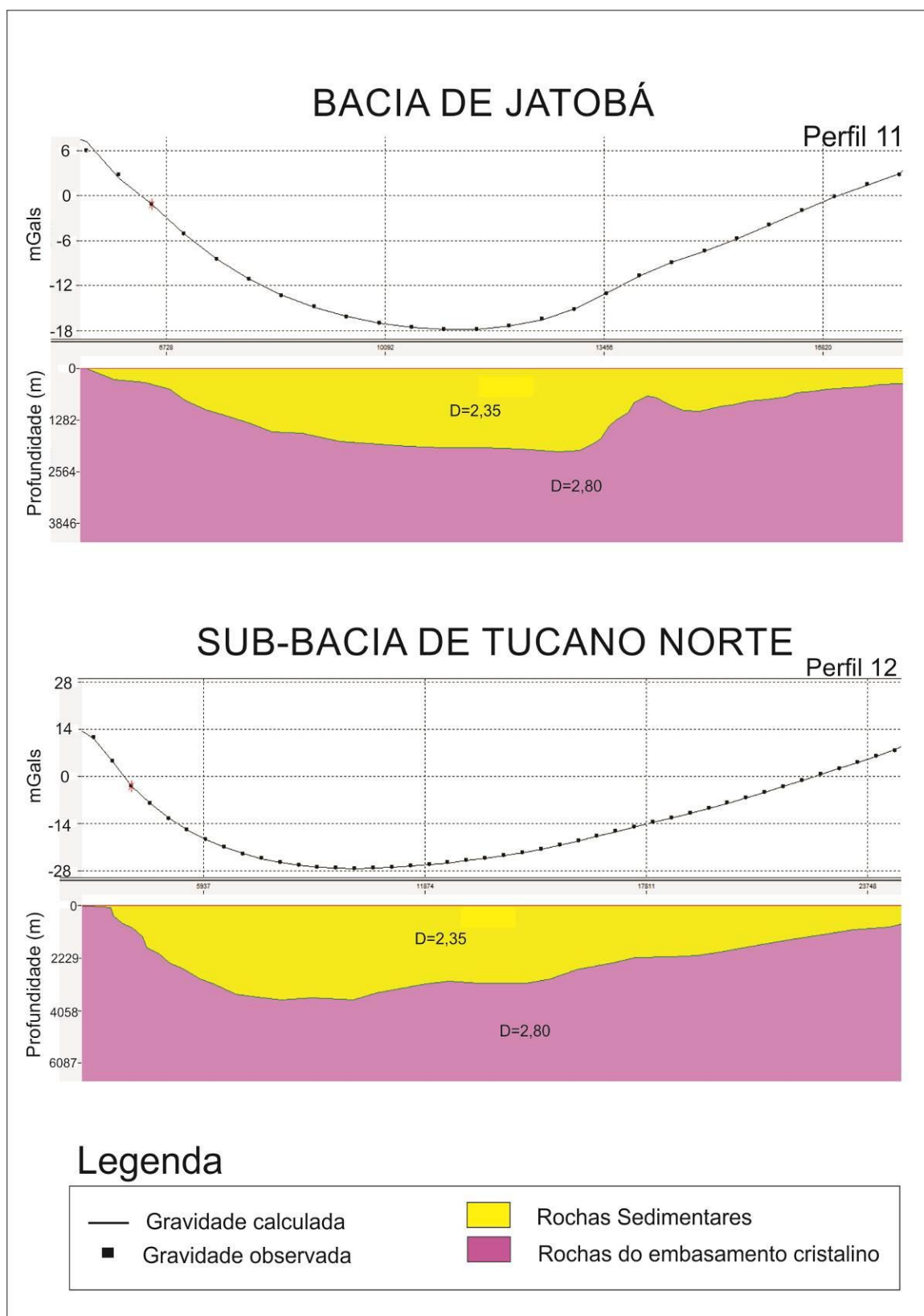
Fonte: Próprio autor.

Figura 75 – Mapa de superfície de tendência da anomalia Bouguer da região de estudos da Sub-bacia de Tucano Norte, com a localização dos perfis selecionados para a modelagem 2D.



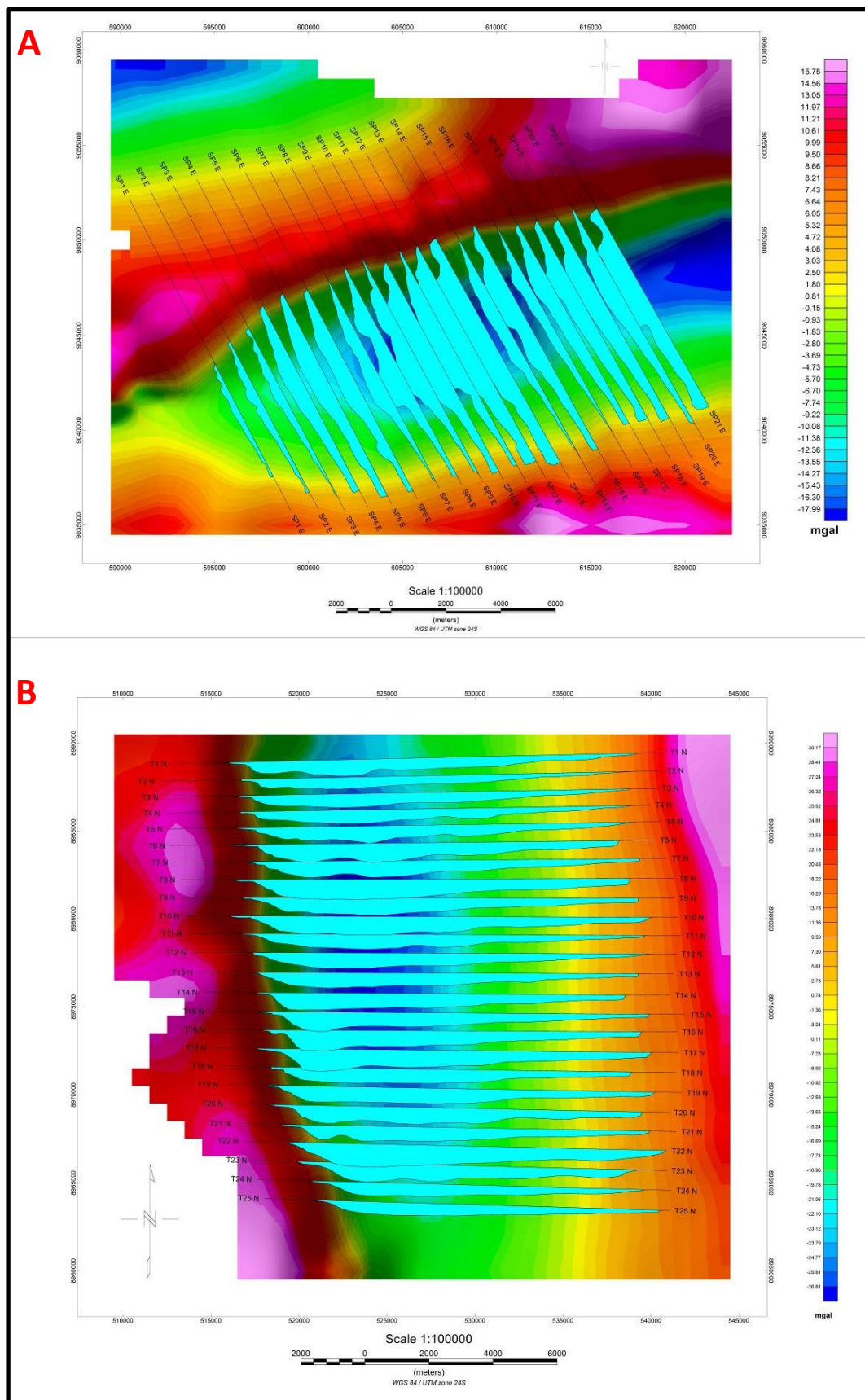
Fonte: Próprio autor.

Figura 76 - Perfis 2-D de densidade das Seções 11 e 12 (Bacia de Jatobá e Sub-bacia de Tucano Norte, respectivamente) modelados pelo método direto, extraídos a partir dos mapas de superfícies de tendência da anomalia Bouguer das regiões de estudos



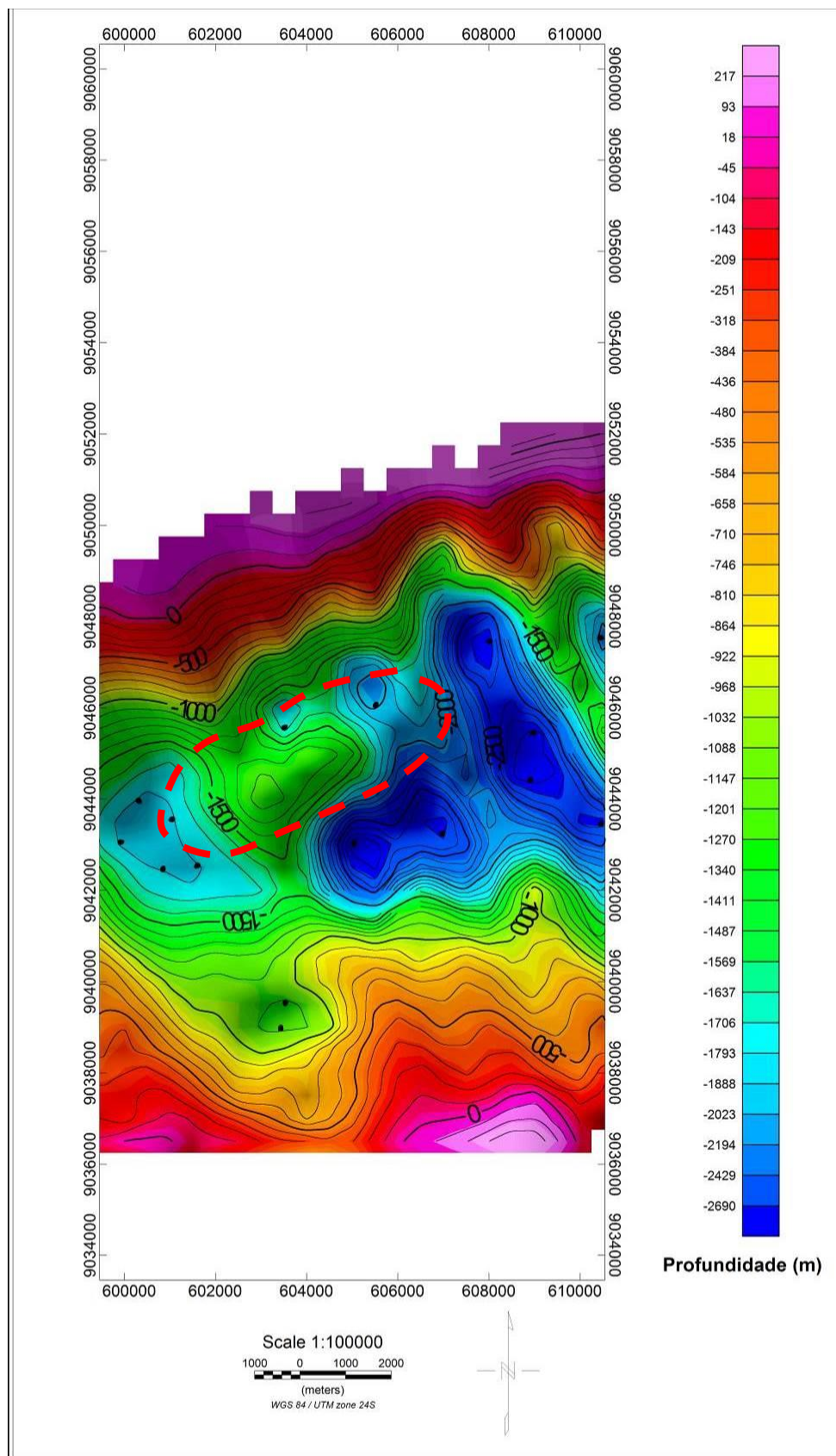
Fonte: Próprio autor.

