



## **Relatório das Atividades de Construção e Resultados do Poço Estratigráfico PE-04**

**Empresa Consultora:** RJQ DOS SANTOS



**Contratante:** Braskem S/A – Unidade Maceió

**Responsável Técnico:** Ricardo José Queiroz dos Santos  
Geólogo – CREA 180064201-6

Maceió/AL, 12 de agosto de 2021

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. INFORMAÇÕES GERAIS DO POÇO</b>	<b>3</b>
2.1. Dados da Operação	3
2.2. Esquema Construtivo e Fases do Poço	11
2.2.1. Fase 17 ½" (17 ½" e Revestimento 13 3/8")	12
2.2.2. Fase 12 ¼" e Revestimento 9 5/8" (Primeira Fase)	12
2.2.3. Fase 8 ½" (Segunda Fase)	12
<b>3. MEDIDAS DE CONTROLE DE DESVIO</b>	<b>13</b>
<b>4. MUD LOGGING</b>	<b>15</b>
4.1. Fase 12 ¼"	15
4.2. Fase 8 ½"	16
<b>5. GEOLOGIA DA ÁREA DO POÇO PE-04</b>	<b>18</b>
5.1 Contexto Geotectônico	18
5.2 Litoestratigrafia	20
5.3 Geologia Interceptada	24
5.3.1 Grupo Barreiras	24
5.3.2 Formação Marituba	26
5.3.3 Formação Mosqueiro	29
5.3.4 Formação Marituba (2)	32
5.3.5 Formação Muribeca (Membro Ibura)	34
5.3.6 Formação Poção	38
5.3.7 Formação Maceió (Membro Tabuleiro dos Martins)	49
5.3.8 Formação Maceió (Evaporitos Paripueira)	52
5.3.9 Formação Maceió (Membro Ponta Verde)	59
<b>6. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E GEOMECÂNICA DOS TESTEMUNHOS</b>	<b>62</b>
6.1 RQD, Grau de Coesão e Fraturamento	62
6.2 Classificações Geomecânicas <i>RMR</i> e <i>Q System</i>	64
6.3 Ensaio de Micro-fraturamento Hidráulico	68
6.3.1 Metodologia	69
6.3.2 Ensaio no PE-04	71
6.3.3 Ensaio Geomecânicos em Laboratório	74

<b>7. PERFILAGENS INTERMEDIÁRIAS</b>	<b>76</b>
7.1. Integração das informações das perfilagens	77
7.2. Características das unidades geológicas	77
7.3. Medidas do Acamamento (S0).	91
7.4. Fraturas Resistivas e Condutivas	101
7.5. Características das Micro-fraturas	104
7.6. Fraturas Induzidas pela operação	105
7.7. ZVSP ( <i>Zero Vertical Seismic Profile</i> )	106
7.7.1. Objetivos	107
7.7.2. Unidades e Convenções de Polaridade	107
7.7.3. Equipamento Utilizado	108
7.7.4. Parâmetros da Aquisição Sísmica	108
7.7.5. Processamento do ZVSP	109
7.7.6. Cadeia de Processamento do ZVSP	111
7.7.7. Tie-in	113
7.7.8. Tie-in com Poços Vizinhos	115
7.7.9. Conclusões	116
<b>8. ESTUDOS EM ANDAMENTO</b>	<b>117</b>
8.1. Ensaio Geomecânicos	117
8.2. Petrografia	118
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>119</b>

## FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa de localização do Poço Estratigráfico PE-04, Maceió (AL).....	1
<b>Figura 2</b> – Gráfico de evolução da operação do Poço Estratigráfico PE-04. ....	10
<b>Figura 3</b> – Esquema construtivo do poço PE-04.....	11
<b>Figura 4</b> – Projeção horizontal do Poço Estratigráfico PE-04, evidenciando a geologia interceptada e a trajetória em relação as cavidades M17 e M16. © Seequent Limited, a Bentley Company. ....	13
<b>Figura 5</b> – Projeção vertical do Poço Estratigráfico PE-04, evidenciando a geologia interceptada e a trajetória em relação as cavidades M17 e M16, com respectivos afastamentos de 49,754 m e 39,10 m. © Seequent Limited, a Bentley Company.....	14
<b>Figura 6</b> – Seção geológica transversal da bacia de Sergipe-Alagoas no Estado de Alagoas (Campos Neto et al., 2007). ....	18
<b>Figura 7</b> - Evolução do conhecimento litoestratigráfico da Bacia de Sergipe-Alagoas com ênfase para a “Série Alagoas”, em destaque cinza (adaptado, em parte, de Schaller, 1970). (Retirada de Souza-Lima et al. 2019). ....	22
<b>Figura 8</b> - Carta Cronoestratigráfica da Sub-Bacia Alagoas proposta por Campos Neto et al. 2007.....	23
<b>Figura 9</b> - (A) Registro fotográfico padrão dos testemunhos prontos para armazenamento, após descrição geológica (caixas e profundidades indicadas) e (B) Aspecto frágil, inconsolidado, dos sedimentos constituintes do Grupo Barreiras. ....	25
<b>Figura 10</b> - (C) Arenito fino, friável com tons amarelados na profundidade 35,50 m e (D) Arenito com granulação grossa e aspecto saprolitizado, característico do Grupo Barreiras na profundidade 41,50 m.....	25
<b>Figura 11</b> - (A) Zona de contato entre sedimentos arenosos do Grupo Barreiras (amarelado) com sedimentos siltico arenosos da Fm. Marituba (negro); (B) detalhe do contato da fotografia anterior, entre as unidades Barreiras e Marituba; (C) Intervalo centimétrico de arenito conglomerático na Fm. Marituba (setas em vermelho), e; (D) fragmentos de arenito negro (seta amarela) em meio a arenitos finos a médios na Fm. Marituba (115,55 m).....	27
<b>Figura 12</b> - (A) Plano de fratura com estriaes em marga “chocolate” (168,00 m); (B) Calcarenito intensamente fraturado (170,50 m); (C) Contato calcilutito cinza escuro esverdeado e calcarenito cinza claro (177,47 m), e; (D) Intercalação de calcilutito cinza esverdeado e em meio a camada de calcarenito (188,92 m).....	30
<b>Figura 13</b> - (A) Calcarenito/Calcário com intercalações de margas esverdeadas (201,64 m); (B) Argilito cinza escuro/esverdeado com nódulos milimétricos de calcário (204,92 m); (C) fóssil de molusco bivalve, em meio a calcarenito cinza fino a grosso inconsolidado (227,75 m), e; (D) Arenito muito fino a fino, com matriz quartzosa, bem selecionado, com grãos subarredondados (259,76 m).....	31
<b>Figura 14</b> - (A) Intervalo 279,57 m até 284,65 m mostrando o aspecto inconsolidado dos intervalos arenosos; (B) Aspecto do arenito/areia inconsolidado (260,66 m); (C) Nível sulfetado em meio a calcarenitos (303,40 m), e; (D) Manobra TEST 91 (intervalo de 297,40 m até 303,40 m), mostrando testemunho com passagens de arenitos e calcarenitos, consolidadas a semi-consolidadas.....	33



- Figura 15** - (A) Calcarenito fossilífero (seta) fraturado (306,60 m); (B) Estruturas *sin*-sedimentares (microlaminações e microdobras) em argilito calcífero com  $S_0$  sublinhado por “linhas” de calcarenito; (C) Estruturas *sin*-sedimentares na forma de micro-falhas (intervalo 321-327 m), e; (D) Cavidade preenchida por cristais de calcita do tipo dente de cão” (322,70 m). ..... 35
- Figura 16** - (A) Sistema de fraturas entre 313,76 m e 314,09 m desenvolvidos em calcilutitos, e; (B) Plano de fratura/espelho desenvolvido em marga com presença de indicadores cinemáticos (estrias e *steps*) em 316,96 m. .... 36
- Figura 17** - Testemunhos pertencentes a Formação Muribeca (Membro Ibura): (A) Calcário laminado com feições de dissolução (336,44 m); (B) Calcilutito laminado com níveis milimétricos carbonáticos marcando o  $S_0$ , com inclinação de 42° em relação ao eixo do testemunho (343,99 m); (C) Plano de fratura em calcilutito exibindo feições de *slump* micro dobrado (350,15 m), e; (D) Calcarenito maciço (354,50 m). ..... 37
- Figura 18** - Testemunhos pertencentes a Formação Poção: (A) Arenito cinza escuro, carbonático, friável (375,95 m), e; (B) Arenito conglomerático (Para-conglomerado) cinza claro, formado por grânulos de quartzo e litoclastos de rocha máfica (407,73 m); (C) Arenito conglomerático com coquina (415,35 m). (D) Contato entre arenito cinza escuro com calcarenito bege (384,05 m). .... 39
- Figura 19** - Testemunhos pertencentes a Formação Poção: (A) Siltito cinza-esverdeado com intercalação de calcilutito (395,50 m); (B) Intercalações de folhelho (cinza escuro) com calcilutito e calcarenitos (cinza claro), com  $S_0$  marcante (444,50 m); (C) Siltito com intercalação de arenitos exibindo estratificações cruzadas de pequeno porte (499,35 m), e; (D) Intercalação de folhelho com arenito mostrando fragmentos de matéria orgânica (512,85 m). ..... 43
- Figura 20** - Testemunhos pertencentes a Formação Poção: (A) Intercalações de arenito com folhelho e calcarenito (579,93 m); (B) estruturas de escorregamento em folhelho com intercalações de calcarenito e argilito (607,15 m); (C) Intercalações de siltito, calcarenitos e argilitos, estes exibindo maior desgaste no testemunho (696,50 m). ..... 45
- Figura 21** - (A) Conglomerado composto por blocos de granito/granodiorito arredondados (454,63 m); (B) Ortoconglomerado exibindo litoclastos subarredondados formando o arcabouço da rocha (462,10 m); (C) Paraconglomerado com arcabouço de arenitos e litoclastos dispersos (473,60 m); (D) Ortoconglomerados típico formados por litoclastos de granito/granodiorito arredondados e fraturados (481,92 m). ..... 47
- Figura 22** - (A) Testemunho típico do Membro Tabuleiro dos Martins, exibindo  $S_0$  marcante e penetrativo, com estruturas *sin*-sedimentares de *slump* (768,25 m); (B) Intervalo de 769,50 m até 772,08 m exibindo interdigitação de arenito conglomerático e conglomerado da Formação Poção; (C) Brecha sedimentar caracterizada por clastos de calcário (CAL) cimentados por folhelho (FLH) preto (812,20 m), e; (D) Detalhe da ocorrência de fósseis em meio a camada de calcário (837,74 m). ..... 50
- Figura 23** - Gráfico com as porcentagens das fácies descritas do total testemunhado dos Evaporitos Paripueira. .... 53
- Figura 24** - (A) Intervalo de 913,60 m até 916,44 m exibindo o topo da camada de sal-gema com bandas alternadas nas cores cinza claro e escuro e amarelada; (B) Zona de contato entre “lente” de folhelho e argilito negro (FLH) em meio a camada de sal-gema (SAL) em 929,50 m;

(C) Intervalo de 937,68 m até 941,26 m exibindo aspecto da camada de sal-gema cinza amarelado; (D) Intervalo de 987,84 m até 991,13 m exibindo intercalações de folhelho (cinza-escuro) na camada de sal-gema.....	55
<b>Figura 25</b> - (A) Etapa de preparação dos testemunhos de sal-gema envolvendo limpeza do fluido de perfuração e aplicação da vaselina; (B) Detalhe do testemunho embalado em plástico filme; (C) Amostra parafinadas e embaladas com sacola de alumínio selada, e; (D) Detalhe das amostras preparadas com cera e embaladas com tubo de alumínio. ....	58
<b>Figura 26</b> - (A) Folhelho cinza escuro micáceo na profundidade 1209,85 m; (B) Camada de arenito apresentando inclusões de calcário na profundidade 1214,17 m; (C) Arenito fino de coloração cinza escuro na profundidade 1226,48 m; (D) Níveis centimétricos de argilito em arenito bege com inclusões de calcário. ....	60
<b>Figura 27</b> - Classes definidas para o sistema Q de Barton (adaptado de Grimstad e Barton, 2002, figura extraída do site NGI.NO). ....	65
<b>Figura 28</b> - Gráfico teórico de pressão versus tempo durante operação de ensaio de micro fraturamento. ....	68
<b>Figura 29</b> - Ferramenta MDT (Modular Formation Dynamics Tester) utilizada nos ensaios de micro fraturamento (Schlumberger, 2021). ....	68
<b>Figura 30</b> - Início de inflamento e injeção. ....	69
<b>Figura 31</b> - Breakdown e propagação da fratura. ....	70
<b>Figura 32</b> - Queda de pressão após cessar a injeção de fluido. ....	70
<b>Figura 33</b> - Reabertura de fraturamento, propagação e ciclos de queda de pressão. ....	71
<b>Figura 34</b> - Trecho selecionado na Fm. Poção para realização do ensaio de micro-fraturamento. A linha tracejada vermelha indica o intervalo escolhido dentro do perfil FMI. (Trecho sem fraturas interpretadas no FMI). ....	72
<b>Figura 35</b> - Foto dos testemunhos do trecho selecionado, arenito cinza com poucas fraturas horizontais, aparentemente induzidas pela operação e manuseio dos testemunhos. ....	72
<b>Figura 36</b> - Perfil de imagem FMI, pré e pós fraturamento. ....	73
<b>Figura 37</b> - Comparação do Caliper pré e pós fraturamento. ....	74
<b>Figura 38</b> - Dados estatísticos do controle de qualidade da imagem FMI. ....	76
<b>Figura 39</b> - Cabeçalho dos perfis integrados utilizados na caracterização das unidades geológicas atravessadas pelo poço estratigráfico PE-04. ....	77
<b>Figura 40</b> - Perfil Geológico-Geofísico, integrando informações da estratigrafia, Caliper, raios Gamma, resistividade, FMI e interpretação estrutural nas formações das fases rift (topo da Formação Poção), transicional (Formação Muribeca) e drift (unidades Mosqueiro, Marituba e Barreiras) interceptadas no poço PE-04. ....	78
<b>Figura 41</b> - Resultado da perfilagem + FMI em parte a Formação Marituba, exibindo acamamento com variações de azimuth. ....	80
<b>Figura 42</b> - Resultado da perfilagem + FMI em parte a Formação Mosqueiro, exibindo acamamento com variações de azimuth (A) e fraturas (B) condutivas de alto ângulo. ....	81
<b>Figura 43</b> - Resultado da perfilagem + FMI em parte a Formação Muribeca (Membro Ibura), exibindo acamamento sedimentar com deformação sin-sedimentar (A), fraturas resistivas (B) e condutivas (C). ....	82