Figura 77 - Perfís 2D de profundidade realizados em: A- Bacia de Jatobá e B- Sub-bacia de Tucano Norte.



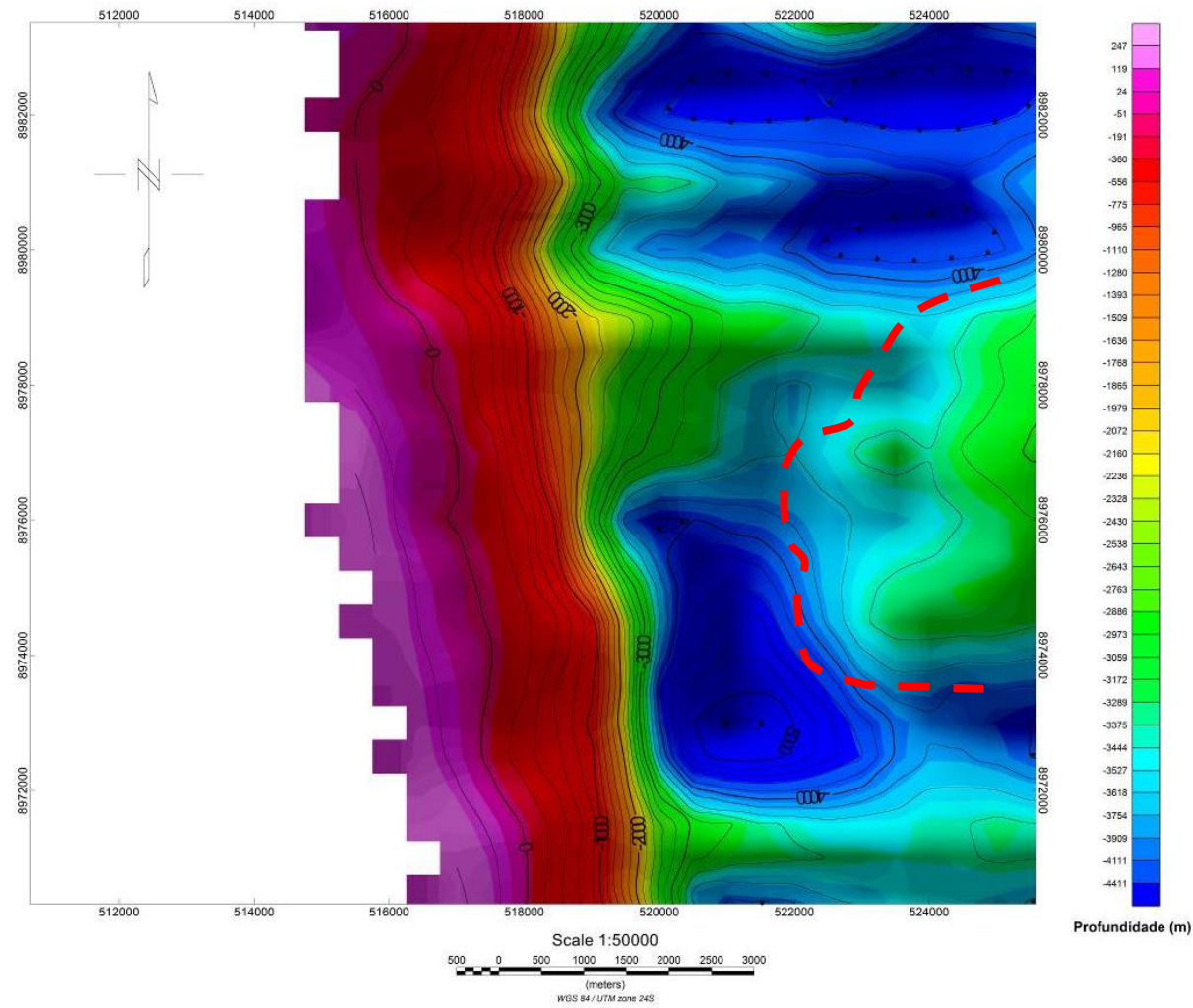
Fonte: Próprio autor.

Figura 78 - Arcabouço do embasamento cristalino e espessuras dos sedimentos da Bacia de Jatobá, calculadas através da modelagem 2D. A área tracejada em vermelho representa um *horst* dentro da bacia.



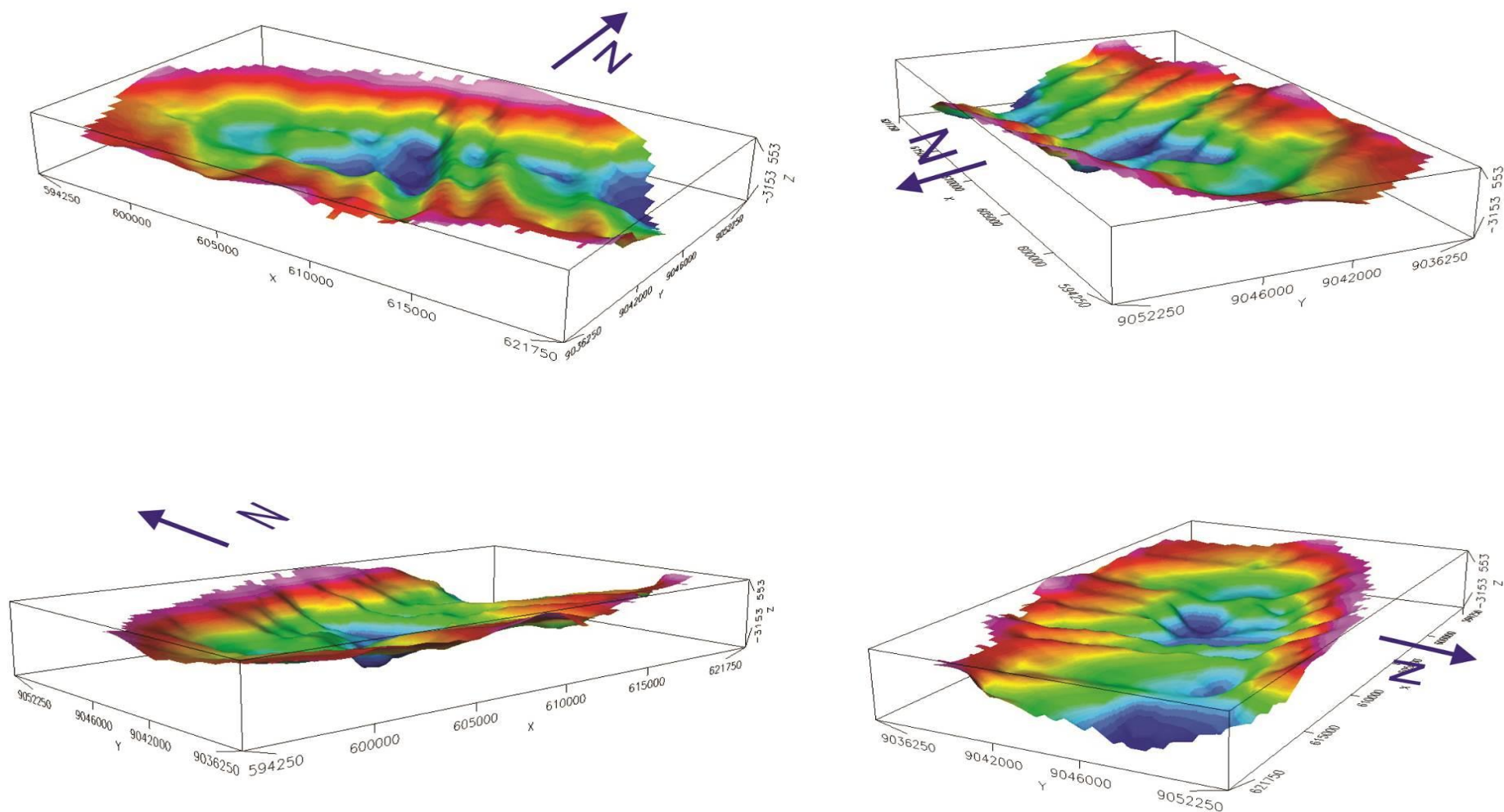
Fonte: Próprio autor.

Figura 79 - Arcabouço do embasamento cristalino e espessuras dos sedimentos da Sub-bacia de Tucano Norte, calculadas a partir da modelagem 2D. A Área tracejada em vermelho representa um *semigraben* dentro da bacia.



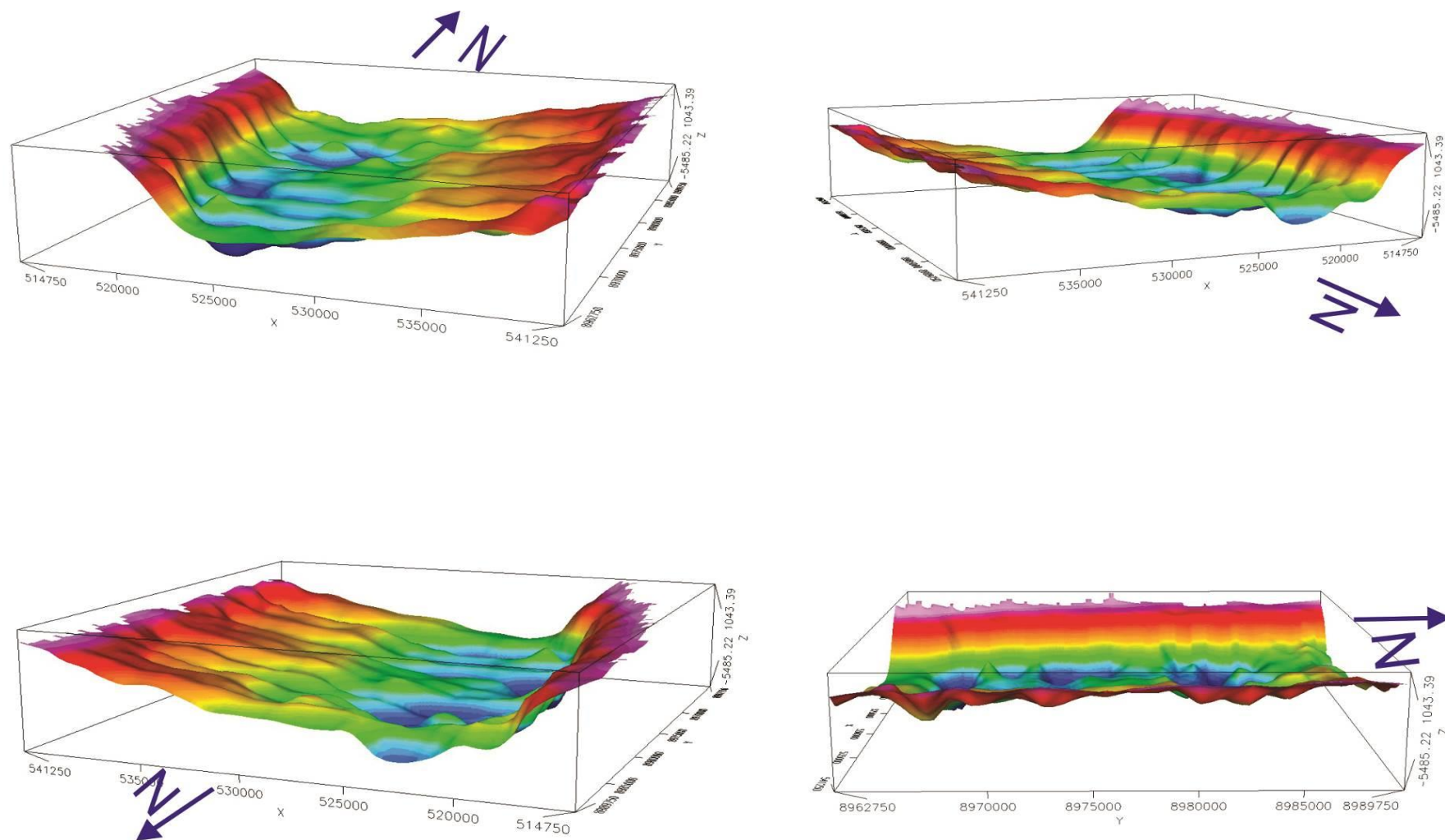
Fonte: Próprio autor.

Figura 80 - Arcabouço tridimensional da área de estudo da Bacia de Jatobá. A modelagem indica que a bacia tem a forma de *semigraben*, com presença de pequenos *horsts*, uma borda falhada a noroeste e um rejeito na área de estudo de aproximadamente 2800 metros.



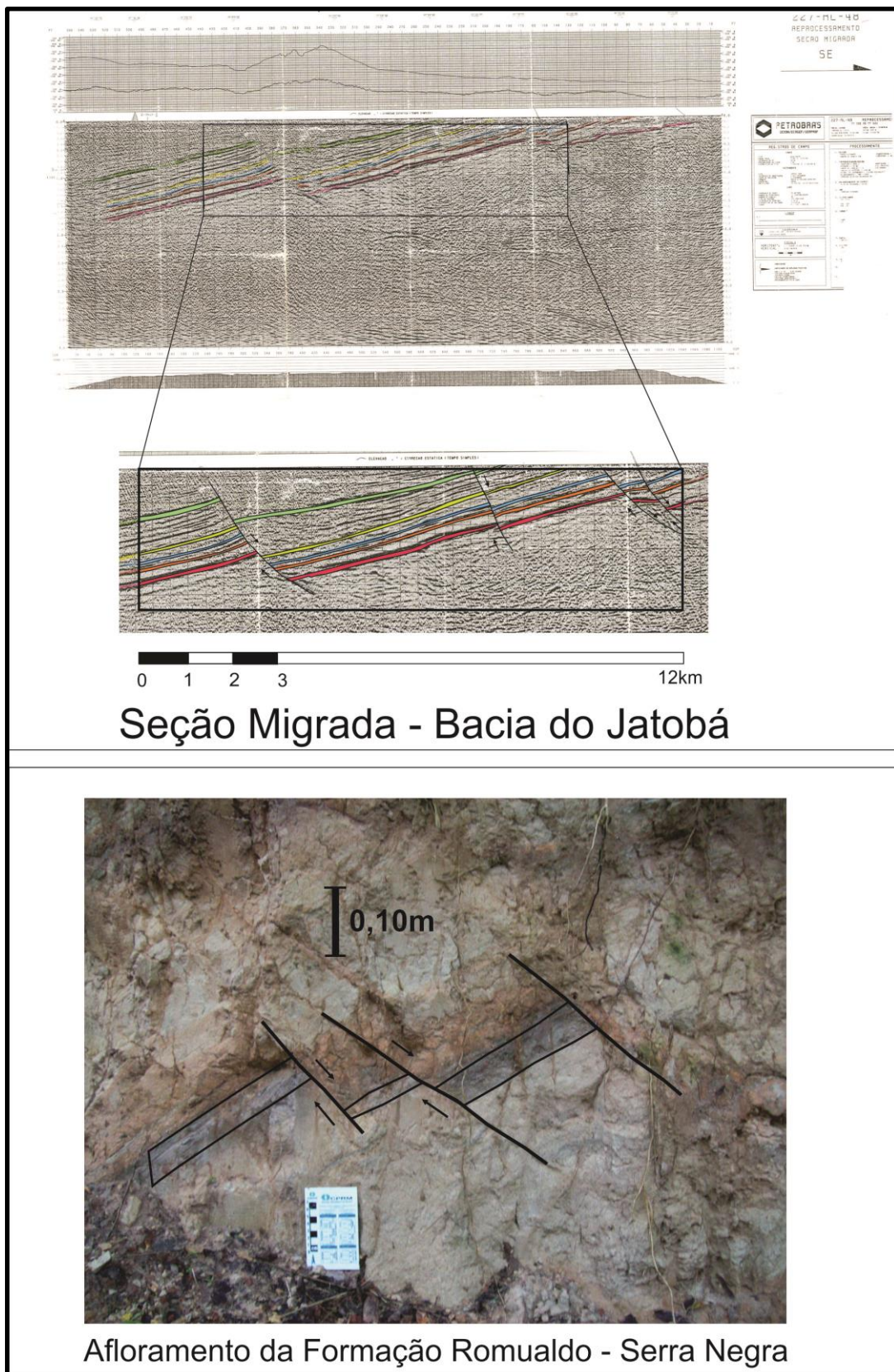
Fonte: Próprio autor.

Figura 81 - Arcabouço tridimensional da área de estudo da Sub-bacia de Tucano Norte. A modelagem indica que, assim como a Bacia de Jatobá, presença de pequenos *horsts*, forma de *semigraben*, porém com a borda falhada a oeste e rejeito na área de estudo de aproximadamente 5100 metros.