<b>Figura 44</b> - Perfil integrado mostrando informações das unidades geológicas (Formação Poção e Maceió, Membro Tabuleiro dos Martins) com dados de Caliper, Raios Gamma, Resistividade, FMI e Dipmeter). .....	83
<b>Figura 45</b> - Perfil integrado mostrando com clareza depósitos de conglomerados (*) no perfil FMI da Formação Poção.....	84
<b>Figura 46</b> - Perfil integrado mostrando as 03 principais zonas com variação de azimuth e dip na Formação Poção.....	86
<b>Figura 47</b> - Perfil integrado na região da base da Formação Poção e topo da Formação Maceió, Membro Tabuleiro dos Martins. Destaca-se a mudança na direção do acamamento entre as formações, indo de predominantemente NE (Fm. Poção) e NW (Mb. Tabuleiro dos Martins). 87	
<b>Figura 48</b> - Perfil integrado na região da Formação Maceió, Membro Tabuleiro dos Martins. . 88	
<b>Figura 49</b> - Perfil integrado na região da Formação Maceió, Evaporitos Paripueira. ....	89
<b>Figura 50</b> - Perfil integrado na região da Formação Maceió, Membro Ponta Verde.....	90
<b>Figura 51</b> - Histograma de medidas do acamamento para as formações: (A) Barreiras, (B) Marituba; (C) Mosqueiro; (D) Muribeca; (E) Poção; (F) Maceió/Tabuleiro dos Martins; (G) Maceió/Evaporitos Paripueira, e; (H) Maceió/Ponta Verde. ....	92
<b>Figura 52</b> - Diagrama de pólos e rosetas para as medidas de acamamento das unidades Barreiras, Marituba e Muribeca (A e B) e Poção e Maceió (C e D). As unidades superficiais apresentam inclinação ao redor de 6,92° (A) e média das medidas de direção para o azimuth 291° (B), enquanto para as formações abaixo (Poção e Maceió) os mergulhos situam-se ao redor de 14,5° (C) e os azimuths médios em 315°. ....	93
<b>Figura 53</b> - Perfil Integrado para sedimentos do Grupo Barreiras, com indicação de S0 sub-horizontal (linhas verdes) e medidas com variações de azimuth tomadas a partir do FMI ( ). 94	
<b>Figura 54</b> - Perfil Integrado para sedimentos da Fm. Marituba, exibindo S0 sub-horizontal (linhas verdes e azuis) e variações de azimuth ( ). ....	95
<b>Figura 55</b> - Perfil Integrado para sedimentos da Fm. Mosqueiro, exibindo S0 sub-horizontal (linhas verdes e azuis) e variações de azimuth ( ). ....	96
<b>Figura 56</b> - Perfil Integrado para sedimentos da Fm. Muribeca, exibindo S0 sub-horizontal (linhas verdes e azuis) e variações de azimuth ( ). Também é possível no observar no FMI zona de fraturas com rejeito (círculo vermelho). ....	97
<b>Figura 57</b> - Perfil Integrado dos sedimentos da Fm Poção. (A) Horizonte conglomerático em destaque no perfil FMI, e; (B) S0 sub-horizontal (linhas verdes e azuis) e presença de fraturas. ....	98
<b>Figura 58</b> - Perfil Integrado para sedimentos do Mb Tabuleiro dos Martins, com S0 sub-horizontal (linhas verdes e azuis), com variações de azimuth ( ) e presença discreta de micro fraturas. ....	99
<b>Figura 59</b> - Perfil Integrado para sedimentos do Evaporitos Paripueira, exibindo S0 sub-horizontal (linhas verdes e azuis) e presença de fraturas.....	100
<b>Figura 60</b> - Perfil Integrado para sedimentos do Mb Ponta Verde, exibindo S0 sub-horizontal (linhas verdes e azuis) e presença de fraturas. ....	101
<b>Figura 61</b> - Diagramas estatísticos para fraturas resistivas: (A) Pólos, (B) Rosetas. ....	102
<b>Figura 62</b> - Diagramas estatísticos para fraturas condutivas: (A) Pólos, (B) Rosetas.....	102

<b>Figura 63</b> - Perfil integrado mostrando exemplos de fraturas resistivas (linhas em azul-claro).	103
<b>Figura 64</b> - Perfil integrado mostrando exemplos de fraturas condutivas (linhas em azul).....	104
<b>Figura 65</b> - Diagramas estatísticos para micro fraturas: (A) Pólos e (B) Rosetas. ....	105
<b>Figura 66</b> - Diagramas de rosetas para fraturas induzidas pela operação.....	105
<b>Figura 67</b> - Perfil integrado de sedimentos da Formação Muribeca mostrando fraturas induzidas pelo processo de recorte e testemunhagem (posição indicada pelas setas vermelhas).....	106
<b>Figura 68</b> - Convenções de polaridade da Schlumberger. ....	107
<b>Figura 69</b> - Equipamento de aquisição - Esquerda: Sensor VSI (Versatile Seismic Imager). - À direita: configuração do Air Gun. ....	108
<b>Figura 70</b> – Componentes stacks brutos do ZVSP.....	109
<b>Figura 71</b> – Componentes stacks brutos compilados do ZVSP. ....	110
<b>Figura 72</b> - Análise de Frequência ZVSP – Esquerda: Profundidade Vs Espectro de Frequência – Direita: Número de Ondas Vs Espectro de Frequência.....	110
<b>Figura 73</b> - Fluxograma de trabalho do processamento do ZVSP.....	111
<b>Figura 74</b> – Produtos ZVSP - <i>Tracks</i> da esquerda para a direita: Tempo escolhido, velocidades de intervalo de <i>VSP</i> , ondas ascendentes, <i>corridor stack</i> e sismograma sintético <i>BPF (Bandpass Filter)</i> -3-50Hz.....	113
<b>Figura 75</b> - Vista em seção: <i>corridor stack</i> e superfície sísmica deslocada 20 ms. ....	114
<b>Figura 76</b> – Vista em seção: Sismograma sintético BPF (Bandpass Filter) 3-50 Hz e sísmica de superfície deslocada 20 ms. ....	115
<b>Figura 77</b> – Vista em seção: <i>corridors stack</i> para os poços PE-04 e MINA-02AD e sísmica de superfície 390-0118_MigPre deslocado 20ms.....	116

## TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Informações de avanço e recuperação por formação geológica durante a execução do Poço Estratigráfico PE-04. ....	3
<b>Tabela 2</b> - Dados da operação da sondagem do Poço Estratigráfico PE-04.....	4
<b>Tabela 3</b> - Fácies dos Evaporitos Paripueira em profundidade.....	53
<b>Tabela 4</b> - Fácies dos Evaporitos Paripueira em profundidade (continuação). ....	54
<b>Tabela 5</b> - Classificação de qualidade da rocha de acordo com percentual do RQD.....	63
<b>Tabela 6</b> - Classes de coerência, conforme a IN-02/94.....	63
<b>Tabela 7</b> - Classes de fraturamento, conforme a IN-02/94.....	63
<b>Tabela 8</b> – Classificação de maciços rochosos pelo sistema RMR (adaptado de Bieniawski, 1989). ....	64
<b>Tabela 9</b> - Tabela de classificação geotécnica e geomecânica do PE04.....	66
<b>Tabela 10</b> - Estações de ensaio de micro fraturamento hidráulico. ....	71
<b>Tabela 11</b> - Classificação de intervalos de acordo com o dip e azimuth do acamamento. ....	85
<b>Tabela 12:</b> Cronograma de conclusão dos ensaios geomecânicos.....	118

## Lista de Anexos

Anexo 1 - Relatório Operacional Geoservices (2021)

Anexo 2 - Relatório Gyrodata (2021)

Anexo 3 – Fichas de Descrição dos Testemunhos

Anexo 4 - Fotografias dos Testemunhos

Anexo 5 - Perfilagens Geofísicas

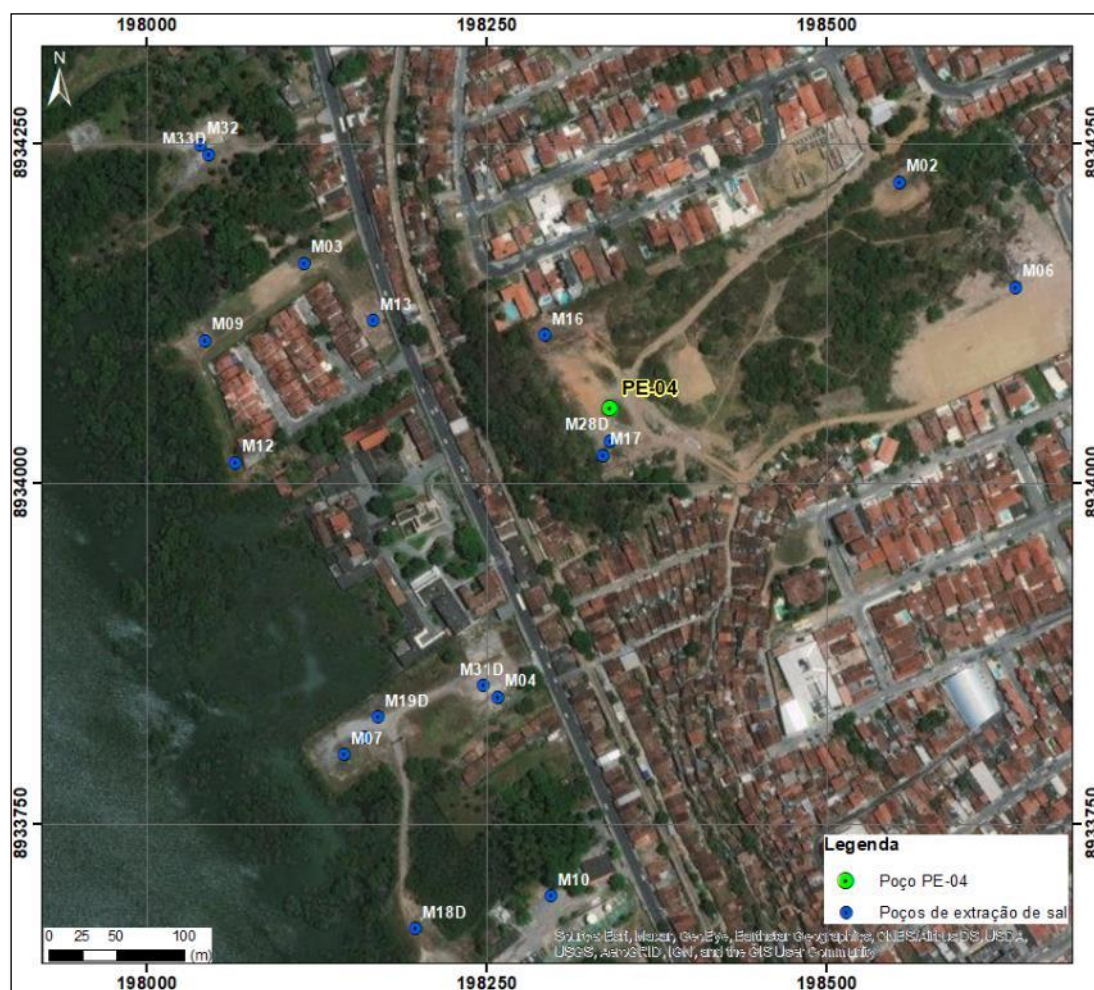
Anexo 6 – Ensaios Geomecânicos



## 1. INTRODUÇÃO

O programa de perfuração do Poço Estratigráfico PE-04 desenvolvido pela Braskem S/A, foi realizado visando atender o ofício nº28 de 11/11/2019 da ANM (Agência Nacional de Mineração) e teve como objetivo buscar o conhecimento de parte da coluna litoestratigráfica da bacia sedimentar, na região dos poços de extração de sal-gema, se estendendo até a base da camada evaporítica (aproximadamente 1300 m). O poço está localizado nas coordenadas Lat. 9°37'55.428" S/ Long. 35°44'54.930" W ou UTM 25S (SIRGAS 2000) 8.934.056 m N / 198.342 m E. na cota de 30m. A localização do poço pode ser visualizada na **Figura 01**.

Foram desenvolvidos estudos nos testemunhos coletados, tais como: descrição geológica e geotécnica, estudos petrofísicos além de ensaios geomecânicos e análise petrográfica das principais unidades geológicas interceptadas que estão em andamento na presente data.



**Figura 1** - Mapa de localização do Poço Estratigráfico PE-04, Maceió (AL).

As descrições das unidades litológicas, contendo as suas características mineralógicas e estruturais estão contidas no **item 5.0.** e no **Anexo 3** Já as descrições geotécnicas apresentam-se descritas em detalhe no **item 6.0 e o Anexo 4.**

Também foram realizadas as seguintes perfilagens: Sônico Digital, Neutrão, Densidade, Potencial Espontâneo, *Dipmeter*, *Caliper*, Perfil de Imagem orientado e Raios *Gamma*. Os resultados estão contidos no **item 7.0** deste relatório.

## 2. INFORMAÇÕES GERAIS DO POÇO

### 2.1. Dados da Operação

A operação de perfuração foi iniciada em 24/07/2020, com recorte até 34,50 m para instalação de pré-poço com tubo condutor. A perfuração e testemunhagem ocorreram no intervalo de 34,50 m e se estenderam até 1.236,19 m, totalizando 1.201,69 m de avanço com 1.032,92 m de recuperação (ou seja, 85,96%). Após a conclusão da perfuração foram realizadas medidas de desvio do poço, perfilagens, descida de revestimento, cimentação e tamponamento.

Durante o desenvolvimento do Poço Estratigráfico PE-04 foram penetradas as unidades geológicas que compõem a litoestratigrafia da região da Mina de sal-gema da Braskem, cujos resultados encontram-se resumidos na **Tabela 1**. As denominações das unidades estratigráficas foram baseadas em Souza-Lima et al., 2019.

Geologia		Profundidade (m)		Avanço (m)	Rec (m)	Rec (%)
Formação/Grupo	Membro	de	até			
Barreiras		34.50	88.75	54.25	25.97	47.87%
Marituba		88.75	161.71	72.96	51.59	70.71%
Mosqueiro		161.71	256.65	94.94	81.21	85.54%
Marituba (2)		256.65	303.27	46.62	39.00	83.66%
Muribeca	Ibura	303.27	376.55	73.28	66.30	90.47%
Poção		376.55	748.13	371.58	348.43	93.77%
Maceió	Tabuleiro dos Martins	748.13	913.60	165.47	160.75	97.15%
Maceió	Evaporitos Paripueira	913.60	1208.97	295.37	236.57	80.09%
Maceió	Ponta Verde	1208.97	1236.19	27.22	23.10	84.86%

**Tabela 1** - Informações de avanço e recuperação por formação geológica durante a execução do Poço Estratigráfico PE-04.

De acordo com as características litológicas das unidades, os parâmetros da perfuração foram ajustados manobra a manobra, promovendo atrasos no avanço da perfuração. De maneira geral, para os intervalos mais friáveis adotou-se vazões mais baixas, pressão de fundo ligeiramente maior além do aumento da viscosidade da lama de perfuração.

Todos os detalhes dos parâmetros utilizados, bem como as informações de avanço e recuperação de cada manobra, podem ser visualizados na **Tabela 02**.

As características da lama de perfuração utilizada durante a execução da testemunhagem podem ser visualizadas no **Anexo 1** (Geoservices, 2021).