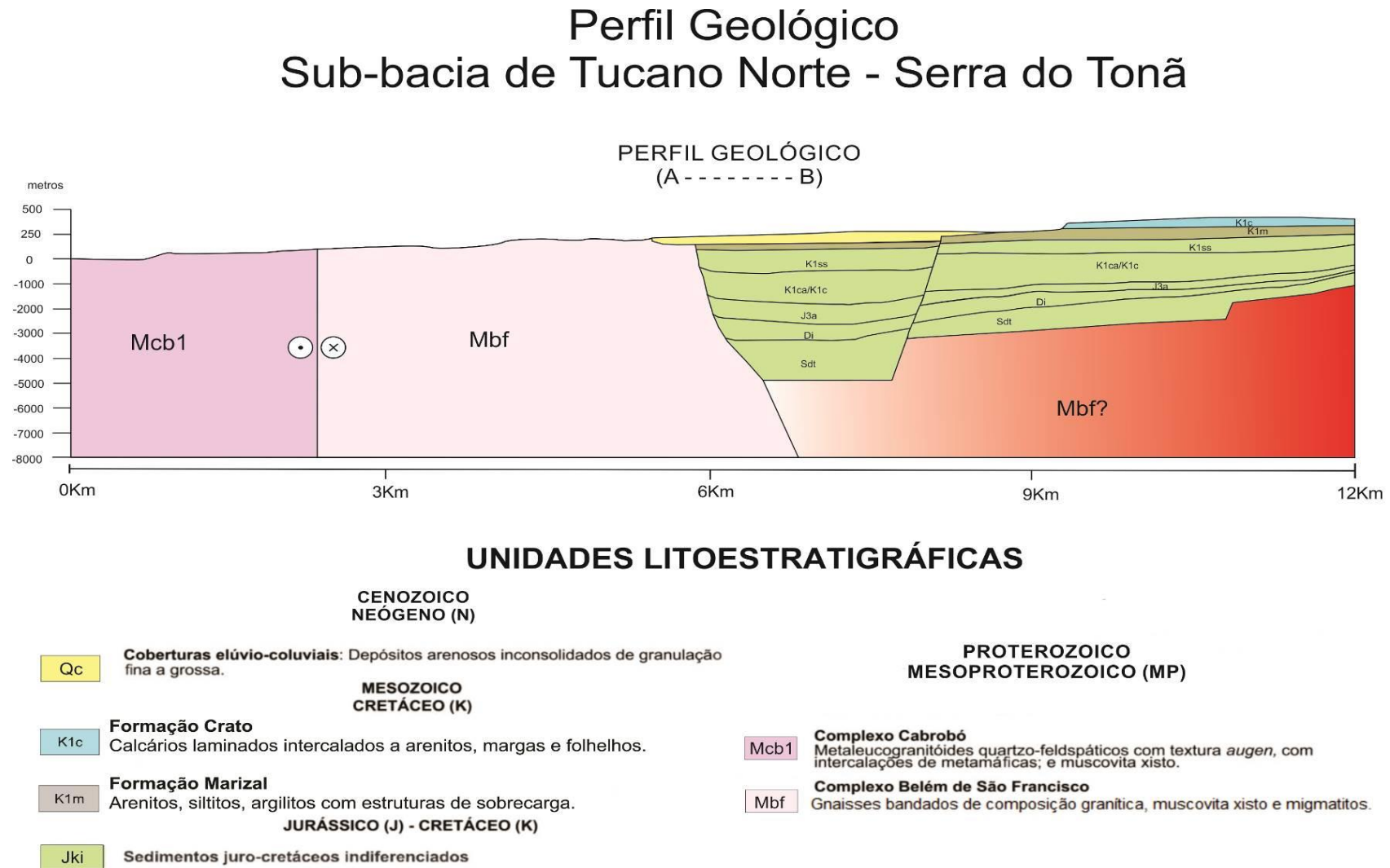
Fonte: Próprio autor.

Figura 82 - Falhas em afloramento, da Formação Romualdo na Serra Negra, que refletem estruturas regionais da Bacia do Jatobá (LIMA et al., 2015)



Fonte: Próprio autor.

Figura 84 - Perfil geológico baseado no modelo tridimensional gravimétrico da área de estudo na Sub-bacia de Tucano Norte.



Fonte: Próprio autor.

7 CONCLUSÕES

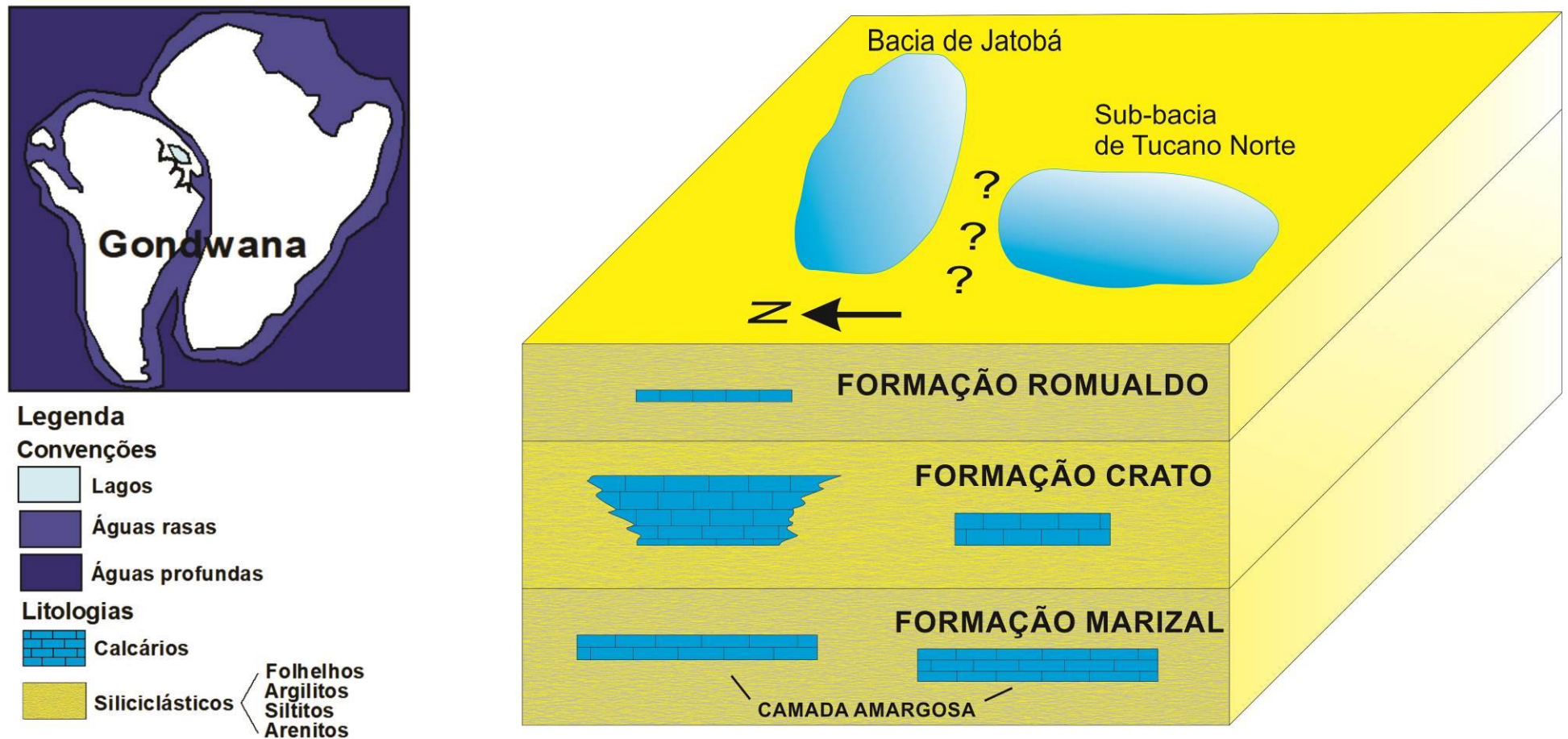
Os paleolagos aptianos-albianos das bacias de Tucano Norte e Jatobá pertencem à fase pós-rifte I e são constituídos pelas formações: Marizal e Crato, no Tucano Norte; e Marizal, Crato e Romualdo, no Jatobá.

Levando em consideração a possibilidade de correlação entre as formações Marizal e Crato nas serras do Tonã (Sub-bacia de Tucano Norte) e Negra (Bacia de Jatobá), estas foram enfatizadas e tratadas neste trabalho. Assim, a primeira fase lacustre é representada pela Camada Amargosa da Formação Marizal, encontrada no sopé da Serra do Tonã e descrita inicialmente por Freitas (2014). Na Serra Negra, essa camada foi identificada entre 57 a 62m de profundidade no poço 2-JB-SN-2B-PE, com aproximadamente 5m de espessura, na cota topográfica de 638m acima do nível do mar, dividindo a Formação Marizal em duas Associações de Fácies Fluviais (AFF).

Na Serra do Tonã, essa mesma camada é observada a 439m de elevação acima do nível do mar. Sendo assim, a Camada Amargosa está presente nas duas bacias (Tucano Norte e Jatobá) e representa um marco estratigráfico de uma grande expansão lacustre durante o Aptiano. É caracterizada por uma seção mista de carbonatos e siliciclásticos, composta por uma alternância de folhelhos escuros calcíferos e calcário laminado. Há uma dúvida se eram dois grandes lagos distintos ou um grande lago que se expandiu pelas duas bacias (Figura 85).

O conteúdo paleontológico encontrado na Camada Amargosa por Freitas et al. (2017) nas bacias de Tucano Central e Sul (peixes e icnofósseis de ambientes estuarinos a marinho raso é diferente do encontrado nas bacias de Tucano Norte e Jatobá (ostracodes, fragmentos de peixes e esteiras algálicas microbiais), típicas de um ambiente lacustre salino. Segundo Gratzer et al. (2013) os carbonatos constituídos de calcita magnesiana da Formação Marizal, da Bacia de Jatobá, apresentam valores isotópicos de carbono muito negativos, semelhantes aos encontrados na Bacia de Tucano Norte. Observa-se a grande similaridade nos dados litológicos, químicos e fossilíferos dos sistemas lacustres, nas distintas bacias. Isto também poderia sugerir uma ligação desses paleolagos durante o aptiano.

Figura 85 – Modelo de Reconstrução paleogeográfica das bacias de Tucano Norte e Jatobá, ilustrando os paleolagos aptianos das formações Marizal e Crato.