Data	Manobra	Profundidade (m)		Avanço	Rec	(%)	Peso (ton)	RPM	Vazão (gpm)	Pressão (Fundo)
		de	até							
24/7	TEST 01	34,50	37,50	3,00	1,83	61,00	1	50	95	27
	TEST 02	37,50	40,50	3,00	1,22	40,67	1	50	95	24
	TEST 03	40,50	43,50	3,00	1,75	58,33	1	60	95	29
	TEST 04	43,50	44,80	1,30	0,90	69,23	2	65	56	20
25/7	TEST 05	44,80	45,60	0,80	0,15	18,75	1	50	95	27
	TEST 06	45,60	47,70	2,10	1,77	84,29	1	50	95	24
	TEST 07	47,70	50,70	3,00	0,33	11,00	1	60	95	29
	TEST 08	50,70	53,70	3,00	0,08	2,67	4	70	128	30
	TEST 09	53,70	55,20	1,50	0,00	0,00	1	65	95	30
26/7	TEST 10	55,20	56,00	0,82	0,40	48,78	1	50	47	25
	TEST 11	56,00	56,30	0,28	0,00	0,00	1 a 2	40 a 50	56	30
	TEST 12	56,30	57,80	1,50	0,90	60,00	1	50	42	39 a 80
27/7	TEST 13	57,80	59,46	1,66	0,65	39,16	1 a 1,5	50	42	35 a 55
	TEST 14	59,46	61,72	2,26	2,20	97,35	0,5 a 0,8	50	50	27 a 46
	TEST 15	61,72	64,72	3,00	3,00	100,00	0,8	50	50	27 a 50
28/7	TEST 16	64,72	68,72	4,00	3,37	84,25	0,8	50	50	18 a 36
	TEST 17	68,72	70,72	2,00	0,77	38,50	0,5	50	55	27 a 45
	TEST 18	70,72	75,72	5,00	2,40	48,00	0,5 a 1,5	50	55	30 a 90
	TEST 19	75,72	79,07	3,35	1,77	52,84	0,5 a 1,5	50	55	30 a 90
29/7	TEST 20	79,07	85,07	6,00	1,06	17,67	0,8	50	63	37 a 46
	TEST 21	85,07	87,25	2,18	0,12	5,50	0,5	50	50	32
	TEST 22	87,25	88,75	1,50	0,44	29,33	1 a 2	40	42	37 a 69
	TEST 23	88,75	90,35	1,60	0,72	45,00	1 a 2	50	129	47 a 78
30/7	TEST 24	90,35	91,55	1,20	0,96	80,00	1	70	128	38
	TEST 25	91,55	93,55	2,00	1,36	68,00	2 a 5	70	130	70 a 113
	TEST 26	93,55	94,88	1,33	0,00	0,00	1 a 3	70	129	57 a 125
	TEST 27	94,88	97,00	2,12	0,00	0,00	2	70	128	150
31/7	TEST 28	97,00	98,50	1,50	0,16	10,67	0,5 a 1,0	50	42	42
1/8	TEST 29	98,50	99,50	1,00	0,00	0,00	1	60	25	38
	TEST 30	99,50	101,50	2,00	0,42	21,00	4 a 5	60	50	46
2/8	TEST31	101,50	105,70	4,20	0,34	8,10	4 a 6	70	128	160
3/8	TEST32	105,70	107,70	2,00	1,82	91,00	0,5 a 2	50	42	50
4/8	TEST33	107,70	110,70	3,00	2,01	67,00	0,5 a 1,5	50	42	50 a 55
	TEST34	110,70	113,36	2,66	1,17	43,98	1 a 1,5	50	42	64
	TEST35	113,36	115,45	2,09	0,50	23,92	0,5 a 1,5	50	42	46 a 60
	TEST36	115,45	117,45	2,00	0,00	0,00	0,5 a 1,0	50	50	60
5/8	TEST37	117,45	118,95	1,50	1,40	93,33	0,5 a 2	50	25 a 33	52 a 70
	TEST38	118,95	120,45	1,50	1,50	100,00	0,5 a 2,5	50	25	50 a 60
6/8	TEST39	120,45	121,95	1,50	1,50	100,00	0,5 a 2,5	50	25	23-87
	TEST40	121,95	123,55	1,60	1,60	100,00	0,5 a 2,5	50	25	40-53
7/8	TEST41	123,55	124,55	1,00	0,89	89,00	0,5 a 2	50	25 e 33	69 a 73
	TEST42	124,55	126,55	2,00	1,86	93,00	0,5 a 2,5	50	25 e 33	60 a 72
8/8	TEST43	126,55	128,55	2,00	1,59	79,50	0,5 a 2,5	50	25 e 33	60 a 108
	TEST44	128,55	130,55	2,00	0,51	25,50	0,5 a 2,5	50	33	69 a 79
9/8	TEST45	130,55	131,55	1,00	1,00	100,00	0,5 a 2,6	50	55 a 25	69
	TEST46	131,55	133,05	1,50	1,50	100,00	0,5 a 2,5	60	42 a 55	45 a 71
	TEST47	133,05	135,05	2,00	1,96	98,00	0,5 a 2,5	60	42 a 60	44
10/8	TEST48	135,05	137,05	2,00	2,00	100,00	0,5 a 4,0	60	60	78 a 60
	TEST49	137,05	139,30	2,25	2,03	90,22	0,5 a 3,0	60	42 a 25	78 a 60
14/8	TEST50	139,30	141,80	2,50	2,48	99,20	0,5 a 4,0	60	60 a 25	108 a 128
15/8	TEST51	141,80	144,80	3,00	2,50	83,33	0,5 a 4,0	60	60 a 25	119
	TEST52	144,80	146,80	2,00	1,30	65,00	0,5 a 3,0	50	25	70
	TEST53	146,80	148,80	2,00	0,69	34,50	0,5 a 1,5	50	25	78 a 92
16/8	TEST54	148,80	150,30	1,50	1,46	97,33	0,5 a 4,0	50	25	90
	TEST55	150,30	151,80	1,50	1,50	100,00	0,5 a 4,0	50	25	80 a 90
17/8	TEST56	151,80	153,30	1,50	1,23	82,00	0,5 a 4,0	60	25	90 a 100
	TEST57	153,30	154,80	1,50	1,50	100,00	0,5 a 4,0	60	25	80 a 90
	TEST58	154,80	156,40	1,60	1,60	100,00	0,5 a 5	60	25	93
18/8	TEST59	156,40	158,90	2,50	2,47	98,80	0,5 a 4,0	60	25	93
	TEST60	158,90	161,90	3,00	3,00	100,00	0,5 a 5	60	25	40 a 110
19/8	TEST61	161,90	164,90	3,00	2,85	95,00	0,5 a 5	60	25	70 a 83
	TEST62	164,90	168,90	4,00	4,00	100,00	0,5 a 4,0	60	25 a 42	82 a 128
	TEST63	168,90	171,35	2,45	2,29	93,47	0,5 a 5	60	34 a 42	73 a 105
20/8	TEST64	171,35	177,35	6,00	4,46	74,33	0,5 a 5	50 a 60	42	50 a 92
21/8	TEST65	177,35	181,35	4,00	4,00	100,00	0,5 a 6	60	25 a 42	69 a 87
	TEST66	181,35	183,55	2,20	2,00	90,91	0,5 a 5	60	42 a 25	32 a 120
22/8	TEST67	183,55	189,55	6,00	5,87	97,83	0,5 a 6	60	25 a 33	52 a 58
	TEST68	189,55	195,55	6,00	5,75	95,83	0,5 a 5	60	25	70 a 130

Tabela 2 - Dados da operação da sondagem do Poço Estratigráfico PE-04.

Data	Manobra	Profundidade (m)		Avanço	Rec	(%)	Peso (ton)	RPM	Vazão (gpm)	Pressão (Fundo)
		de	até							
23/8	TEST 69	195,55	201,55	6,00	5,90	98,33	0,5 a 6	60	42 a 25	82 a 133
24/8	TEST 70	201,55	210,55	9,00	6,53	72,56	0,5 a 8	60	42 a 64	90 a 230
25/8	TEST 71	210,55	216,55	6,00	5,90	98,33	0,5 a 4,0	60	168 / 25	180 a 193
	TEST 72	216,55	216,95	0,40	0,17	42,50	0,5 a 1,5	60	180	190 a 220
26/8	TEST 73	216,95	223,95	7,00	5,79	82,71	0,5 a 5	60	180	230 a 240
27/8	TEST 74	223,95	227,75	3,80	3,80	100,00	0,5 a 1,5	65	197	180 a 211
	TEST 75	227,75	229,15	1,40	1,40	100,00	0,5 a 2,5	60	168	133 a 146
28/8	TEST 76	229,15	235,65	6,50	5,57	85,69	0,5 a 2,5	65	180	200
29/8	TEST 77	235,65	244,65	9,00	8,83	98,11	0,5 a 2,5	65	180	195 a 238
30/8	TEST 78	244,65	256,65	12,00	8,94	74,50	0,5 A 3,5	65	180	240 a 288
	TEST 79	256,65	260,65	4,00	2,77	69,25	0,5 a 2	65	42 a 180	237 240
31/8	TEST 80	260,65	261,65	1,00	0,50	50,00	0,5 a 2	65	42 a 180	105 a 384
1/9	TEST 81	261,65	264,15	2,50	1,79	71,60	0,5 a 2	65	84 a 180	114 a 210
	TEST 82	264,15	265,65	1,50	0,75	50,00	0,5 a 4	50	25	140 a 220
2/9	TEST 83	265,65	267,15	1,50	1,50	100,00	0,5 a 4	65	25	78
	TEST 84	267,15	268,65	1,50	1,50	100,00	0,5 a 3	60	25	77 a 120
3/9	TEST 85	268,65	272,65	4,00	4,00	100,00		65	25 a 84	80 a 140
	TEST 86	272,65	278,65	6,00	5,95	99,17	0,5 a 2,5	65	25 a 42	51a 60
4/9	TEST 87	278,65	284,65	6,00	4,83	80,50	0,5 a 2	65	25	70 a 94
	TEST 88	284,65	290,50	5,85	4,63	79,15	0,5 a 1,5	65	25	55
5/9	TEST 89	290,50	295,50	5,00	4,94	98,80	0,5 a 2,5	65	25	64 a 98
	TEST 90	295,50	297,40	1,90	1,64	86,32	0,5	65	25	82 a 100
6/9	TEST 91	297,40	303,40	6,00	4,75	79,17	0,5	65	25	82 a 100
7/9	TEST 92	303,40	305,40	2,00	0,85	42,50	0,5	50	84 a 126	92 a 136
	TEST 93	305,40	307,90	2,50	0,73	29,20	0,5 a 5	40 a 65	42 a 126	128 a 193
8/9	TEST 94	307,90	309,40	1,50	1,50	100,00	0,5 a 5	40 a 65	43 a 126	129 a 193
9/9	TEST 95	309,40	312,40	3,00	2,80	93,33	0,5 a 2,5	65	180	120
10/9	TEST 96	312,40	315,40	3,00	2,30	76,67	0,5 a 3	65	180	138 a 169
	TEST 97	315,40	318,80	3,40	2,57	75,59	0,5 a 2	65	180 a 200	180
11/9	TEST 98	318,80	321,30	2,50	1,76	70,40	0,5 a 4	70	200	200
12/9	TEST 99	321,30	327,30	6,00	5,92	98,67	0,5 a 2	70	220	148 a 170
13/9	TEST 100	327,30	336,30	9,00	3,66	40,67	0,5 a 4,0	70 a 80	160 a 220	165
14/9	TEST 101	336,30	337,40	1,10	1,06	96,36	0,5 a 2,5	70	220	142 a 172
	TEST 102	337,40	338,94	1,54	1,03	66,88	0,5 a 2,5	70 a 80	200 a 160	130 a 193
15/9	TEST 103	338,94	342,09	3,15	3,15	100,00	0,5 a 1,5	60	220 a 180	160 a 125
	TEST 104	342,09	343,59	1,50	0,37	24,67	0,5 a 2	60	220 a 130	159 a 76
16/9	TEST 105	343,59	345,59	2,00	2,00	100,00	0,5 a 1,5	60	135	96
	TEST 106	345,59	349,59	4,00	4,00	100,00	0,5 a 1,5	60	135	83 a 100
17/9	TEST 107	349,59	355,70	6,11	6,11	100,00	0,5 a 1,5	60	135	75 a 100
	TEST 108	355,70	361,70	6,00	5,85	97,50	0,5 a 4	60	134	90
18/9	TEST 109	361,70	367,70	6,00	6,00	100,00	0,5 a 4	60	133	96
	TEST 110	367,70	370,55	2,85	2,35	82,46	0,5 a 4	60	134	90 a 208
19/9	TEST 111	370,55	376,55	6,00	5,94	99,00	0,5 a 1	60	133	81 a 100
	TEST 112	376,55	380,55	4,00	3,86	96,50	0,5 a 2,5	60	142	142 a 170
20/9	TEST 113	380,55	386,55	6,00	6,00	100,00	0,5 a 3	60	145	90 a 135
	TEST 114	386,55	391,65	5,10	5,10	100,00	0,5 a 4	60	145 a 132	100 a 195
21/9	TEST 115	391,65	395,73	4,08	4,08	100,00	0,5 a 2,5	60	145 a 130	80 a 190
	TEST 116	395,73	401,73	6,00	5,65	94,17	0,5 a 4	60 a 70	145	85 a 140
22/9	TEST 117	401,73	407,73	6,00	5,88	98,00	0,5 a 1	60	145 a 130	76 a 140
	TEST 118	407,73	413,73	6,00	5,85	97,50	0,5 a 4	60 a 70	145	96 a 129
23/9	TEST 119	413,73	419,71	5,98	6,00	100,28	0,5 a 1,5	70	145	110
	TEST 120	419,71	428,85	9,14	9,12	99,81	0,5 a 1,5	70	145	110
9/10	TEST 121	428,85	434,00	5,15	5,15	100,00	0,5 a 4,0	60	133	99 a 140
10/10	TEST 122	434,00	444,60	10,60	10,53	99,34	0,5 a 4,0	70	145	114 a 150
	TEST 123	444,60	450,21	5,61	5,61	100,00	0,5 a 4,0	65	150	143 a 160
11/10	TEST 124	450,21	451,21	1,00	0,87	87,00	0,5 a 4,0	70	160	196 a 280
	TEST 125	451,21	456,32	5,11	4,14	81,02	0,5 a 6,0	50	200	230 a 300
12/10	TEST 126	456,32	456,86	0,54	0,52	96,30	0,5 a 9	60 a 90	160	196 a 220
13/10	TEST 127	456,86	459,86	3,00	2,86	95,33	0,5 a 9	60 a 90	163	78 a 230-90
14/10	TEST 128	459,86	462,04	2,18	2,18	100,00	0,5 a 9	60 a 90	180 a 200	78 a 230-90
15/10	TEST 129	462,04	463,98	1,94	1,94	100,00	0,5 a 4,0	60	200	270
16/10	TEST 130	463,98	468,36	4,38	4,38	100,00	0,5 a 4,0	60 a 90	200	250 a 300
	TEST 131	468,36	474,36	6,00	5,96	99,33	0,5 a 3	60	200	270
17/10	TEST 132	474,36	484,73	10,37	10,23	98,65	0,5 a 6,0	60 a 75	180 a 200	210 a 290
18/10	TEST 133	484,73	492,28	7,55	7,55	100,00	0,5 a 5	60 a 90	160 a 200	210 a 310
19/10	TEST 134	492,28	503,78	11,50	10,44	90,78	0,5 a 8,0	60 a 90	160 a 200	237 a 390
20/10	TEST 135	503,78	510,93	7,15	6,96	97,34	0,5 a 6,0	70 a 80	153 a 180	265 a 480
21/10	TEST 136	510,93	522,10	11,17	11,17	100,00	0,5 a 5,0	70 a 90	180	250 a 400

Tabela 2 – Dados da operação da sondagem do Poço Estratigráfico PE-04 (continuação...).

Data	Manobra	Profundidade (m)		Avanço	Rec	(%)	Peso (ton)	RPM	Vazão (gpm)	Pressão (Fundo)
		de	até							
22/10	TEST137	522,10	524,00	1,90	1,90	100,00	0,5 a 4,0	70 a 75	200	320 a 395
23/10	TEST138	524,00	524,67	0,67	0,67	100,00	0,5 a 4,0	70 a 75	180	250 a 400
	TEST139	524,67	527,24	2,57	0,57	22,18	0,5 a 5,0	60 a 90	200	230 a 460
24/10	TEST140	527,24	527,59	0,35	0,25	71,43	0,5 a 4,0	60	200	240 a 260
25/10	TEST141	527,59	528,95	1,36	1,36	100,00	0,5 a 4,0	60 a 80	200	290 a 310
	TEST142	528,95	530,50	1,55	1,36	87,74	0,5 a 3,5	60 a 70	140	215 a 230
26/10	TEST143	530,50	531,20	0,60	0,54	90,00	0,5 a 4,0	60 a 100	140 a 180	222 a 300
27/10	TEST144	531,20	532,37	1,17	1,17	100,00	0,5 a 2,0	62	140	235 a 350
28/10	TEST145	532,37	538,37	6,00	2,93	48,83	0,5 a 7,0	60 a 70	140 a 180	270 a 330
29/10	TEST146	538,37	544,37	6,00	3,30	55,00	0,5 a 3,0	60 a 70	135	200 a 240
	TEST147	544,37	547,37	3,00	2,88	96,00	0,5 a 2,0	50 a 60	42 a 168	150 a 200
30/10	TEST148	547,37	553,37	6,00	5,51	91,83	0,5 a 2,5	60	42 a 168	200 a 240
31/10	TEST149	553,37	565,37	12,00	12,00	100,00	0,5 a 2,0	60 a 70	42 a 168	206 a 350
1/11	TEST150	565,37	571,87	6,50	6,50	100,00	0,5 a 4,5	60 a 70	42 a 168	180 a 300
2/11	TEST151	571,87	582,17	10,30	9,95	96,60	0,5 a 4,0	60 a 70	84 a 126	195 a 330
	TEST152	582,17	583,05	0,88	0,87	98,86	0,5 a 9,0	70	84 a 168	240 a 340
3/11	TEST153	583,05	584,21	1,16	1,14	98,28	0,5 a 9	60 a 80	84 a 180	320 a 380
4/11	TEST154	584,21	587,21	3,00	1,20	40,00	0,5 a 10	50 a 60	84 a 160	210 a 315
5/11	TEST155	587,21	590,21	3,00	3,00	100,00	0,5 a 1,0	50	84	200 a 300
6/11	TEST156	590,21	593,21	3,00	3,00	100,00	0,5 a 1,0	60	42 a 160	128 a 165
	TEST157	593,21	594,21	1,00	1,00	100,00	0,5 a 9,0	60	42 a 84	210
7/11	TEST158	594,21	594,95	0,74	0,69	93,24	0,5 a 7,0	50 a 60	84 a 132	220 a 260
8/11	TEST159	594,95	595,50	0,55	0,55	100,00	0,5 a 3,0	50 a 70	42	160 a 180
9/11	TEST160	595,50	596,50	1,00	1,00	100,00	0,5 a 3	60 a 70	133 a 140	310 a 340
10/11	TEST161	596,50	597,50	1,00	1,00	100,00	0,5 a 8	50 a 70	131 a 140	320 a 360
	TEST162	597,50	598,70	1,20	1,14	95,00	0,5 a 9	60 a 70	133 a 150	280 a 600
11/11	TEST163	598,70	600,61	1,91	1,91	100,00	0,5 a 8	60 a 80	84	245 a 390
12/11	TEST164	600,61	602,61	2,00	2,00	100,00	0,5 a 6	50 a 90	84	253 a 300
13/11	TEST165	602,61	604,11	1,50	1,46	97,33	0,5 a 6	60 a 90	84 a 133	270 a 450
14/11	TEST166	604,11	605,01	0,90	0,90	100,00	0,5 a 8	60 a 120	84 a 133	240 a 400
15/11	TEST167	605,01	606,01	1,00	1,00	100,00	0,5 a 10	60 a 80	84 a 133	220 a 345
16/11	TEST168	606,01	607,56	1,55	1,55	100,00	0,5 a 8	60 a 80	84 a 133	240 a 330
17/11	TEST169	607,56	608,54	0,98	0,98	100,00	0,5 a 8	50 a 80	84 a 133	240 a 335
18/11	TEST170	608,54	609,44	0,90	0,90	100,00	0,5 a 11	60 a 90	133	370 a 425
22/11	TEST171	609,44	612,44	3,00	3,00	100,00	0,5 a 10	60 a 80	133	250 a 300
23/11	TEST172	612,44	613,68	1,24	1,24	100,00	0,5 a 8	60 a 80	84	140
24/11	TEST173	613,68	615,18	1,50	1,43	95,33	0,5 a 4,5	60 a 80	84 a 130	220
26/11	TEST174	615,18	616,68	1,50	1,50	100,00	0,5 a 4	60 a 70	42 a 84	130
27/11	TEST175	616,68	618,18	1,50	1,50	100,00	6 a 8	60 a 70	84	110 a 120
28/11	TEST176	618,18	621,18	3,00	3,00	100,00	0,5 a 9	60 a 80	84	140 a 150
29/11	TEST177	621,18	624,18	3,00	3,00	100,00	1 a 3	70 a 80	84	130 a 138
30/11	TEST178	624,18	628,84	4,66	3,80	81,55	0,5 a 5	80	84	137 a 170
1/12	TEST179	628,84	630,34	1,50	1,26	84,00	0,5 a 6,5	60 a 70	42	55 a 70
2/12	TEST180	630,34	635,00	4,66	4,66	100,00	4 a 6	70 a 80	84 a 133	128 a 170
3/12	TEST181	635,00	638,29	3,29	3,19	96,96	0,5 a 3,5	60 a 70	84	130
4/12	TEST182	638,29	644,25	5,96	5,96	100,0	4 a 5	80	42 a 84	105
5/12	TEST183	644,25	647,75	3,50	3,50	100,0	0,5 a 4	60	42 a 84	160
6/12	TEST184	647,75	650,75	3,00	1,20	40,0	0,5 a 4	60 a 80	84	130 a 150
	TEST185	650,75	652,25	1,50	1,36	90,7	0,5 a 9	60 a 80	84	150
7/12	TEST186	652,25	655,25	3,00	2,95	98,3	0,5 a 10	60 a 80	84 a 126	130 a 215
8/12	TEST187	655,25	658,75	3,50	3,43	98,0	0,5 a 9	60 a 80	84 a 132	150 a 205
9/12	TEST188	658,75	661,83	3,08	2,88	93,5	0,5 a 9	60 a 80	84 a 132	150 a 205
10/12	TEST189	661,83	667,83	6,00	6,00	100,0	0,5 a 10	60 a 70	84 a 105	140 a 180
11/12	TEST190	667,83	668,83	1,00	0,74	74,0	0,5 a 4	60 a 70	84	150
12/12	TEST191	668,83	671,83	3,00	2,70	90,0	0,5 a 3	60 a 70	84	140
	TEST192	671,83	674,83	3,00	2,93	97,7	0,5 a 2,5	60 a 70	84 a 105	140 a 240
13/12	TEST193	674,83	680,83	6,00	5,98	99,7	0,5 a 2,5	60 a 70	84 a 105	140 a 240
14/12	TEST194	680,83	686,83	6,00	6,00	100,0	0,5 a 1	60	84	130
15/12	TEST195	686,83	691,49	4,66	3,14	67,4	0,5 a 9	60 a 80	84 a 105	140
16/12	TEST196	691,49	693,49	2,00	2,00	100,0	4 a 6	60	105	170
17/12	TEST197	693,49	697,49	4,00	3,74	93,5	0,5 a 7	60	84-156-180	120 a 350
18/12	TEST198	697,49	698,62	1,13	0,74	65,5	3 a 5	60 a 70	156	230
19/12	TEST199	698,62	701,62	3,00	3,00	100,0	3 a 5	60 a 70	84	165 a 170
20/12	TEST200	701,62	704,62	3,00	3,00	100,0	0,5 a 3	60	84	150
21/12	TEST201	704,62	705,02	0,40	0,37	92,5	0,5 a 5	50 a 60	84	140
23/12	TEST202	705,02	706,08	1,06	0,84	79,2	0,5 a 5	50 a 60	133	213 a 230
24/12	TEST203	706,08	709,08	3,00	2,77	92,3	2 a 5	50 a 70	84	180
25/12	TEST204	709,08	714,08	5,00	4,91	98,2	1 a 3,5	70	132	310 a 330

Tabela 2 – Dados da operação da sondagem do Poço Estratigráfico PE-04 (continuação...).



Data	Manobra	Profundidade (m)		Avanço	Rec	(% )	Peso (ton)	RPM	Vazão (gpm)	Pressão (Fundo)
		de	até							
27/12	TEST205	714,08	720,08	6,00	6,00	100,0	1 a 3	60 a 70	84 a 133	190 a 315
28/12	TEST206	720,08	725,08	5,00	5,00	100,0	0,5 a 3,5	60 a 70	84 a 153	190 a 430
30/12	TEST207	725,08	726,08	1,00	0,84	84,0	0,5 a 3	60 a 70	84 a 105	156 a 170
31/12	TEST208	726,08	731,08	5,00	5,00	100,0	0,5 a 4	70	105 a 155	210 a 370
1/1	TEST209	731,08	740,08	9,00	8,59	95,4	0,5 a 3	60 a 80	84 a 150	240 a 560
3/1	TEST210	740,08	750,08	10,00	8,62	86,2	0,5 a 3	60 a 80	105 a 153	220 a 400
4/1	TEST211	750,08	752,08	2,00	2,00	100,0	0,5 a 2	60	84	145 a 250
5/1	TEST212	752,08	760,28	8,20	8,20	100,0	0,5 a 3	60 a 70	84 a 129	200 a 500
7/1	TEST213	760,28	764,28	4,00	4,00	100,0	1 a 2	60	126 a 150	380 a 500
8/1	TEST214	764,28	767,78	3,50	3,46	98,9	0,5 a 2	60	126	240 a 300
8/1	TEST215	767,78	770,45	2,67	2,60	97,4	0,5 a 3,5	60 a 70	135 a 150	217 a 420
9/1	TEST216	770,45	776,45	6,00	5,75	95,8	0,5 a 4	60 a 85	84 a 150	146 a 330
10/1	TEST217	776,45	782,45	6,00	5,73	95,5	0,5 a 4,0	60 a 80	130 a 150	210 a 420
11/1	TEST218	782,45	788,45	6,00	6,00	100,0	0,5 a 3,5	60 a 70	129 a 150	230 a 420
13/1	TEST219	788,45	794,45	6,00	5,80	96,7	0,5 a 2,0	60 a 70	130	200 a 340
15/1	TEST220	794,45	801,30	6,85	6,85	100,0	0,5 a 4,0	60 a 80	132	230 a 450
16/1	TEST221	801,30	805,50	4,20	4,11	97,9	0,5 a 3,0	70	131	250 a 400
17/1	TEST222	805,50	806,10	0,60	0,50	83,3	0,5 a 4,0	60 a 80	131 a 150	220 a 750
19/1	TEST223	806,10	811,42	5,32	4,91	92,3	0,5 a 4,0	70	150	250 a 420
21/1	TEST224	811,42	817,42	6,00	5,89	98,2	0,5 a 3,0	60 a 70	150	288 a 440
22/1	TEST225	817,42	821,42	4,00	3,96	99,0	0,5 a 3,5	60 a 70	150	260 a 310
23/1	TEST226	821,42	827,42	6,00	6,00	100,0	0,5 a 3,0	60 a 80	150	260 a 370
24/1	TEST227	827,42	833,42	6,00	6,00	100,0	0,5 a 3,3	70 a 80	150 a 200	280 a 470
28/1	TEST228	833,42	839,42	6,00	6,00	100,0	1,0 a 3,0	70	180	210 a 320
30/1	TEST229	839,42	845,42	6,00	5,93	98,8	0,5 a 3,0	60 a 80	150 a 200	250 a 330
1/2	TEST230	845,42	855,85	10,43	10,30	98,8	1,0 a 4,0	70	200	400 a 500
2/2	TEST231	855,85	867,15	11,30	11,30	100,0	1,0 a 3,0	70	200	360 a 550
4/2	TEST232	867,15	874,45	7,30	7,30	100,0	1,0 a 3,0	70	160 a 220	280 a 470
5/2	TEST233	874,45	877,10	2,65	2,53	95,5	1,0 a 3,0	60 a 70	200 a 220	340 a 430
6/2	TEST234	877,10	883,70	6,60	6,60	100,0	1,0 a 3,0	70 a 80	200 a 220	420 a 540
8/1	TEST235	883,70	886,00	2,30	2,15	93,5	0,5 a 5,0	70	200 a 220	305 a 370
9/2	TEST236	886,00	892,55	6,55	4,67	71,3	2,0 a 4,5	60 a 70	220	360 a 480
10/2	TEST237	892,55	893,25	0,70	0,70	100,0	1,0 a 2,5	60	220	310 a 345
11/2	TEST238	893,25	898,65	5,40	5,30	98,1	0,5 a 5,0	50	220	305 a 370
12/2	TEST239	898,65	902,35	3,70	3,70	100,0	1,0 a 2,0	60	200	300 a 360
13/2	TEST240	902,35	905,65	3,30	3,30	100,0	0,5 a 2,0	60	200	320 a 400
15/2	TEST241	905,65	910,05	4,40	4,40	100,0	0,5 a 5,0	60	200	315 a 350
16/2	TEST242	910,05	916,05	6,00	5,22	87,0	0,5 a 3,0	60	200 a 220	370 a 420
17/2	TEST243	916,05	919,08	3,03	3,03	100,0	0,5 a 1,0	60	84	115
18/2	TEST244	919,08	925,08	6,00	5,87	97,8	0,5 a 1,5	60	84	110 a 120
19/2	TEST245	925,08	931,08	6,00	5,50	91,7	0,5 a 3,0	60	84	80 a 150
20/2	TEST246	931,08	937,08	6,00	0,63	10,5	0,5 a 3,0	60	84	30 a 155
21/2	TEST247	937,08	937,68	0,60	0,60	100,0	0,5	50	0 a 21	70 a 150
21/2	TEST248	937,68	943,68	6,00	6,00	100,0	0,5 a 2,0	50	21 a 42	110 a 130
22/2	TEST249	943,68	949,68	6,00	5,85	97,5	0,5 a 3,0	50	0 a 42	87 a 92
23/2	TEST250	949,68	955,30	5,62	5,62	100,0	0,5 a 2,5	50	42 a 60	70 a 96
23/2	TEST251	955,30	960,30	5,00	4,97	99,4	0,5 a 2,5	50	21 a 84	87 a 130
24/2	TEST252	960,30	966,30	6,00	6,00	100,0	0,5 a 1,0	50	21 a 42	50 a 60
26/2	TEST253	966,30	972,30	6,00	6,00	100,0	0,5	60	21 a 42	35 a 60
27/2	TEST254	972,30	982,30	10,00	10,00	100,0	0,5 a 1,0	60	42	40 a 50
27/2	TEST255	982,30	993,30	11,00	11,00	100,0	0,5 a 3,0	60	21 a 84	50 a 100
1/3	TEST256	993,30	1001,50	8,20	8,03	97,9	0,5 a 2,0	60	84 a 105	70 a 115
2/3	TEST257	1001,50	1004,10	2,60	2,60	100,0	0,5 a 3,0	60	84 a 105	63 a 140
4/3	TEST258	1004,10	1007,20	3,10	3,10	100,0	0,5 a 2,5	60	105	130 a 160
5/3	TEST259	1007,20	1010,30	3,10	2,85	91,9	0,5 a 2,8	50 a 60	132 a 180	220 a 300
6/3	TEST260	1010,30	1016,30	6,00	5,90	98,3	0,5 a 3,0	50 a 60	42 a 150	46 a 260
7/3	TEST261	1016,30	1022,30	6,00	6,00	100,0	0,5 a 2,0	60	105	80 a 155
8/3	TEST262	1022,30	1023,80	1,50	1,40	93,3	0,5 a 4,0	60	132	200 a 220
9/3	TEST263	1023,80	1029,80	6,00	5,85	97,5	0,5 a 3,0	50	105	145 a 160
9/3	TEST264	1029,80	1035,80	6,00	5,88	98,0	0,5 a 1,0	50 a 60	42 a 105	80 a 160
11/3	TEST265	1035,80	1040,15	4,35	3,40	78,2	0,5 a 6,0	60	105	140 a 170
12/3	TEST266	1040,15	1046,15	6,00	6,00	100,0	0,5 a 1,0	60	150	240
13/3	TEST267	1046,15	1052,15	6,00	6,00	100,0	0,5 a 1,0	60	42 a 84	80 a 140
13/3	TEST268	1052,15	1058,15	6,00	5,81	96,8	0,5 a 1,0	60	42 a 133	95 a 250
14/3	TEST269	1058,15	1069,39	11,24	11,24	100,0	0,5 a 3,0	60	21 a 105	60 a 170
15/3	TEST270	1069,39	1080,39	11,00	11,00	100,0	0,5 a 5,0	60	42 a 133	60 a 305
16/3	TEST271	1080,39	1091,39	11,00	11,00	100,0	0,5 a 3,2	60	42 a 133	62 a 245
17/3	TEST272	1091,39	1102,39	11,00	11,00	100,0	0,3 a 5,0	50 a 60	21 a 133	73 a 299

Tabela 2 – Dados da operação da sondagem do Poço Estratigráfico PE-04 (continuação...).