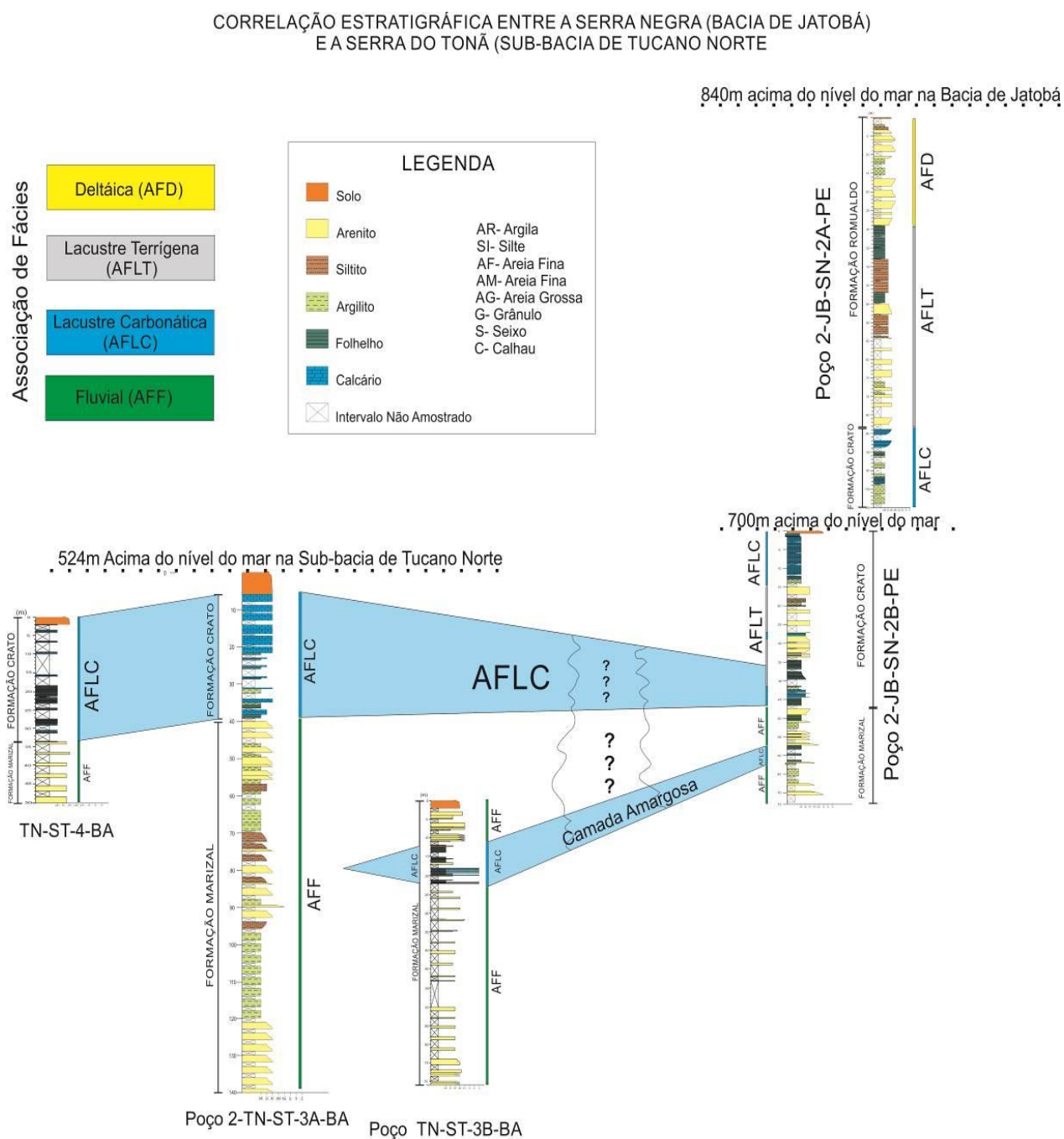


Fonte: Próprio autor.

A segunda fase lacustre (Formação Crato) também foi observada nas duas bacias, Tucano Norte e Jatobá, mas na Sub-bacia de Tucano Norte apenas a porção inferior da Formação Crato foi encontrada (Figura 86). Os afloramentos dos calcários laminados e maciços da Formação Crato, na Bacia de Tucano Norte, são encontrados no topo da Serra do Tonã e em um “morro-testemunho” conhecido como Serra de São Saté. Os calcários do Topo da Serra do Tonã, apesar de estarem bastante cimentados por óxido/hidróxido de ferro e calcita espática, como foram observados através das lâminas petrográficas e catodoluminescência, são laminados e muito semelhantes aos calcários que ocorrem na Serra Negra (Bacia de Jatobá).

Tanto Serra Negra (Jatobá) quanto na Serra do Tonã (Tucano Norte), a Formação Crato pôde ser dividida em duas (2) associações de fácies: a primeira representada pela Associação de Fácies Lacustre Terrígeno (AFLT); e a segunda, representada pela Associação de Fácies Lacustre Carbonática (AFLC).

Figura 86 - Correlação dos sedimentos pós-rifte-I através de poços estratigráficos entre a Serra Negra (Bacia de Jatobá), à esquerda da figura; e da Serra do Tonã (Sub-bacia de Tucano Norte), à direita da figura.



Fonte: Próprio autor.

Após a Revisão da sequência lacustre de Silveira et al. (2014), na Serra do Tonã, pôde-se observar mais cinco (5) novas litofácies, totalizando sete (7) litofácies, sendo três (3) relacionadas a AFLT e 5 relacionadas a AFLC.

As análises de isótopos de ^{13}C e ^{18}O nos sedimentos da Formação Crato, da Bacia de Jatobá, mostram que os valores são predominantemente negativos tanto no poço 2-JB-SN-2A-PE quanto no poço 2-JB-SN-2B-PE. As amostras analisadas dos poços apresentam valores de $\delta^{18}\text{O}$ que se enquadram dentro de um ambiente lacustre, porém com uma salinidade relativamente alterada na porção intermediária amostrada no poço 2-JB-SN-2A-PE, possivelmente devido a uma descida rápida do nível do lago, voltando à água ficar mais doce no topo da porção amostrada. Já o poço 2-JB-SN-2B-PE, apresenta os valores de $\delta^{18}\text{O}$ predominantemente negativos, com pouca variação.

Devido às composições isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ serem semelhantes, tanto nos carbonatos da Serra do Tonã (Tucano Norte) quanto nos das Serras Negra (Jatobá), os dados sugerem que os carbonatos aptianos estudados correspondem a um sistema lacustre, hidrologicamente fechado e que suas águas eram mais doces na base e no topo de sua sequência, enquanto na parte intermediária suas águas seriam mais salinas.

A terceira e última fase lacustre é representada pela Formação Romualdo, porém foi observada apenas na Serra Negra (Bacia de Jatobá) e não na Serra do Tonã (Tucano Norte). Segue-se a pergunta: a que se deve a não ocorrência dessa fase lacustre na Bacia de Tucano Norte, não deposição ou erosão? Um fato que se ressalta também é a ausência dos evaporitos da Formação Ipubi nestas duas bacias.

Através da análise semi-quantitativa de elementos maiores foi possível observar que, de forma geral, existem dois grandes grupos. Um grupo composto pelas amostras JB-7, JB-13, JB-14 e JB15 que está relacionada às variáveis SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , TiO_2 e P_2O_5 , e outro grupo composto pelas amostras JB-1, JB-2, JB-3, JB-4, JB-6, JB-8, JB-9 e JB10, está relacionado às variáveis MgO , CaO , MnO e PF . Tal comportamento sugere que as amostras do primeiro grupo estão reunidas pela forte semelhança química de suas litologias, descritas como arenitos, apesar das amostras JB-13, JB-14 e PB15 pertencerem a Formação Marizal e a amostra JB-7 ser da Formação Crato elas se agrupam em caráter predominante de sua composição, independente do tempo em que foram formadas ou as suas respectivas formações. O segundo agrupamento sugere que a litologia é novamente o fator de semelhança entre essas amostras, que são descritas como calcários.

Embora as amostras JB-1, JB-2, JB-3 e JB-4 tenham maior afinidade com as variáveis MnO e MgO e as amostras JB-6, JB-8, JB-9 e JB-10 com as variáveis CaO e PF , a separação em dois subgrupos de calcários está relacionada também a presença de P_2O_5 em algumas amostras. A presença de fosfato é explicada pela presença de esteiras algálicas e matéria

orgânica identificadas apenas nas amostras do poço 2B, juntamente com elevados teores de CaO e PF. Assim, foi possível classificar quimicamente as amostras analisadas pelas suas litologias e em subgrupos, como pelo teor de fosfato, utilizando o método Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento Hierárquico.

Foi observado que a razão Mg/Ca que incide nos processos de dolomitização é mais elevado nas amostras dos arenitos da Formação Marizal do que nas amostras de arenitos da Formação Crato, indicando uma maior salinidade nos arenito da Formação Marizal em relação aos arenitos da Formação Crato. Essa variação da salinidade entre as duas formações também pôde ser observada nas análises de Isótopos Estáveis, porém de forma mais sutil. Logo, é possível afirmar que durante a deposição dos arenitos calcíferos da Formação Marizal houve uma transição rápida de ambiente, tornando-se seco e árido muito mais rápido do que no ambiente onde se formaram os arenitos da Formação Crato. Podemos afirmar ainda que, devido à razão Fe/Mn elevada, houve um maior tempo de exposição dos sedimentos da Formação Marizal ao paleoambiente no qual foram depositados, aumentando assim a sua concentração de ferro, diferentemente dos sedimentos que se depositaram da Formação Crato.

No trabalho realizado por Netto e Oliveira (1985), nos *grabens* do Tucano Central, Tucano Norte, e Jatobá, os arenitos são muito mais frequentes do que no *Graben* do Recôncavo, indicando o sentido em que o rifte foi preenchido, ou seja, de norte para sul. Freitas et al. (2017), também seguiu essa linha de pesquisa através de medições do sentido de paleocorrentes aptianas na Sub-bacia de Tucano Norte. O Mapeamento geológico das áreas envolvidas auxiliou na identificação e individualização das unidades aptianas presentes nas serras do Tonã e Negra, bem como a identificação de estruturas em superfície e a correlação dos sedimentos com o embasamento cristalino próximo as bordas falhadas das bacias envolvidas.

No modelo de correlação apresentado na (figura 86), fica evidente que o maior pacote de sedimentos da Formação Crato está presente na Serra Negra (Bacia de Jatobá) e não na Serra do Tonã (Sub-bacia de Tucano Norte). Esse fato contribui com a análise de outros autores sobre o sentido de deposição das paleocorrentes aptianas.

É observada também uma grande diferença na cota topográfica na base da Formação Crato entre as duas bacias, Jatobá e Tucano Norte. Na Serra Negra, a base da Formação Crato está a aproximadamente 650m de elevação acima do nível do mar, diferente da Serra do Tonã que está a aproximadamente 480m acima do nível do mar. Essa diferença de 170m de elevação provavelmente está relacionada a um maior soerguimento da região de Serra Negra

durante uma reativação do embasamento cristalino. Esse provável soerguimento gerou inselbergs formados por rochas do pós-rifte-I cercadas por sedimentos elúvio-coluviais.