Data	Manobra	Profundidade (m)		Avanço	Rec	(%)	Peso (ton)	RPM	Vazão (gpm)	Pressão (Fundo)
		de	até							
18/3	TEST273	1102,39	1106,20	3,81	3,81	100,0	0,5 a 1,8	50 a 60	136 a 145	250 a 260
20/3	TEST274	1106,20	1108,46	2,26	1,45	64,2	0,5 a 4,5	50 a 65	105 a 150	142 a 268
21/3	TEST275	1108,46	1113,46	5,00	5,00	100,0	0,5 a 3,0	50	133	186 a 205
22/3	TEST276	1113,46	1119,46	6,00	6,00	100,0	0,5 a 2,2	50	42 a 134	64 a 200
23/3	TEST277	1119,46	1130,46	11,00	11,00	100,0	0,2 a 1,8	50 a 60	42 a 143	76 a 230
24/3	TEST278	1130,46	1136,09	5,63	5,63	100,0	0,2 a 3,0	30 a 60	133 a 148	220 a 253
25/3	TEST279	1136,09	1142,09	6,00	6,00	100,0	0,5 a 2,0	50	84 a 150	140 a 300
26/3	TEST280	1142,09	1148,09	6,00	6,00	100,0	0,5 a 1,5	50	150	260 a 290
27/3	TEST281	1148,09	1154,09	6,00	5,90	98,3	0,5 a 2,5	50 a 60	150	275 a 320
28/3	TEST282	1154,09	1159,59	5,50	5,50	100,0	0,3 a 1,5	50	105 a 150	160 a 315
29/3	TEST283	1159,59	1170,59	11,00	10,76	97,8	0,5 a 2,8	50 a 65	42 a 150	140 a 420
30/3	TEST284	1170,59	1182,59	12,00	12,00	100,0	0,5 a 2,0	60	42 a 134	130 a 370
31/3	TEST285	1182,59	1190,59	8,00	7,96	99,5	0,5 a 1,5	60	134	245 a 260
1/4	TEST286	1190,59	1202,59	12,00	12,00	100,0	0,5 a 1,5	60	42 a 134	180 a 260
2/4	TEST287	1202,59	1213,09	10,50	10,50	100,0	0,5 a 1,5	70	134	240 a 260
3/4	TEST288	1213,09	1219,09	6,00	6,00	100,0	0,5 a 5,0	60 a 80	134 a 150	290 a 320
5/4	TEST289	1219,09	1225,09	6,00	6,00	100,0	0,5 a 5,0	60 a 80	134 a 150	290 a 320
6/4	TEST290	1225,09	1231,09	6,00	6,00	100,0	0,5 a 5,0	60 a 80	134 a 150	290 a 320
7/4	TEST291	1231,09	1236,19	5,10	5,02	98,4	0,5 a 5,0	60 a 80	134 a 150	290 a 320

**Tabela 2** – Dados da operação da sondagem do Poço Estratigráfico PE-04 (*continuação...*).

A operação de perfuração apresentou progresso diário conforme pode ser visualizado no **Figura 2**.

As principais dificuldades encontradas no desenvolvimento da testemunhagem foram:

- Baixa competência e alta friabilidade (areias), além de intercalações argilosas decimétricas nas unidades Barreiras e Marituba, que provocaram os constantes ajustes de vazão, rotação, torque e pressão da sonda;
- As formações Mosqueiro e Muribeca, ambas compostas por intercalações centimétricas a métricas de camadas carbonáticas como calcarenitos, calcilutitos intercalados a folhelhos e argilitos, apresentaram variações de litificação destas litologias, que ora se apresentavam consolidadas ora semi-consolidadas. Os ajustes de parâmetros de perfuração e testemunhagem também tiveram que ser feitos camada por camada geológica, em função dos contrastes de competência destas, tornando o processo de avanço da manobra curto e lento;
- A Formação Marituba ocorre novamente abaixo da formação Mosqueiro por esta se tratar de uma variação de fácies da primeira. É composta por areias/arenitos inconsolidados (12,00 m iniciais, no topo) e semi-consolidados. Novamente os parâmetros tiveram que ser ajustados de modo que a recuperação e testemunhagem fossem satisfatórias, comprometendo a taxa de penetração na unidade geológica;
- A Formação Poção proporcionou muitos desafios à perfuração e testemunhagem, especialmente na fácies conglomerática. A heterogeneidade dos constituintes do arcabouço, formados essencialmente por clastos de granitóides em contraste com a matriz arenosa, comumente de cimento carbonático;

- v. A Formação Maceió, Membro Tabuleiro dos Martins, formado essencialmente por folhelhos com  $S_0$  marcante e penetrativo, promoveu dificuldades durante o recorte, dada a fissilidade natural do acamamento, que, com o deslocamento durante o recorte, promoveu o “acunhamento” ou bloqueio da coroa durante o avanço, com a ferramenta perdendo seu poder de penetração e corte na rocha;
- vi. Já para os Evaporitos Paripueira e o Membro Ponta Verde, a perfuração e testemunhagem ocorreram sem necessidade de grandes ajustes.

Todos os ajustes realizados tiveram como único objetivo a obtenção de testemunhos íntegros, fundamentais para o desenvolvimento dos estudos geológicos e geomecânicos.

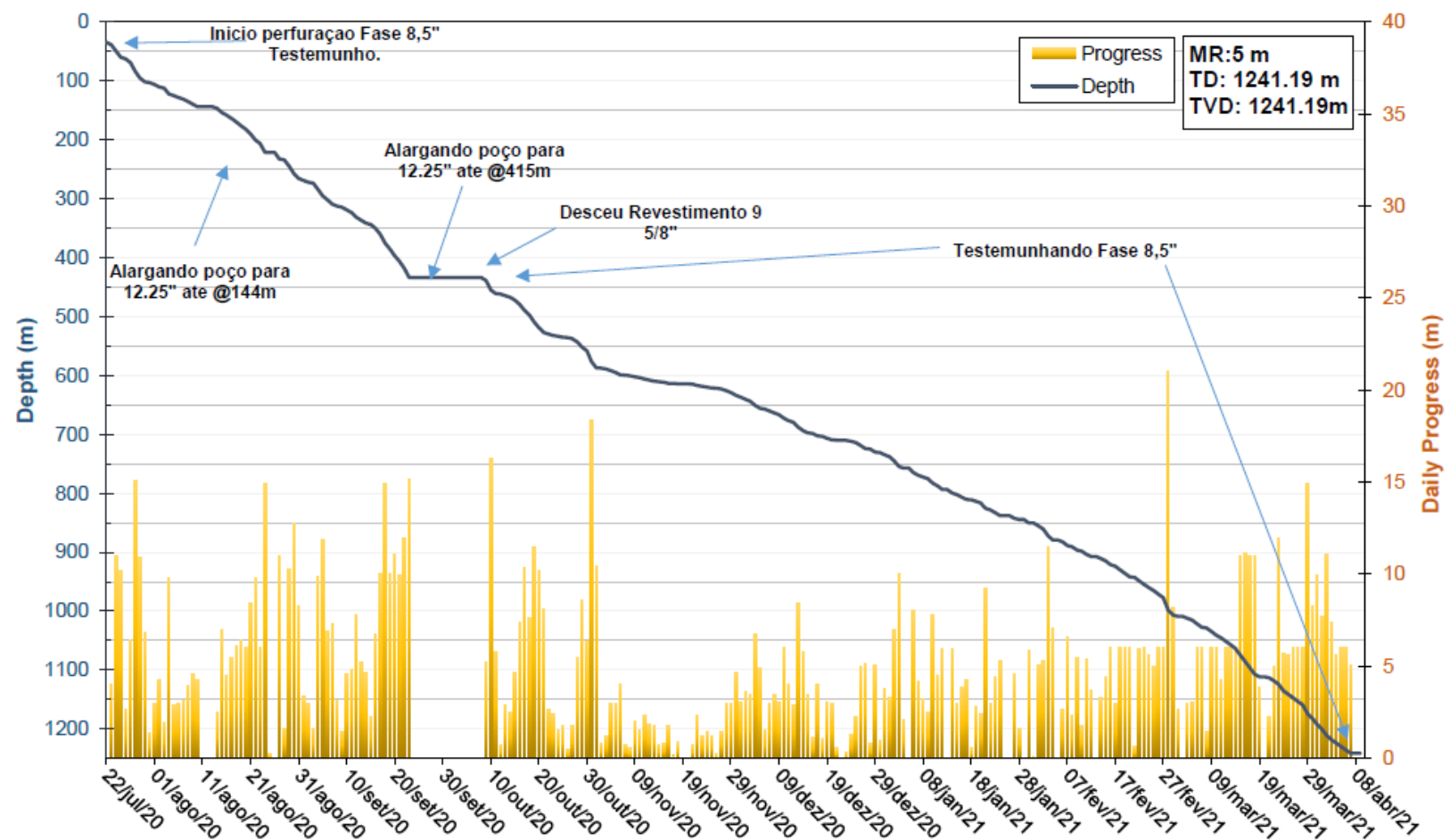
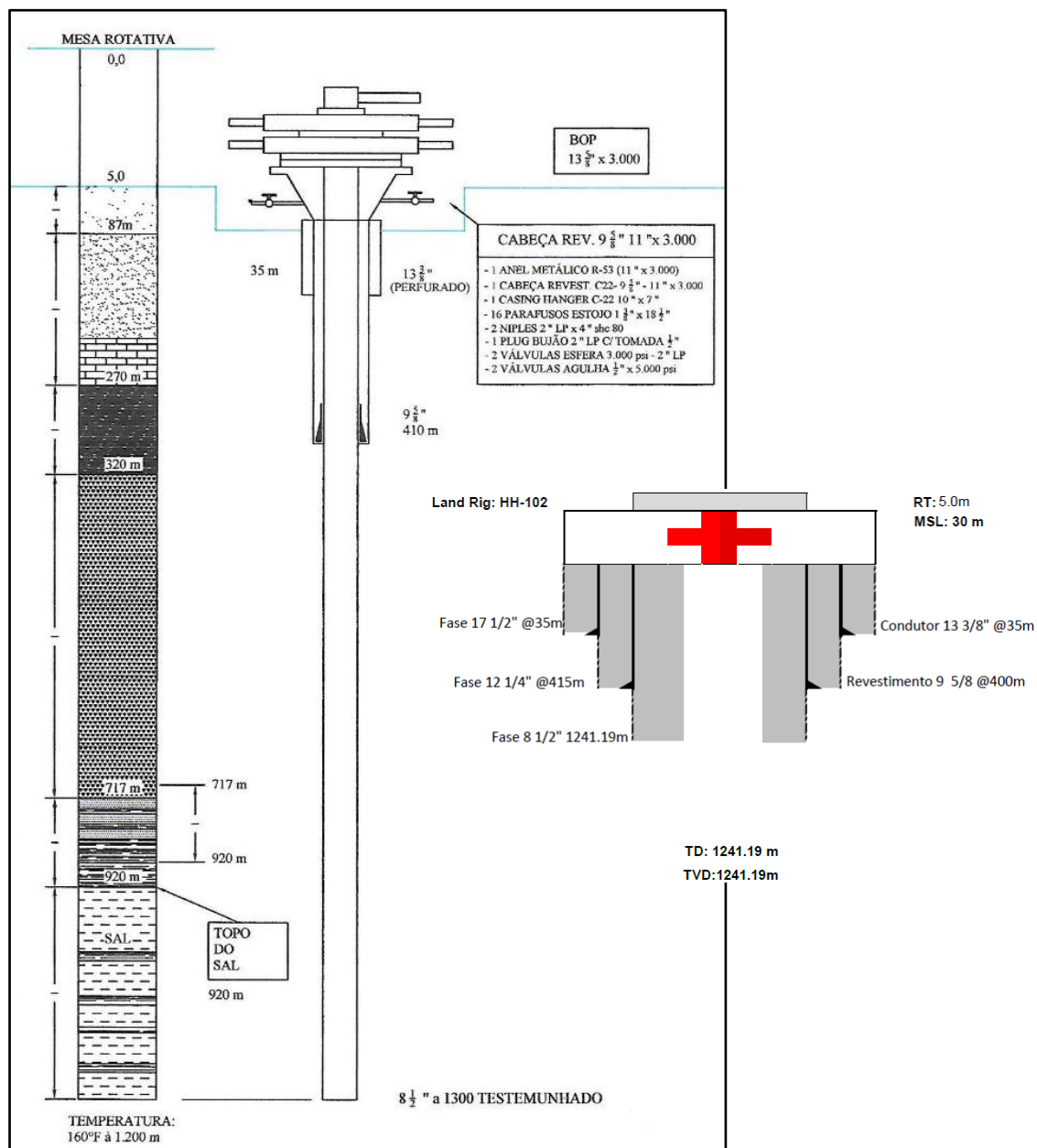


Figura 2 – Gráfico de evolução da operação do Poço Estratigráfico PE-04.

## 2.2. Esquema Construtivo e Fases do Poço

O esquema construtivo do Poço Estratigráfico PE-04 pode ser visualizado na **Figura 3** demais detalhes estão contidos no **Anexo 1**.



**Figura 3 – Esquema construtivo do poço PE-04.**



As fases de desenvolvimento do Poço Estratigráfico podem ser descritas da seguinte forma:

#### 2.2.1. Fase 17 ½" (17 ½" e Revestimento 13 3/8")

- **Intervalo** : 0 m MDRT (*Measured Depth from Rotary Table*) até 35 m MDRT

- **Sapata** : Revestimento 13 3/8" @ 34.5 m MDRT

A perfuração da Fase 17 ½" e descida do revestimento 13 3/8" com coluna lisa. Em seguida houve a cimentação do revestimento condutor de 13 3/8" na superfície, com uma cimentação pelo anular de 17 ½" x 13 3/8" com fixação da sapata em 34,5m de profundidade.

#### 2.2.2. Fase 12 ¼" e Revestimento 9 5/8" (Primeira Fase)

- **Intervalo** : 35 m MDRT até 433 m MDRT

- **Sapata** : Revestimento 9 5/8" @ 400 m

A primeira fase que compreende o intervalo de 35 m até 415 m de profundidade consistiu na perfuração e testemunhagem com broca de 8 ½". Ao final dessa fase, procedeu-se ao alargamento com diâmetro de 12 ¼" para posterior instalação de revestimento de 9 5/8", que teve o objetivo de isolar o aquífero situado na Formação Marituba (2) e corrigir a inclinação do poço.

O alargamento deu-se em duas etapas. A primeira que compreende o intervalo de 35 m a 140 m, foi desenvolvido com broca tricônica de 12 ¼", tendo os seguintes parâmetros: : Peso sobre broca (WOB) – 4-8 klb - Vazão 250-300 gpm - Rotação 60/100 rpm – Pressão 60/100 psi.

A segunda etapa foi perfurada com BHA convencional. Nesta fase, o poço apresentava inclinação de 3,45° a 433 m. Com o alargamento, houve a correção da inclinação que passou para 1,5°. O alargamento foi interrompido a 415 m no topo da Formação Poção, onde foi instalado o revestimento de 9 5/8" assentado e cimentado na profundidade de 400 m.

Na segunda parte dessa fase foi perfurado com BHA convencional. Para alargar o poço e reduzir a inclinação, que era de 3,45° a 433 m da Fase 8 ½", para 1,5° na mesma profundidade. O alargamento foi interrompido a 415 m dentro do conglomerado da Formação Poção, onde desceu revestimento de 9 5/8" assentando e cimentando na profundidade de 400 m.

#### 2.2.3. Fase 8 ½" (Segunda Fase)

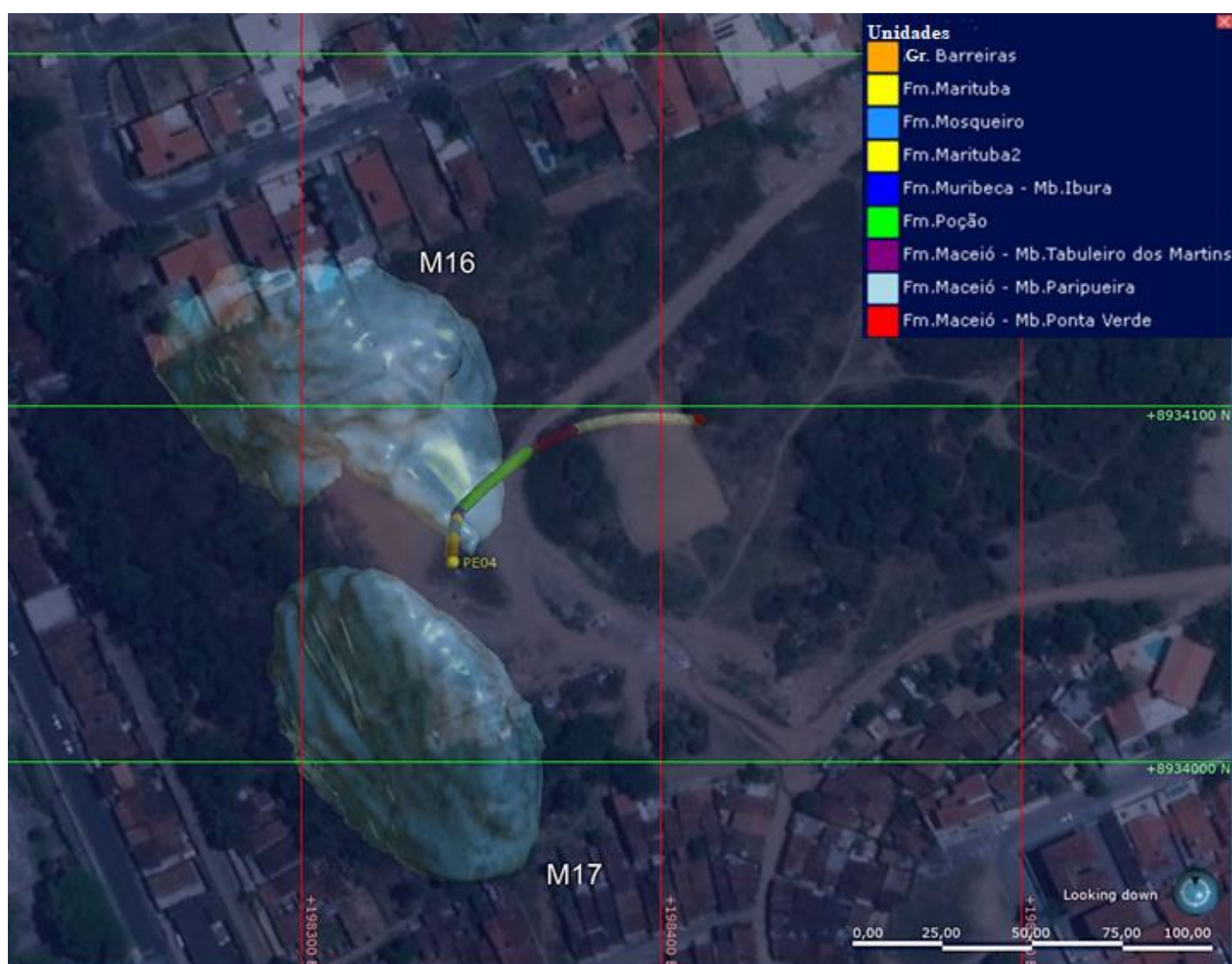
- **Intervalo**: 433 m MDRT até 1241.19 m MDRT

A Fase 8 ½" começou a 433 m, tendo profundidade final 1241.19 m, já dentro do pacote dos folhelhos da Formação Maceió Membro Ponta Verde. Todo o poço foi feito dentro dessa fase, como objetivo a obtenção de testemunhos. Nesta fase foram utilizados diversos BHA's com coroa de testemunhagem e barriletes que variavam entre 3 e 11 metros de comprimento.

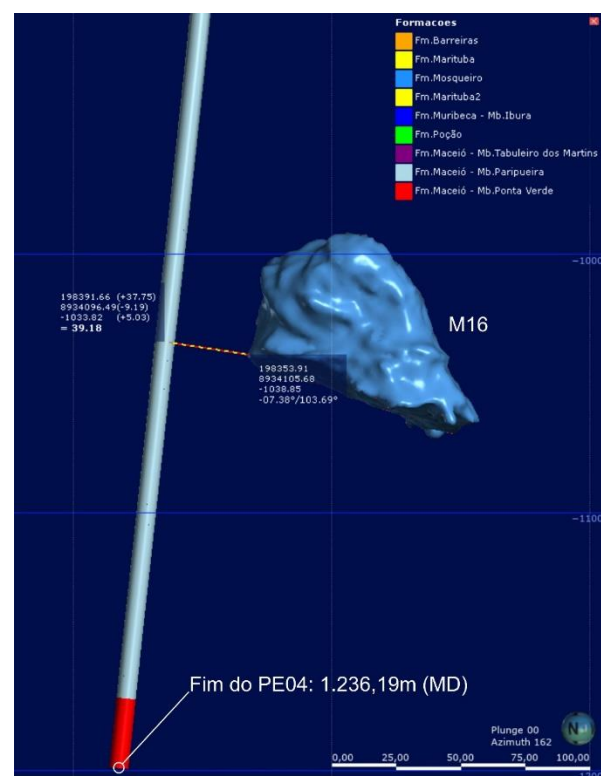
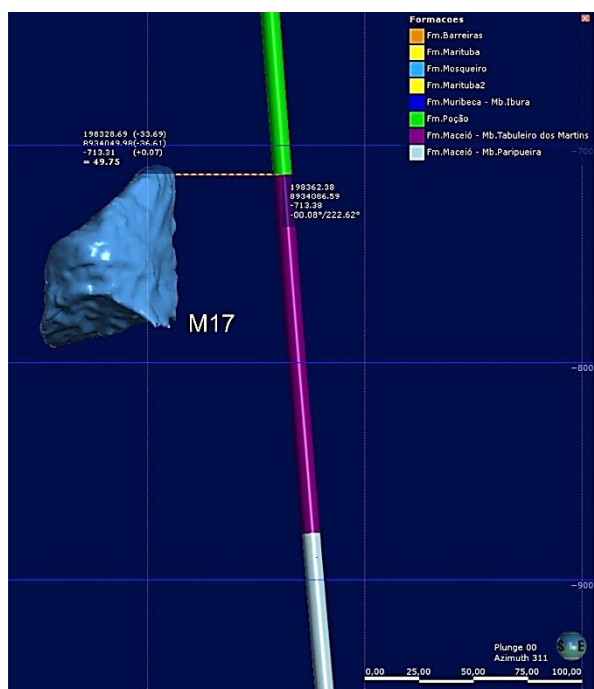
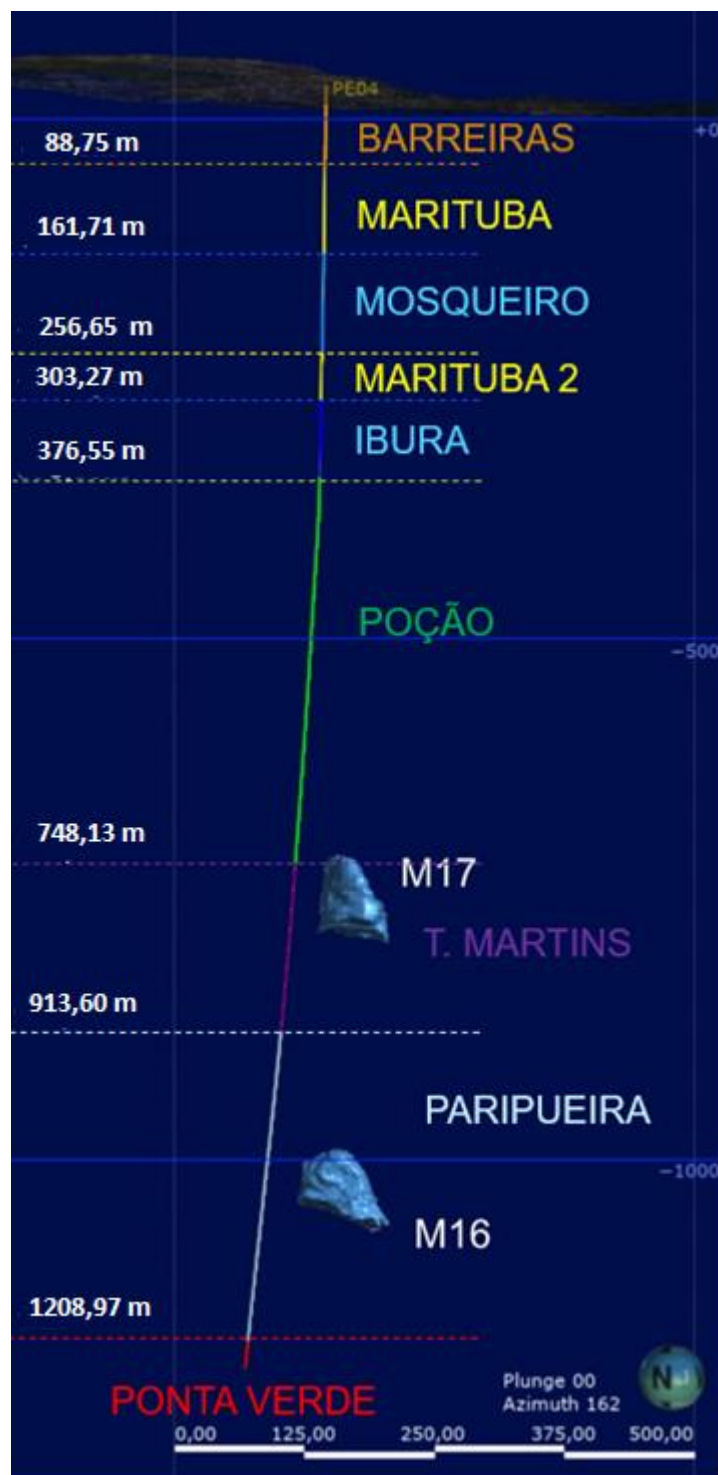
### 3. MEDIDAS DE CONTROLE DE DESVIO

O monitoramento do desvio do poço foi realizado em campo com utilização de Totco e Giroscópio. Os resultados das medidas podem ser visualizados nas tabelas contidas no **Anexo 2** (Gyrodatta, 2021), bem como a projeção horizontal na **Figura 4** e a projeção na vertical/3D na **Figura 5**.

Ao final, o poço PE-04 apresentou inclinação de 6,21° e tendência de direção para o azimute 93,17 (**Figura 05**). Em relação as cavidades M17 e M16, o poço apresentou afastamentos de aproximadamente 49 m e 39 m, respectivamente.



**Figura 4** – Projeção horizontal do Poço Estratigráfico PE-04, evidenciando a geologia interceptada e a trajetória em relação as cavidades M17 e M16. © Seequent Limited, a Bentley Company.



**Figura 5** – Projeção vertical do Poço Estratigráfico PE-04, evidenciando a geologia interceptada e a trajetória em relação as cavidades M17 e M16, com respectivos afastamentos de 49,754 m e 39,10 m. © Seequent Limited, a Bentley Company.

## 4. MUD LOGGING

A região do poço PE-04 é composta por arenitos, folhelhos, calcarenitos, calcilutitos, conglomerados e o sal-gema (halita) que compõe a camada de minério. As descrições das amostras de calha foram feitas por equipe de geólogos da Geoservices. Foi confeccionado o perfil litoestratigráfico do poço que pode ser visualizado nos **Anexo 1**. A amostragem compreende coleta de amostras de calha em saquinhos de 500 g e a cada 6 metros. A primeira amostra foi coletada na profundidade de 36 m e todas as profundidades estão se referindo à elevação da mesa rotativa.

Pela natureza não tão precisa dos resultados obtidos com as amostras de calha, os topos das unidades geológicas apresentadas neste capítulo não correspondem exatamente aos constatados durante as descrições de testemunhos do Poço Estratigráfico PE-04.

### 4.1. Fase 12 ¼"

1) Gr. Barreiras (de 35 m a 88 m): arenito fino a médio, argilito com matriz siltosa.

<b>ARENITO</b>	<b>Hialino, fino, medio, grosso, quartzoso, subarredondado, subanguloso, seleção boa à má, desagregado.</b>
<b>ARGILITO</b>	<b>Amarelo Alaranjado/Avermelhado, mole</b>

2) Fm. Marituba (de 88 m a 167.6 m): Arenito e Argilito com matriz siltosa.

<b>ARENITO</b>	<b>Hialino, fino, medio, sub angular, seleção boa, composição quartzosa e feldspática, friavel, desagregado</b>
----------------	---

3) Fm. Mosqueiro (de 167.6 m a 257.6 m): arenitos e calcararenitos intercalados.

<b>ARENITO</b>	<b>Hialino, fino, medio, sub angular, seleção boa, composição quartzosa e feldspática, friavel, desagregado</b>
<b>CALCARENITO</b>	<b>Cinza / Creme Claro, fino a médio, subanguloso, seleção boa, quartzoso, semi-duro a duro.</b>
<b>CALCILUTITO</b>	<b>Cinza esbranquiçado, variando de semiduro a duro</b>

4) Fm. Marituba (2) (de 257.6 m a 305.5 m): arenito e argilito com matriz siltosa.

<b>ARENITO</b>	<b>Hialino, muito fino a fino, sub arredondado, seleção boa, composição quartzosa, friavel, desagregado</b>
----------------	---



5) Fm. Muribeca/Mb Ibura (de 305.5 m a 371.7 m): arenitos, calcarenitos, calcilutitos, folhelhos e margas subordinadamente.

<b>ARENITO</b>	Hialino, muito fino a fino, subarredondado a subanguloso, seleção boa, quartzoso, matriz argilosa, desagregado.
<b>CALCARENITO</b>	Cinza claro, fino a médio, quartzoso, fechado, semiduro e porções desagregadas.
<b>CALCILUTITO</b>	Cinza claro, compacto, semiduro. Também branco, compacto semiduro
<b>FOLHELHO</b>	Cinza escuro, carbonático, semi duro.
<b>MARGA</b>	Cinza escura, piritosa, semidura a dura

6) Fm. Poção (de 371.7 m a 433 m): conglomerados com intercalações de arenitos, calcarenitos, calcilutitos, folhelhos e margas subordinadamente.

<b>CONGLOMERADO</b>	Hialino, muito grosso a grosso, subarredondado a subanguloso, seleção regular, quartzoso, desagregado.
<b>ARENITO</b>	Hialino, muito fino a fino, subarredondado a subanguloso, seleção boa, quartzoso, matriz argilosa, desagregado.
<b>CALCARENITO</b>	Cinza claro, fino a médio, quartzoso, fechado, semiduro e porções desagregadas.
<b>CALCILUTITO</b>	Cinza claro, compacto, semiduro. Também branco, compacto semiduro
<b>FOLHELHO</b>	Cinza escuro, carbonático, semi duro.

#### 4.2. Fase 8 ½"

7) Fm. Poção (de 433 m a 747.5 m): conglomerados com intercalações de arenitos, calcarenitos, calcilutitos, folhelhos e margas subordinadamente.

<b>CONGLOMERADO</b>	Hialino, muito grosso a grosso, subarredondado a subanguloso, seleção regular, quartzoso, desagregado.
<b>ARENITO</b>	Hialino, muito fino a fino, subarredondado a subanguloso, seleção boa, quartzoso, matriz argilosa, desagregado.
<b>CALCARENITO</b>	Cinza claro, fino a médio, quartzoso, fechado, semiduro e porções desagregadas.
<b>CALCILUTITO</b>	Cinza claro, compacto, semiduro. Também branco, compacto semiduro
<b>FOLHELHO</b>	Cinza escuro, carbonático, semi duro.