Os dados gravimétricos revelam que os sedimentos pós-rifte-I das serras Negra e do Tonã foram depositados nas porções onde o embasamento cristalino é mais profundo (depocentros principais), possuindo configurações semelhantes em ambas às bacias, (Jatobá e Tucano Norte), onde o principal diferencial seria a orientação das estruturas. Na Bacia de Jatobá (nas proximidades da Serra Negra) a presença de *horts* e *grabens* profundos, com orientação ENE-WSW é bem evidenciada. Já na Sub-bacia do Tucano Norte, a gravimetria revela o predomínio de *semigrabens* com orientação N-S, sendo estas, as estruturas principais do embasamento cristalino. A orientação dessas estruturas do embasamento, em ambas as bacias, foram refletidas nas serras Negra e do Tonã durante o soerguimento, em uma provável reativação tectônica.

Após a junção de todas as informações adquiridas e expostas nesta tese (mapeamentos geológicos, descrição e correlação de poços, identificação de litofácies, análises petrográficas, análises geoquímicas e estudos geofísicos), fica reforçada a hipótese de ligação entre esses dois paleolagos Aptianos formados na Bacia de Jatobá e Sub-bacia de Tucano Norte, representados pelas Formações Marizal e Crato nas serras Negra e do Tonã.

Contudo, para dar continuidade e maior segurança a esse estudo, recomenda-se a identificação e correlação dos microfósseis presentes nos sedimentos do pós-rifte-I, da Serra Negra e da Serra do Tonã.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/estudos-geologicos-e-geofisicos/plano-plurianual-de-estudos-de-geologia-e-geofisica/ppa-2007-2014/resultados-por-bacia>> Acesso em: 12 abr. 2018.
- ALMEIDA, F. F. M. et al. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SBG, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8. 1977. **Anais...** 1977. p. 363-391.
- AMORIM, J. L.; TOMES, H. H. F.; SILVA FILHO, M. A. Transporte tectônico reliquiar na Faixa Sergipana. In: XXXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1. 1992, São Paulo. **Anais...** SBG, 1992. p. 308-309.
- ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da Petrobras**. v. 15, p. 371-389, 2007.
- ASSINE, M. L. et al. Sequências Depositionais do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 22, p. 3–28, 2014.
- BARBOSA, O. Geologia de parte da região do médio São Francisco, Nordeste do Brasil. Petrópolis: **PROSPEC**. 1964. 69 p. il.
- BEURLIN, K. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). **Anais da Academia de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 43 (supl.), p. 411-415, 1971.
- BRITO NEVES, B. B.; CORDANI, U. G. Problemas geocronológicos do “Geosinclinal Sergipano” e do seu embasamento. In: XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1973, Aracaju. **Anais...** SBG, 1973. p. 67-76.
- BRITO NEVES, B. B.; SIAL, A. N.; BEURLIN, H. O sistema de dobramentos Sergipano: análise do conhecimento. Atas da Reunião Preparatória para o I Simpósio sobre o Craton do São Francisco e suas faixas marginais, Salvador. **SBG-SMB-CPM**. p. 369-391, 1977.
- BRITO NEVES, B. B. et al. A preserved early Ediacaran magmatic arc at the northernmost portion of the Transversal Zone central subprovince of the Borborema Province, Northeastern South America. **Brazilian Journal of Geology**. v. 46, n. 4, p. 491-508, 2016.
- BRUNI, M. A. L. et al. Carta geológica do Brasil ao milionésimo. Folha Aracaju (SC. 24). Brasília: **DNPM / DGM**. 226 p. 1976.
- BUENO, G. V. Serra do Tonã: um elo estratigráfico entre as bacias de Tucano Norte (BA) e Araripe (CE), Nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 4. 1996, Águas de São Pedro/Rio Claro. **Boletim...** UNESP, 1996. p. 135-142.
- CAMOIN, G. et al. Environmental control on perennial and ephemeral carbonate lakes: the central Palaeozoic basin of Bolivia during Late Cretaceous to Early Tertiary times. **Sedimentary Geology**. v. 113, p. 1-26, 1997.

COHEN, C. Role of fault rejuvenation in hydrocarbon accumulation and structural evolution of Recôncavo Basin, Northeast Brazil. **Am. Assoc. Pet. Geol.** v. 64, p. 65-76, 1985.

COIMBRA, J. C.; ARAI, M.; CARREÑO, A. L. Biostratigraphy of Lower Cretaceous microfossils from the Araripe Basin, northeastern Brazil. **Geobios.** v. 35, n. 6, p. 687-698, 2002.

CORREIA, E. G. Contribuição da refração sísmica no delineamento do arcabouço estrutural da Bacia de Jatobá. In: **Coletânea de relatórios de exploração (II)**. Rio de Janeiro: Petrobrás. CENPES, 1965. p. 41-66.

COSTA, I. P. et al. Bacias sedimentares brasileiras: Bacia do Jatobá. **Fundação paleontológica Phoenix**. 2003. Disponível em:<
http://www.phoenix.org.br/Phoenix53_Mai03.htm>. Acesso em: 09 mai. 2018.

COSTA, I. P. et al. Sub-bacia Tucano Norte e Bacia do Jatobá. Boletim de Geociências da Petrobras. Rio de Janeiro. **CPRM & Serviço Geológico do Brasil**. v.15, n. 2, p. 445-453, 2007.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO/ FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS. **Comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do nordeste brasileiro: Hidrogeologia da Bacia de Jatobá: Sistema Aquífero Tacaratu/Inajá**, 2007.

DAVISON, I.; SANTOS, R. A. Tectonic evolution of the Sergipano fold belt, NE Brazil, during the Brasiliano Orogeny. **Precambrian Research**. v. 45, p. 319-342, 1989.

DELGADO, I. M. et al. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: Bizzi, L. A. et al. (Ed.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, p. 227-334, 2003.

BRASIL. Decreto nº 87.591, de 20 de setembro de 1982. Cria, no Estado de Pernambuco, a Reserva Biológica de Serra Negra. **Diário Oficial da União - Seção 1**, 21 de setembro de 1982.

DOTT, R. H. Wacke, Greywacke and Matrix—What Approach to Immature Sandstone Classification. **Journal of Sedimentary Petrology**. v. 34, p. 625-632, 1964.

DUNHAM, R. J. Classification of Carbonate Rocks According to their Depositional Texture. In: Ham, W. E. (Ed). **Classification of Carbonate Rocks: Tulsa**, OK, American Association of Petroleum Geologists Memoir. p. 108-121, 1962.

DURVAL, L. G. L. **Caracterização estratigráfica da formação Marizal (k) na serra do Tonã, sub-bacia do Tucano Norte, NE do Brasil**. 2017. 53 p. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

FAURE G.; MENSING T. M. **Isotopes: Principles and Applications**. New Jersey: John Wiley Blackwell, 2005. 3 ed. 928 p.

FOLK, R. L. Spectral subdivision of limestones types. In: Ham, W. E. (Ed). **Classification of Carbonate Rocks: Tulsa**, OK, American Association of Petroleum Geologists Memoir. p. 62-84, 1962.

FOLK, R.L. **Petrology of Sedimentary Rocks**. The Univ. of Texas, Austin, Hemphil's, 1968. 172p.

FREITAS, B. T. **A Formação Marizal (Aptiano) na Bacia do Tucano (Ba): Contribuições à Análise da Arquitetura de Depósitos Fluviais e Implicações Paleobiogeográficas**. 2014. 175p. Tese de Doutorado - Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FREITAS, B.T. et al. Aptian sedimentation in the Reconcavo-Tucano-Jatobá Rift System and its tectonic and paleogeographic significance. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 80, p. 460-481, 2017.

GHIGNONE, J. I. Geologia dos sedimentos fanerozóicos do Estado da Bahia. In: Inda, H. A. V. (Ed.) **Geologia e recursos minerais do Estado da Bahia**: textos básicos. Salvador. p. 24-117, 1979.

GHIGNONE, J. I.; ANDRADE, G. D. General Geology and major oilfields of Reconcavo Basin, Brazil. **Am. Assoc. Pet. Geol.** v. 14, p. 337-358, 1970.

GOOGLE EARTH, 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>> Acesso em : 12 abr. 2018.

GRABAU, A. W. On the classification of sedimentary rocks. **American Geologist**. v. 33, p. 228-247, 1904.

GRATZER, R. et al. Stable isotopes of organics and inorganics, clay mineralogy and chemical environment of na Aptian lacustrine succession in northeastern Brazil. In: Bojar, A. V.; Melinte-Dobrinescu, M. C.; Smit, J. (Eds.). **Isotopic Studies in Cretaceous Research**. Geological Society, London: Special Publications, 2013. v. 382, p. 157-182.

GUZMÁN, J. et al. Estratigrafia da Bacia de Jatobá: Estado da Arte. **Estudos Geológicos**. v. 25, n. 1, p. 53-76, 2015.

HASHIMOTO, A. T. et al. O neo-Alagoas nas bacias do Ceará, Araripe e Potiguar (Brasil): caracterização estratigráfica e paleoambiental. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 17, p. 118-122, 1987.

HUMPHREY, F. L.; ALLARD, G.O. **Geologia do domo de Itabaiana (Sergipe) e sua relação com a geologia do geosinclinal de Propriá, um elemento tectônico recém reconhecido no escudo brasileiro**. Rio de Janeiro: Petrobras, CENPES, 1969. 104p.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de Manejo da Reserva Biológica de Serra Negra**. Análise da Região de Unidade de Conservação. 2011 . 97p.

KELTS, K.; TALBOT, M. Lacustrine carbonates as geochemical archives of environmental changes and biotic/abiotic interactions. In: Tilzer, M.M.; Serruya, C. (Eds.). **Large Lakes: ecological structure and function**. Berlin: Spring-Verlag, 1990. p. 314.

LASA ENGENHARIA E PROSPECÇÕES S.A./ PROSPECTORS AEROLEVANTAMENTOS E SISTEMAS LTDA. 2010. **Projeto Aerogeofísico Paraíba-Rio Grande do Norte e Pernambuco-Paraíba**. Texto Técnico, Rep. Fed. do Brasil,

MME/Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral/CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 389 p.

LEITE, J. F.; PIRES, S. T. M.; ROCHA, D. E. G. A. Estudo Hidrogeológico da Bacia do Jatobá-PE. Série Hidrogeologia. **Estudos e Projetos**. v.7, 55p., 2001.

LIMA, R. P. et al. Geologia da Fase Pós-rifte da Porção Nordeste da Folha Airi – Região de Serra Negra, Bacia de Jatobá. **Estudos Geológicos**. v. 25, n. 2, p. 103-116, 2015.

MAGNAVITA, L. P. **Geometry and kinematics of the Recôncavo-Tucano-Jatobá Rift, NE Brazil**. 1992. Tese de doutorado - University of Oxford, Earth Sciences Department, Wolfson College, Oxford, 1992.

MAGNAVITA, L. P. Sobre a implantação da fase sin-rifte em riftes continentais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39. 1996, Salvador. **Anais...** São Paulo: SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA, 1996. P. 335-338.

MAGNAVITA, L. et al. Bacias sedimentares brasileiras: Bacia de Tucano. **Fundação paleontológica Phoenix**. 2003. Disponível em: http://www.phoenix.org.br/Phoenix52_Abr03.htm. Acesso em: 20 jun. 2018.

MEDEIROS, R. A.; PONTE, F. C. **Roteiro geológico da Bacia do Recôncavo (Bahia)**. PETROBRAS/SEN- BA, 1981.

MENEZES FILHO, N. R.; SANTOS, R. A.; SOUZA, J. D. Programa Levantamentos Geológicos do Brasil: carta geológica, carta metalogenética / previsional – escala 1: 100.000 (Folha SC.24-X-C-V, Santa Brígida). Estado da Bahia. Brasília: **DNPM/CPRM**. 144p. 1988.

MENEZES FILHO, J. A. B. **Caracterização Petrográfica do Intervalo Siliciclástico do Sistema Lacustre do Andar Alagoas (Aptiano) da Bacia de Jatobá, Ne do Brasil**. 2015. 92p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

MILANI, E. J.; DAVISON, I. Basement control and transfer tectonics in the Recôncavo-Tucano-Jatobá rift, Northeast Brazil. **Tectonophysics**. v. 154, p. 41-70, 1988.

NETTO, A. S. T. A implantação da fase rift na Bacia do Recôncavo. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30th. 1978, Recife. 1978. p. 506-517.

NETTO, A. S. T.; OLIVEIRA, J. J. O preenchimento do rift-valley na Bacia do Recôncavo. **Rev. Bras. Geociênc.** v. 15, p. 97-102, 1985.

NEUMANN, V. H.; CABRERA, L. Uma nueva propuesta estratigráfica para La tectonosecuencia post-rifte de La Cuenca de Araripe, Noreste de Brasil. In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO BRASILEIRO, 5. 1999, Serra negra. **Boletim de Resumos...** UNESP, 1999. p. 279-285.

NEUMANN, V. H. et al. Microfácies e microestruturas dos calcários laminados das serras do Periquito e Negra, Bacia do Jatobá. 2009. In: 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. UFC, Ceará. 2009. p.8.

NEUMANN, V. H. et al. Microfacies carbonáticas e comportamento isotópico de C e O nos calcários laminados aptianos lacustres da Serra Negra, bacia do Jatobá, nordeste do Brasil. **Estudos Geológicos**. v. 20, n. 1, p. 89-100, 2010.

NEUMANN, V. H. et al. Mapeamento Geológico da Folha Poço da Cruz (SB.24-X-A-VI). Relatório Técnico. **CPRM/UFPE/FADE**. Programa Geologia do Brasil (no prelo), 2011.

NEUMANN, V. H.; ROCHA, D. E. G. A. Stratigraphy of the Post-Rift Sequences of the Jatobá Basin, Northeastern Brazil. **Strati, Springer Geology**. p. 553-557, 2013.

NEUMANN, V. H.; ROCHA, D. E. G. A. Stratigraphy of the Post-Rift Sequences of the Jatobá Basin, Northeastern Brazil. In: R. Rocha (Eds.), **STRATI 2013**. Springer Geology. **Springer International Publishing Switzerland**. p. 553-557, 2014.

NEUMANN, V. H.; ASSINE, M. L. Stratigraphic Proposal to the Post-Rift I Tectonic Sedimentary Sequence of Araripe Basin, Northeastern Brazil, Strati 2015. In: 2nd INTERNATIONAL CONGRESS ON STRATIGRAPHY. 2015, Berichte des Institutes für Erdwissenschaften der Universität Graz, 2015. p. 274.

PAZ, J. D. S.; ROSSETTI, D. F. Paleohydrology of an Upper Aptian lacustrine system from northeastern Brazil: integration of facies and isotopic geochemistry. **Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.** v. 241, p. 247-266, 2006.

PONTE, F. C.; APPI, C. J. Proposta de revisão da coluna estratigráfica da Bacia do Araripe. In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1. 1990, Natal. **Anais...** SBG, 1990. p. 211-226.

PONTE, F. C.; MEDEIROS, R. A.; PONTE FILHO, F. C. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe: Parte 1- Análise de sequências. In: SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 2. 1997, Crato – Ceará. **Atas...** Crato: DNPM, 1997.

ROCHA, D. E. G. A. **Caracterização do Intervalo Carbonático do Sistema Lacustre Aptiano da Bacia de Jatobá, NE do Brasil**. 2011. 160p. Tese de Doutorado - Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

ROCHA, D. E. G. A.; LEITE, J. F. 1999. **Estudo hidrogeológico da Bacia do Jatobá-PE**. Geologia. Série Hidrogeologia: Estudos e Projetos, 1999. 20p.

ROCHA, D.E.G.A. et al. Geoquímica do Sistema Lacustre Carbonático Aptiano da Bacia do Jatobá, Nordeste do Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 30, n. 2, p. 122 – 135, 2016.

SANTOS, C. F. et al. Síntese sobre a geologia das bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá. In: Raja Gabaglia, G. P.; Milani, E. J. (Coord.) **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares**. Rio de Janeiro: Petrobras, 1990. p. 235-266.

SANTOS E. J. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39. 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 1996. p. 47-50.

SANTOS E. J. Belém do São Francisco, Folha SC.24-X-A: estados de Pernambuco, Alagoas e Bahia. Brasília, Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - **CPRM**, 1999. 84 p.

SANTOS, R. A.; MENEZES FILHO, N. R.; SOUZA, J.D. In: Programa Levantamentos Geológicos Básicos; carta geológica, carta metalogenética/previsional - Escala 1:100.000, Projeto Carira. **DNPM/CPRM**, v. 4, 1988.

SANTOS E. J. et al. The Cariris Velhos tectonic event in Northeast Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. v. 29, n. 1, p. 61-76, 2010.

SILVA FILHO, A. F.; GUIMARÃES, I. P.; VAN SCHUMUS, W. R. Crustal Evolution of the Pernambuco-Alagoas-Complex, Borborema Province, NE Brazil: Nd Isotopc Data from Neoproterozoic Granitoids. **Gondwana Research**. v. 5, n. 2, p. 409-422, 2002.

SILVEIRA, A. C. et al. Químioestratigrafia de Carbono e Oxigênio dos Carbonatos Lacustres Aptianos da Serra do Tonã, Sub-bacia de Tucano Norte, NE do Brasil. **Estudos Geológicos**. v. 24, n. 2, p. 47-63, 2014.

SOUZA, M. D. F. **Mapeamento Geológico de Área Localizada na Porção Central da Folha Salgado do Melão, Sub-Bacia de Tucano Norte, Nordeste do Brasil**. 2015. 87 p. Monografia de conclusão de curso - Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

TALBOT, M. R. A review of the paleohydrological interpretation of carbon and oxygen isotope ratios in primary lacustrine carbonates. **Chemical Geology** (Isotope Geoscience Section). v. 80, p. 261-279, 1990.

TALWANI, M.; HEIRTZLER, J. R. Computation of magnetic anomalies caused by two-dimensional bodies of arbitrary shape. In: Parks, G. A. (Ed.). **Computers in the mineral industries**. Part 1: Stanford Univ. Publ., Geological Sciences, 1964. p. 464-480.

TALWANI, M.; WORZEL, J. L.; LANDISMAN, M. Rapid gravity computations for twodimensional bodies with application to the Mendoncino submarine fracture zone. **Journal of Geophysical Research**. v. 64, p. 49-59, 1959.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied geophysics**. Cambridge: University Press, 1990. 1 nd. 1990. 622p.

USSAMI, N.; KARNER, G. D.; BOTT, M. H. P. Crustal detachment during South Atlantic rifting and formation of Tucano-Gabon basin system. **Nature**. v. 322, p. 629-632, 1986.

VALERO-GARCÉS, B. et al. Holocene climate in the northern Great Plains inferred from sediment stratigraphy, stable isotopes, 78 carbonate geochemistry, diatoms, and pollen at Moon Lake, North Dakota. **Quaternary Research**. v. 48, p. 359-369, 1997.

VAREJÃO, F. G. et al. Upper Aptian mixed carbonate-siliciclastic sequences from Tucano Basin, Northeastern Brazil: Implications for paleogeographic reconstructions following Gondwana break-up. **Cretaceous Research**. v. 67, p. 44-58. 2016.

**APÊNDICE A - DADOS DA PETROGRAFIADAS AMOSTRAS DAS ROCHAS DA ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES FLUVIAL (AFF)
OBTIDAS ATRAVÉS DO POÇO ESTRATIGRÁFICO 2-JB-SN-2B-PE.**

Fácies	Lâmina	Generalidades	Arcabouço	Matriz/Cimento	Empacotamento	Catodoluminescência	Porosidade
AFm	JB-13	Arenito fino, macáceo, de coloração esbranquiçada, intercalado com folhelho escuro.	Rocha composta por grãos de quartzo subarredondados a subangulosos com extinção ondulante. O principal contatos entre os grãos é tangencial. A Maioria dos grãos são monocristalinos, apenas 0-5% são policristalinos. Presença de feldspato (microclina e plagioclasio), muscovita e biotita bastante orientadas e concentradas.	Matriz argilosa (argila infiltrada) e cimento de óxido/hidróxido de ferro (predominante) e carbonático	Frouxo	Os grãos azuis brilhantes são de feldspato, enquanto os azuis pálidos e marrons escuros são de quartzo. Os pontos verdes podem se tratar de quartzo metamórfico.	Intergranular
AFc	JB-14					Rocha composta por grãos de quartzo subarredondados a subangulosos, porém, poucos com extinção ondulante. A maioria dos grãos são monocristalinos, apenas 0-5% são policristalinos. O principal contatos entre os grãos é tangencial. Presença de Feldspato, biotita e muscovita.	