8) Fm. Tabuleiro do Martins (de 747.5 m a 921 m): calcarenitos, calcilutitos, folhelhos e arenitos subordinados.

<b>CALCARENITO</b>	Cinza claro a esbranquiçado, fino a médio, quartzoso, fechado, semiduro, bem selecionado, subarredondado, com porções desagregadas.
<b>CALCILUTITO</b>	Cinza claro a esverdeado, compacto, mole. Também branco, compacto semiduro
<b>FOLHELHO</b>	Cinza escuro a esverdeado, carbonático, semi duro. Apresenta porções com pirita.
<b>ARENITO</b>	Hialino, muito fino a fino, subarredondado a subanguloso, seleção boa, quartzoso, matriz argilosa, desagregado.

9) Fm. Maceió Evaporitos Paripueira (de 921 m a 1.236,19 m): halita, calcilutitos, folhelhos e arenitos subordinados.

<b>HALITA</b>	<b>Hialina, apresentando também cor cinza esbranquiçada, semidura</b>
<b>FOLHELHO</b>	<b>Cinza escuro a esverdeado, carbonático, semi duro.</b>
<b>CALCILUTITO</b>	<b>Branco, compacto e semiduro</b>
<b>CARNALITA</b>	<b>Vermelha, variando de semidura a dura</b>

10) Fm. Ponta Verde (de 1215 m a 1236.19 m): folhelho.

<b>FOLHELHO</b>	<b>Predominantemente cinza escuro, com variações cinza claro a esverdeado, levemente carbonático, predominantemente muito duro.</b>
-----------------	---

## 5. GEOLOGIA DA ÁREA DO POÇO PE-04

A seguir será introduzido o contexto geotectônico e litoestratigráfico da área do poço além do empilhamento litológico das formações, seus limites e as características de cada unidade. Estas encontram-se descritas, individualizadas por formação/membro.

### 5.1 Contexto Geotectônico

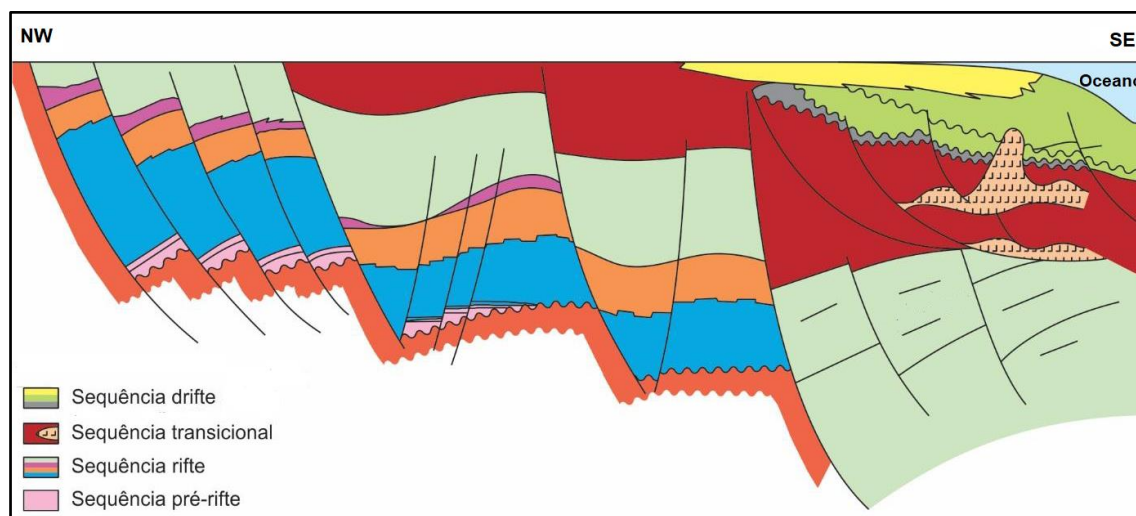
A Bacia de Sergipe-Alagoas está localizada nos estados homônimos da região Nordeste do Brasil e compõe um conjunto de bacias sedimentares formadas a partir da fragmentação da porção ocidental do supercontinente Gondwana, que preserva no registro geológico e fóssil evidências da sedimentação ocorrida desde o Neopaleozóico ao Eocretáceo (Jardim de Sá et al., 2008).

Do ponto de vista fisiográfico, a bacia está situada na margem continental oriental brasileira, tem direção alongada com orientação NE-SW e ocupa uma área de 44.370 km<sup>2</sup>.

Schaller (1969) propôs inicialmente a nomenclatura “bacia de Sergipe-Alagoas”. Entretanto, Feijó (1994), em trabalho de revisão estratigráfica, considerou a mesma como um conjunto de duas bacias individualizadas, denominadas de bacia de Sergipe e bacia de Alagoas, limitadas pelo alto de Japoatã-Penedo.

Atualmente, a abordagem das sub-bacias de Sergipe e Alagoas como uma única bacia é preferido em relação à divisão. Em sua mais recente revisão, Campos Neto et al. (2007) revalidaram o senso comum ao não considerar o Alto de Japoatã-Penedo um divisor, visto que o mesmo não é observado em toda a extensão da bacia.

A bacia de Sergipe-Alagoas é composta por 23 formações, relacionadas diretamente aos estágios evolutivos de natureza divergente que culminaram com a formação do oceano Atlântico Sul, sendo estas as citadas anteriormente: sinéclise, pré-rifte, rifte, transicional e drifte (Figura 6) (Feijó, 1994).



**Figura 6** – Seção geológica transversal da bacia de Sergipe-Alagoas no Estado de Alagoas (Campos Neto et al., 2007).

O embasamento proterozóico é formado por rochas metamórficas de baixo grau dos grupos Vaza-Barris e Miaba além de metassedimentos cambrianos do Grupo Estância (Silva Filho et al., 1978). Também são identificadas as rochas de composição granítica do maciço Pernambuco-Alagoas. O estilo tectônico e o preenchimento sedimentar da bacia são distintos nos estados de Sergipe e Alagoas (Campos Neto et al., 2007).

Sequências do Carbonífero (Formação Batinga) e do Permiano (Formação Aracaré) foram depositadas sobre o embasamento. Estas representam o registro sedimentar de sinéclises paleozóicas que cobriam extensas áreas do continente Gondwana (Campos Neto et al., 2007).

A bacia de Sergipe-Alagoas fez parte da chamada depressão afro-brasileira durante o Neojurássico-Eocretáceo. Ao longo desta fase de estabilidade tectônica, depositaram-se os folhelhos vermelhos lacustres da Formação Bananeiras e os arenitos fluviodeltaicos da Formação Candeeiro. Posteriormente, sistemas fluviais entrelaçados com retrabalhamento eólico recobriram esse registro com os arenitos da Formação Serraria.

A fase rifte na bacia foi estabelecida no Berriasiano, com a sedimentação da Formação Feliz Deserto, uma sucessão de folhelhos esverdeados com intercalações areníticas, provavelmente de origem lacustre. Durante o primeiro pulso tectônico da fase rifte depositaram-se os conglomerados aluviais da Formação Rio Pitanga e os arenitos da Formação Penedo, já nas porções distais, predominava a sedimentação deltaica-lacustre da Formação Barra de Itiúba (Schaller, 1969). O nível máximo desse lago ocorreu no Barremiano, quando se depositaram folhelhos do Andar Buracica (Barremiano superior-Aptiano. Nos períodos de baixo aporte sedimentar formaram-se os níveis de coquinas de bivalves e ostracodes da Formação Morro do Chaves (Campos Neto et al., 2007).

Ao longo do período Eoaptiano houve alta taxa de sedimentação devido principalmente a processos de subsidência. Na porção proximal predominavam as rochas das formações Poção e Rio Pitanga interpretados como trato de sistemas transgressivos compostos por conglomerados e arenitos de leques deltaicos e turbiditos arenosos. Esses depósitos foram interpretados como sendo resultantes dos fluxos gravitacionais que ocorreram nos períodos de clima úmido e de grande aporte sedimentar (Arienti, 1996). Nas porções distais a sedimentação era alúvio-deltaica-lacustre, com os arenitos e da Formação Coqueiro Seco. Uma sucessão de evaporitos e folhelhos betuminosos no intervalo intermediário dessa formação caracterizam a primeira incursão marinha na bacia de Sergipe-Alagoas (Campos Neto et al., 2007).

A partir do Eoaptiano há registros de tectonismo ativo na bacia, levando ao soerguimento que restringiu a sedimentação a porções isoladas da bacia. A esse intervalo pertencem os evaporitos interpretados como um ambiente marinho com influência continental (Florêncio, 1996). Estes estariam associados às transgressões locais durante o Eoalagoas, diferentemente das condições continentais das demais bacias próximas (Dias, 2004). Além das formações Poção e Rio Pitanga, pertencem a esta sequência os arenitos, folhelhos, evaporitos e calcilutitos da Formação Maceió, correspondentes a tratos de sistemas transgressivos. Em climas mais áridos, predominavam folhelhos e calcilutitos algálicos, e no máximo de aridez, evaporitos estabelecidos em ambientes do tipo sabkha (Arienti, 1996).

A fase transicional iniciou-se durante o Neoaptiano-Albiano marcada pela primeira grande incursão marinha na bacia e o estabelecimento da margem passiva observada até os dias atuais. A deposição da Formação Muribeca está associada a esse evento, compreendendo os



sedimentos siliciclásticos grossos do Membro Carmópolis, evaporitos, carbonatos microbiais e folhelhos do Membro Ibura e intercalações de folhelhos e calcilutitos do Membro Oiteirinhos. Os depósitos do Membro Carmópolis constituem tratos de sistemas de mar baixo e transgressivo, enquanto o Membro Ibura representa tratos de sistemas de mar alto, caracterizados por ambientes marinhos rasos com influência de marés (Campos Neto et al., 2007).

Durante a fase drifte, depósitos inicialmente marinhos restritos evoluem para aqueles característicos de mar aberto. No Eoalbio, em consequência de uma transgressão, estabeleceu-se a sedimentação marinha franca da Formação Riachuelo (Koutsoukos, 1989). Nas bordas da bacia e nos blocos rebaixados depositaram-se em leques deltaicos as rochas siliciclásticas grossas do Membro Angico. Nas áreas de menor aporte sedimentar desenvolveu-se a rampa carbonática com bancos parcialmente dolomitizados de oólitos e oncólitos do Membro Maruim, e nas lagunas e no talude, os calcilutitos e folhelhos do Membro Taquari (Mendes, 1994).

No final do Coniaciano o rebaixamento do nível do mar seguido de transgressão com máximo no Eocampaniano foi responsável pelos folhelhos da Formação Calumbi. Com o aumento do aporte sedimentar e a progradação do empilhamento rochoso, formaram-se as areias costeiras e plataformas da Formação Marituba nas porções proximais da bacia. Nas partes distais persistiu a deposição da Formação Calumbi caracterizada por folhelhos com eventuais intercalações de arenito. Do Neocampaniano ao Maastrichtiano, o padrão da sedimentação continuou progradante, com a ampliação da planície costeira e da plataforma arenosa da Formação Marituba (Campos Neto et al., 2007).

No decorrer do Paleoceno (Daniano), o padrão de empilhamento continuou progradacional. Porém, na borda da Formação Marituba, foram acumulados os calcarenitos bioclásticos da Formação Mosqueiro (Feijó, 1994). O ápice deste evento ocorreu no Eoceno, enquanto no Oligoceno houve rebaixamento no nível do mar, seguido de nova transgressão no Mioceno. Até o fim desse período, o padrão de sedimentação foi agradacional com a deposição das formações Marituba, Mosqueiro e Calumbi. No Plioceno, outro evento regressivo deu origem aos depósitos costeiros do Formação Barreiras na porção terrestre da bacia (Campos Neto et al., 2007).

Em águas profundas e ultraprofundas é observada a ocorrência de rochas magmáticas, comumente interpostas às de origem sedimentar. Os truncamentos e deformações provocadas nas aquisições sísmicas permitem atribuir a esses eventos idades Albiana e Turoniana (Mohriak et al., 1995). Feições magmáticas também são frequentes na transição da crosta continental para crosta oceânica. (Mohriak et al., 1995). Essas rochas estão relacionadas com o magmatismo resultante da formação da crosta oceânica do Atlântico Sul (Campos Neto et al., 2007).

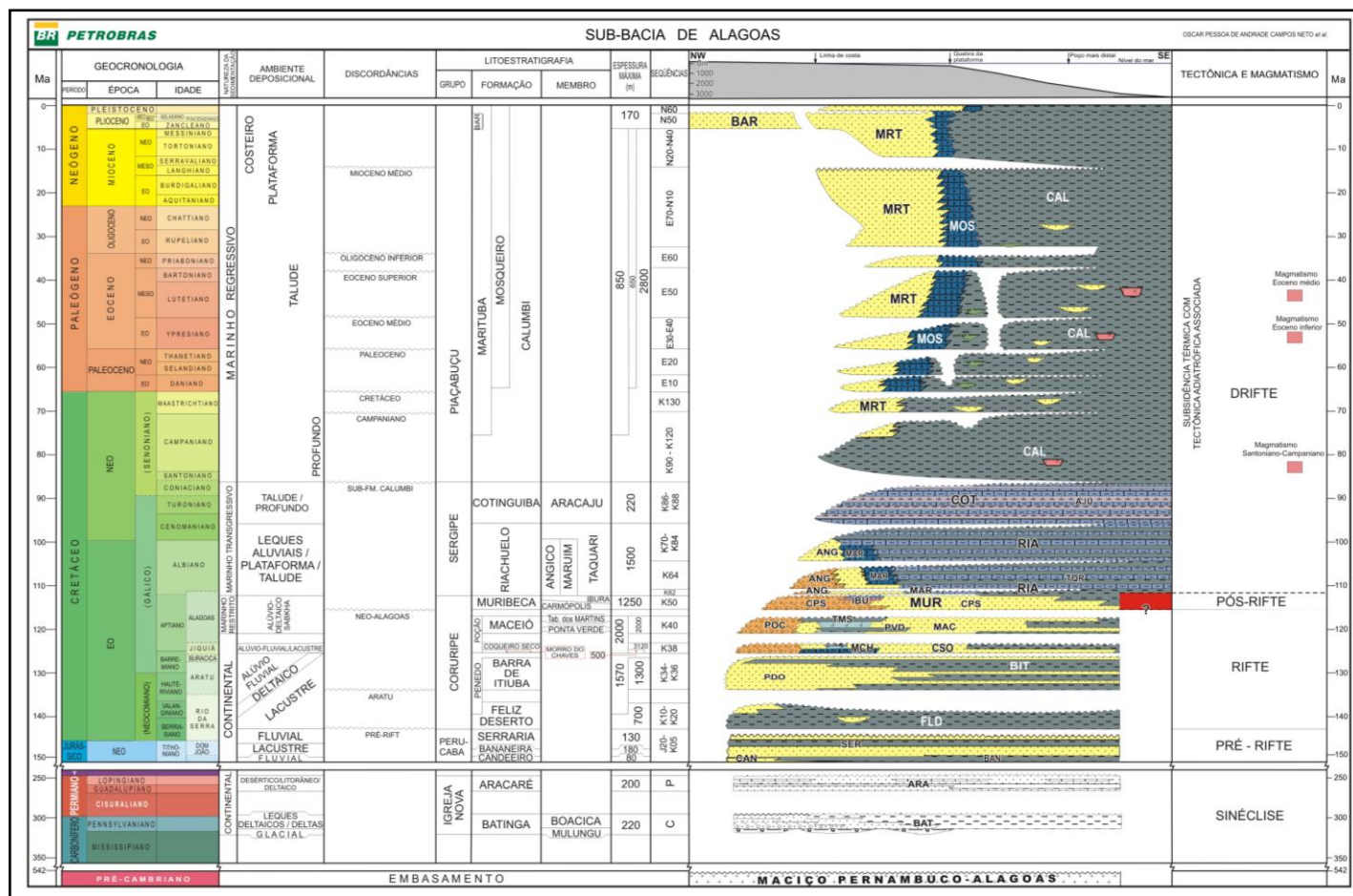
## **5.2 Litoestratigrafia**

Ao longo de mais de um século de estudos sobre a geologia da bacia Sergipe-Alagoas diversos autores propuseram diferentes colunas litoestratigráficas. A **Figura 7** foi retirada de Souza-Lima et al., 2019, que por sua vez a adaptou, em parte, de Schaller 1970 e representa a evolução dessas propostas pelos diferentes autores no período citado.