APÊNDICE B- ANÁLISE MICROSCÓPICA DAS AMOSTRAS DAS ROCHAS DA ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES LACUSTRE TERRÍGENA (AFLT) OBTIDAS ATRAVÉS DO POÇO ESTRATIGRÁFICO 2-JB-SN-2B-PE.

Fácies	Lâmina	Generalidades	Arcabouço	Matriz/Cimento	Empacotamento	Catodoluminescência	Porosidade
AFI	JB-7	Arenito Fino, calcífero, de coloração cinza-esverdeado com laminação cruzada, composta por uma matriz micrítica, rica em grãos de quartzo, micas e feldspatos	Grãos de quartzo subarredondados a subangulosos, predominando a extinção ondulante entre eles. Maioria dos grãos de quartzo não se tocam e são policristalinos e poucos (0-5%) são policristalino. Muscovitas e biotitas bem preservadas.	Matriz micrítica	Frouxo	Os grãos de quartzo apresentam uma coloração azul escuro a marrom, as vezes verde. Os feldspatos apresentam uma cor azul mais clara e brilhante. Os pontos verdes podem indicar quartzo metamórfico, enquanto os vermelhos indicam uma grande massa de matriz micrítica.	Intergranular

APÊNDICE C- ANÁLISE MICROSCÓPICA DAS AMOSTRAS DAS ROCHAS DA ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES LACUSTRE CARBONÁTICA (AFLC) OBTIDAS ATRAVÉS DOS POÇOS ESTRATIGRÁFICOS 2-JB-SN-2A-PE E 2-JB-SN-2B-PE - SERRA NEGRA, BACIA DE JATOBÁ.

Fácies	Lâmina	Generalidades	Arcabouço	Matriz/Cimento	Empacotamento	Catodoluminescência	Porosidade
Co	JB-9	Calcário com ostracodes, matéria orgânica e esteiras algálicas.	Rocha composta por matriz micrítica e carapaças bem preservadas de ostracodes. A maioria das carapaças possuem contato tangencial. Materia orgânica circundando os ostracodes e junto a matéria orgânica são observados pequenos grãos de quartzo.	Matriz micrítica	Frouxo	Pequenos grãos de quartzo de coloração azul e verde	Intergranular

Cp	JB-8	Calcário Peletoidal	Massa carbonática micrítica e de pelóides circundados por esteiras algálicas. Os pelóides encontram-se achatados de forma elipsoidal indicando um empacotamento entre eles e as esteiras algálicas. , circundados por esteiras algálicas. Presença de pirita framboidal.	Matriz Micrítica	Frouxo	Há raros grãos de quartzo representados por pequenos pontos azuis. A presença de pirita na matriz inibe a CL	Intergranular
	JB-10		Rocha composta por matriz micrítica, pelóides e esteiras algálicas circundando os pelóides. Dentro dos pelóides se encontram cristais de dolomita e calcisferas. As calcisferas podem indicar pelotas fecais.			Bastante ferro agindo como inibidor da catodoluminescência	

	JB-11		Rocha composta por micrita, peloides e esteiras algálicas. Os peloides estão achatados e orientados na direção das esteiras algálicas. Presença de pequenos grãos de quartzo. Parte das esteiras algálicas foi substituída por pirita framboidal.			Pequenos cristais de quartzo na cor azul. A pirita framboidal deixa a região mais escura.	
	JB-12	Calcário com peloides e presença de algumas fraturas preenchidas por calcita.	Rocha composta por micrita e peloides. Observadas fraturas preenchidas por calcita fibrosa			Fraturas preenchidas por calcita fibrosa na cor vermelho mais brilhante.	Fratura e Intergranular
Cm	JB-3	Calcário maciço /Biomicrito /Mudstone	Rocha composta por uma matriz micrítica onde a maioria dos grãos observados são bioclastos constituídos de carapaças de ostracodes.	Matriz Micrítica	Frouxo	Carbonato representado por grande massa vermelha.	Intergranular
	JB-4	Calcário maciço	Rocha composta por uma matriz micrítica e grãos de dolomita onde a maioria dos grãos não se tocam. Observou-se a rara presença de grãos de quartzo			Os grãos de quartzo são azul escuro a marrom.	

Cs	JB-1	Calcário com siliciclásticos	Rocha composta por uma matriz micrítica, com grãos de quartzo subarredondados a subangulosos, muitos com extinção ondulante. A maioria dos grãos de quartzo não se toca e é monocristalino (Aprox. 95%). Observou-se ainda feldspatos e muscovita.	Predomina matriz micrítica	Frouxo	Feldspatos apresentam coloração azul mais clara e brilhante.	Intergranular
	JB-2	Calcário com siliciclásticos orientados				Os grãos de quartzo apresentam uma coloração azul escuro a marrom e as vezes verde. Os feldspatos apresentam coloração azul mais clara e brilhante.	
CI	JB-6	Calcário laminado/mudstone/calculutito	Rocha composta por uma matriz micrítica, finamente laminada. Apresenta microconcreções (efeitos diagenéticos) que podem ser a causa das ondulações nas lâminas.	Matriz Micrítica	Frouxo	Carbonato representado por grande massa vermelha. Pontos marrons no topo da lâmina podem indicar presença de ferro inibindo a luminescência.	Intergranular

**APÊNDICE D - ANÁLISE MICROSCÓPICA DAS AMOSTRAS DA ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES LACUSTRE TERRÍGENA (AFLT)
ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES LACUSTRE CARBONÁTICA (AFLC) OBTIDAS ATRAVÉS DO POÇO ESTRATIGRÁFICO 2-TN-ST-3A-BA
– SERRA DO TONÃ, SUB-BACIA DE TUCANO NORTE.**

Fácies	Lâmina	Generalidades	Arcabouço	Matriz/Cimento	Empacotamento	Catodoluminescência	Porosidade
Aoa	L-10	Arenito Fino	Rocha composta por grãos de quartzo subarredondados a subangulosos, muitos com extinção ondulante. A maioria dos grãos não se tocam. Grande maioria dos grãos de quartzo são monocristalinos (~95%). A amostra se apresenta argilosa (argila de infiltração) e com cimento de óxido de ferro. São observados ainda feldspatos e muscovita e biotita bem preservada.	Cimento de óxido/hidróxido de ferro e argila de infiltração.	Frouxo	Quartzo (azul escuro a marro, às vezes verde). Feldspato (Azul claro brilhante). Os pontos verdes podem indicar quartzo metamórfico.	Intergranular
	L-11					Quartzo (azul escuro a marro, às vezes verde. Feldspato (Azul claro brilhante). Os pontos verdes podem indicar fosfato ou quartzo metamórfico. Os pontos vermelhos indicam a presença de cimento carbonático	
	L-12						
Acc	L-1	Arenito calcífero	Rocha composta por grãos de quartzo subarredondados a subangulosos, poucos com extinção ondulante, dispersos em um cimento carbonático. Grande maioria dos grãos são monocristalinos (~95%). São observados ainda feldspatos e muscovitas e biotitas.	Cimento Carbonático e óxido/hidróxido de ferro.	Frouxo	Cimento Carbonático (coloração Vermelha) e cimento de óxido de ferro.	Intergranular

	L-9	Arenito calcífero	Rocha composta por grãos de quartzo subarredondado a subangulosos, muitos com extinção ondulante. Grande maioria dos grãos de quartzo são monocristalinos (~95%). Predomina o contato tangencial entre os grãos. Presença de feldspato e micas, sendo o último bem preservado. A amostra apresenta uma matriz carbonática.	Micrítica e cimento de óxido/hidróxido de ferro		Quartzo (azul escuro a marro, às vezes verde. Feldspato (Azul claro brilhante). Matriz Carbonática (Vermelha). Cimento de Óxido de Ferro.	
Cs	L-2	Calcário com siliciclásticos	Rocha composta por uma matriz carbonática, com presença de laminação por parte dos minerais siliciclásticos. Os grãos siliciclásticos são constituídos predominantemente por muscovita, biotita e quartzo. Apresenta ainda pirita e cimento de óxido de ferro.	Micrítica	Frouxo	Carbonato representado por grande massa vermelha. Pontos marrons podem indicar presença de ferro inibindo a luminescência.	Intergranular e vulgar
	L-3	Calcário com siliciclásticos	Rocha composta por uma matriz carbonática micrítica com grãos de quartzo subangulosos muscovita e biotita. A maioria dos contatos são do tipo tangencial. Apresenta fraturas preenchidas por óxido/hidróxido de ferro. Apresenta fraturas horizontais preenchidas por óxido de ferro.				Fratura, intergranular e vulgar

Cp	L-4	Calcário com peloides e ostracodes.	Calcário laminado com peloides e ostracodes, matriz carbonática (calcita micrítica, massa de coloração amarronzada e um pouco de calcita espática de cor branca). Observa-se presença de pirita e cimento de óxido de ferro.	Micrítica	Frouxo	Matriz micrítica (massa vermelha). Pirita e cimento de óxido de ferro (Preto).	Intergranular
Cl	L-7	Calcário laminado	Rocha carbonática que apresenta uma alternância de lâminas milimétricas claras e escuras. Presença de cristais de dolomita (cor branca) e alguns níveis escuros horizontais. Matéria orgânica substituída por pirita e passando para um estágio de oxidação (óxido/hidróxido de ferro)			Carbonato representado por grande massa vermelha. Pontos marrons podem indicar presença de ferro inibindo a luminescência. Observam-se níveis que apresentam coloração mais escura na CL, devido ao ferro ser inibidor da luminescência.	Intercristalina e intergranular
Cm	L-5	Calcário maciço com cristais de dolomita	Rocha composta por uma massa carbonática de coloração amarronzada e cristais de dolomita (pontos amarelos-claros). Calcilutito.	Micrítica	Frouxo	Pontos vermelhos-escuros representam a dolomita.	Intergranular
	L-6						
	L-8	Calcário maciço	Rocha composta por uma lama carbonática (calcita micrítica)				Intergranular e intragranular