As rochas observadas durante a atividade do Poço Estratigráfico PE-04 foram classificadas de acordo com suas características geológicas e as nomenclaturas adotadas estão referenciadas na Coluna Litoestratigráfica de Souza-Lima et al., 2019 (**Figura 7**).

A divisão proposta por esses autores é a mais atual e já está consolidada no meio científico que justifica o seu uso como referência. Após o encerramento do PE-04 foi confeccionada uma coluna com o empilhamento litoestratigráfico observado ao longo do poço com representações gráficas das litologias além de descrições detalhadas dos testemunhos com profundidades de topo por formação/membro (**Anexo 3**).

**Figura 7** - Evolução do conhecimento litoestratigráfico da Bacia de Sergipe-Alagoas com ênfase para a “Série Alagoas”, em destaque cinza (adaptado, em parte, de Schaller, 1970). (Retirada de Souza-Lima et al. 2019).



**Figura 8 - Carta Cronoestratigráfica da Sub-Bacia Alagoas proposta por Campos Neto et al. 2007.**

### 5.3 Geologia Interceptada

Durante as atividades do Poço Estratigráfico PE-04, foram atravessadas e testemunhadas rochas das unidades Barreiras, Marituba, Mosqueiro, Marituba (2), Muribeca (Membro Ibura), Poção e Maceió, Membro Tabuleiro dos Martins, os Evaporitos Paripueira e Membro Ponta Verde. O empilhamento litológico destas unidades, seus limites e as características encontram-se descritas a seguir, individualizadas por formação/membro e também podem ser visualizados nos **Anexos 3 e 4**.

Foram realizados diversos estudos nos testemunhos coletados, tais como: petrografia, petrofísica e geofísica das unidades geológicas atravessadas. Além da compreensão geológico/estratigráfica, os testemunhos irão auxiliar na modelagem geológica/geomecânica da área.

#### 5.3.1 Grupo Barreiras

Os sedimentos superficiais interceptados pelo Poço Estratigráfico PE-04, e encontrados naquela região, são aqueles pertencentes ao Grupo Barreiras (Souza-Lima et al., 2019). Estes se estendem até a profundidade de 88,75 m (**Tabela 04**). Contudo já partir de 70,72 m, até o final da formação, ocorrem interdigitações centimétricas de siltitos e arenitos cinza-escuro correlatos àqueles pertencentes à Formação Marituba.

O Grupo Barreiras se caracteriza por areias oxidadas, finas a grossas, amarelas (**Figura 9C**) variando em tons avermelhados, arroxados e por vezes variegada com presença de delgadas lentes de argila e silte amarronzadas (**Figuras 9A a 9B**). Os grãos de quartzo são predominantemente sub-arredondados. Podem ocorrer níveis areníticos conglomeráticos.

A ocorrência de intervalos intemperizados é comum assim como intervalos lateritizados com intercalações ferruginosas.

Fato marcante nesta unidade é a característica friável, inconsolidada e saprolitizada (**Figura 9D**) de seus sedimentos, conferindo a mesma uma fragilidade marcante.

- **Profundidade do topo:** Superfície
- **Profundidade da base:** 88,75 m
- **Espessura:** 88,75 m





**Figura 9** - (A) Registro fotográfico padrão dos testemunhos prontos para armazenamento, após descrição geológica (caixas e profundidades indicadas) e (B) Aspecto frágil, inconsolidado, dos sedimentos constituintes do Grupo Barreiras.



**Figura 10** - (C) Arenito fino, friável com tons amarelados na profundidade 35,50 m e (D) Arenito com granulação grossa e aspecto sapolitizado, característico do Grupo Barreiras na profundidade 41,50 m.

### 5.3.2 Formação Marituba

O topo da Formação Marituba (em 88,75 m) se caracteriza pela presença de areias muito finas e argilas de coloração cinza a negra, ocasionalmente com pirita (**Tabela 04**). A base situa-se em 161,71 m fazendo limite com a Formação Mosqueiro.

Seus sedimentos são inconsolidados, porém com trechos centimétricos variando a semi-consolidados, tendo maior grau de litificação a partir de 113,36 m.

No intervalo de 70,72 m até 106,21 m foram encontrados sedimentos amarelos e avermelhados, de composição areno-argilosa, ocasionalmente com lentes argilosas do Grupo Barreiras na forma de interdigitações nos sedimentos areno-siltosos, cinza-escuro a negros da Formação Marituba;

A partir de 106,21 m, foram recortados somente sedimentos da Formação Marituba, propriamente ditos. Estes são caracterizados por composição areno-siltosa, de coloração cinza a negro, com variações de tons e em cor amarronada (**Figuras 11A e 11B**), mostrando granulação fina a muito grossa, mal selecionados, compostos por grãos de quartzo e feldspato sub-angulosos, milimétricos, imersos numa matriz argilo-arenosa. Comumente ocorrem pontuações discretas de pirita preferencialmente associados aos níveis negros (oriundos de ambientes redutores).

Também ocorrem três níveis centimétricos de arenitos conglomeráticos (em 121,95 m, 132,05 m e 133,75 m) (**Figuras 11C e 11E**). Possuem até 0,65 m de espessura e se caracterizam pela presença de grânulos de quartzo e litoclastos de rocha máfica (com até 5,5 cm), plagioclásio e por vezes com pirita, dispersos numa matriz areno-argilosa (**Figura 11G e 11H**). Dada a baixa seleção da matriz e bordas angulosas dos clastos, o transporte sedimentar foi de área fonte próxima.

Fragmentos de arenito cinza-negro a negro também foram identificados ao redor de 115,55 m (**Figura 11D**).

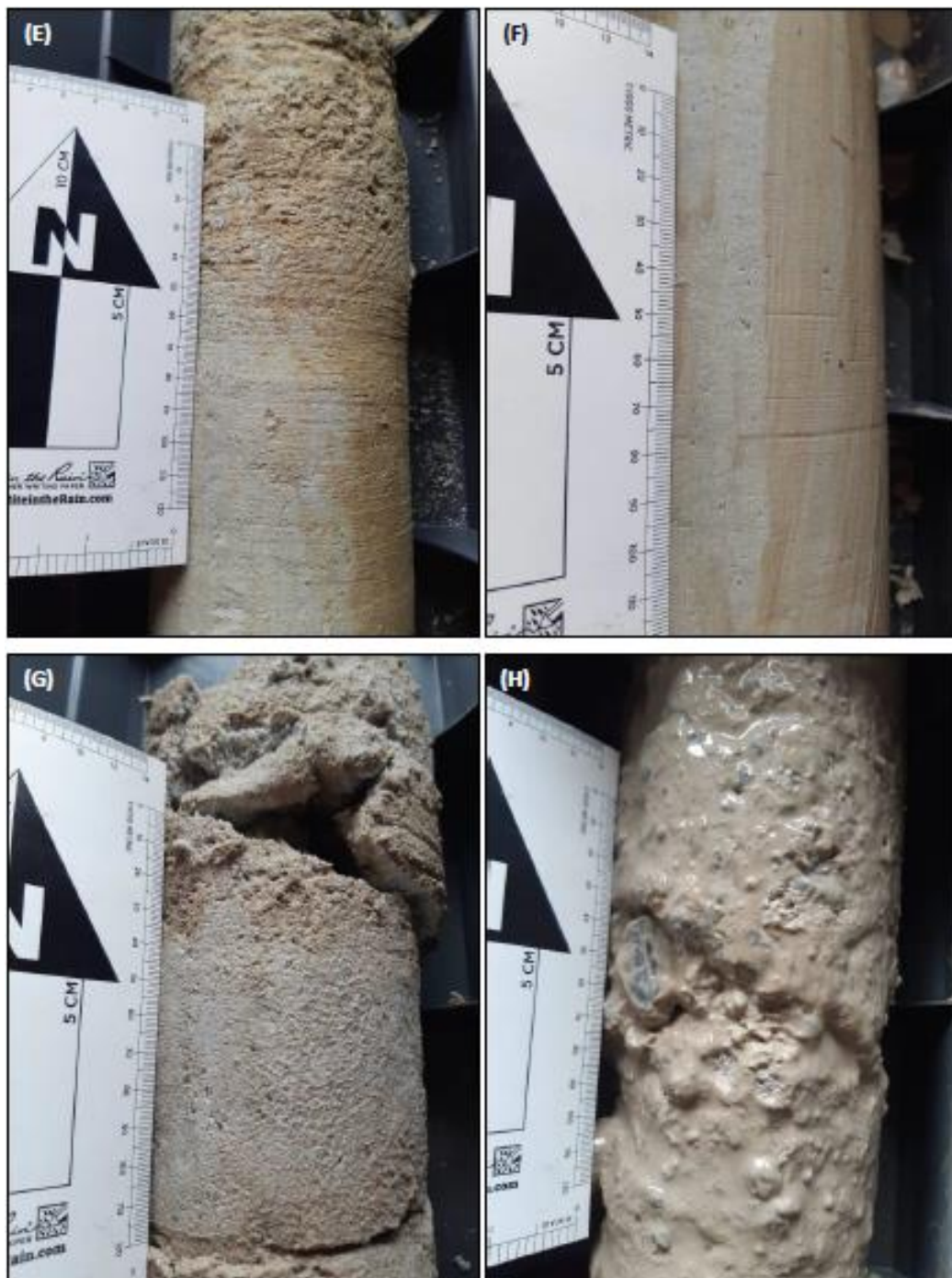
De 139,30 m até 142,90 m foi encontrado nível de argilito siltoso, cinza, com grãos de quartzo sub-angulosos, sub-milimétricos a centimétricos, dispersos na matriz argilosa e gradando para areia fina no final do intervalo (**Figuras 11A e 11F**);

- **Profundidade do topo:** 88,75 m
- **Profundidade da base:** 161,71 m
- **Espessura:** 72,96 m



**Figura 11** - (A) Zona de contato entre sedimentos arenosos do Grupo Barreiras (amarelado) com sedimentos siltico arenosos da Fm. Marituba (negro); (B) detalhe do contato da fotografia anterior, entre as unidades Barreiras e Marituba; (C) Intervalo centimétrico de arenito conglomerático na Fm. Marituba (setas em vermelho), e; (D) fragmentos de arenito negro (seta amarela) em meio a arenitos finos a médios na Fm. Marituba (115,55 m).





**Figura 11** - (E) Zona de contato entre arenito fino e arenito grosso, conglomerático, centimétrico (137,60 m); (F) Argilito cinza claro de aspecto maciço (140,53 m); (G) Arenito inconsolidado, cinza claro, médio a grosso, mal selecionado (146,00 m), e; (H) Conglomerado/Brecha oligomítica, quartzosa, contendo seixos de quartzo de até 5,5cm em seu eixo maior (149,60 m).

### 5.3.3 Formação Mosqueiro

A partir de 161,71 m inicia-se a sequência de sedimentos carbonáticos impuros (margas), pertencentes a Formação Mosqueiro. O topo desta formação apresenta cor amarelada gradando a amarronzada, finos e de aspecto maciço (chamada informalmente de “marga chocolate” – **Figura 12A**).

De 169,70 m até 177,02 m ocorre argilito cinza-escuro a negro, de aspecto maciço, ocasionalmente com fragmentos milimétricos de calcário, intercalações centimétricas de calcilutitos bege a cinza. Na base, de 169,70m até 170,61 m, ocorre calcarenito bege com tons acinzentados, fino a grosso, mal selecionado, com grãos sub-angulosos (**Figura 12B**).

A partir de 177,02 m até 183,550 m ocorre calcilutito bege a acinzentado, com passagens centimétricas argilosas e arenosas cinza escuras a negras, fraturado (**Figura 12C**). Em seguida, até 184,90 m, ocorre calcarenito bege a acinzentado, fino a grosso, mal selecionado, com grãos sub-angulosos, semi-consolidado a litificado. Na base ocorre camada de 4 cm de argila preta-esverdeada;

De 184,90 m até 189,88 m ocorre calcário bege, com passagens centimétricas de calcilutito esverdeado (**Figura 12D**) e calcarenito centimétricas. Feições de dissolução com preenchimento de argila preta ocorrem por todo o intervalo.

De 189,88 m até 193,57 m ocorre calcarenito fino, cinza, com intercalações de argilito cinza escuro, esverdeado, comumente com nódulos carbonáticos.

De 193,57 m até 201,55 m volta a apresentar calcilutito, cinza claro, aspecto maciço, ocasionalmente com nódulos carbonáticos e intercalações de argilito (mais raramente de calcarenito).

Esta formação é constituída de calcarenitos (**Figura 13A**) cinza com passagens de calcilutitos cinza escuro por vezes bege e esverdeados, ainda podendo mostrar intercalações de marga cinza e argila verde a negra. Nódulos de calcário alterado são comuns no intervalo (**Figura 13B**).

Fósseis de molusco bivalve também foram encontrados no intervalo de 216,55 m até 227,75 m (**Figura 13C**). São característicos desta formação.

Entre 256,65 m e 260,65 m ocorre nível/lente de arenito muito fino a fino, com matriz arenosa bege, bem selecionado, apresentando grãos subarredondados (**Figura 13D**). Por vezes apresenta níveis mais argilosos, de coloração cinza escuro. Reação ao HCl mostrou-se muito fraca. Indicando que já se tratava da Formação Marituba (2)

- **Profundidade do topo:** 161,71 m
- **Profundidade da base:** 256,65 m
- **Espessura:** 94,96 m



**Figura 12** - (A) Plano de fratura com estriaes em marga “chocolate” (168,00 m); (B) Calcarenito intensamente fraturado (170,50 m); (C) Contato calcilutito cinza escuro esverdeado e calcarenito cinza claro (177,47 m), e; (D) Intercalação de calcilutito cinza esverdeado e em meio a camada de calcarenito (188,92 m).





**Figura 13** - (A) Calcarenito/Calcário com intercalações de margas esverdeadas (201,64 m); (B) Argilito cinza escuro/esverdeado com nódulos milimétricos de calcário (204,92 m); (C) fóssil de molusco bivalve, em meio a calcarenito cinza fino a grosso inconsolidado (227,75 m), e; (D) Arenito muito fino a fino, com matriz quartzosa, bem selecionado, com grãos subarredondados (259,76 m).

#### 5.3.4 Formação Marituba (2)

Sob a denominação informal de Formação Marituba (2) foram incluídos arenitos e sedimentos clásticos arenosos quando se mostram predominantemente inconsolidados (**Figura 14A e 14B**), com cores variando do cinza claro ao bege, granulação muito fina a grossa, sendo mal selecionados. Os grãos são sub-arredondados a angulosos, predominantemente de quartzo, porém também ocorrendo grânulos de rocha máfica com pirita. Eventualmente mostra matriz argilosa (nódulos de argila também ocorrem). No topo do intervalo, próximo do contato dos calcarenitos da Formação Mosqueiro, mostram fraca reação ao HCl.

Em 283,60 m ocorre a presença fragmentos de sulfeto maciço (**Figura 14C**).

O nível de argilito arenoso, que ocorre entre 261,39 m até 269,23 m (7,84 m de espessura), possui cor cinza com tons amarronzados, mostrando passagens centimétricas de areia argilosa. Observou-se plano de fratura em 263,31 m (**Figura 14D**).

Entre 298,88 m e 301,16 m foi atravessado nível de calcarenito fino, formado por grãos médios a grossos de quartzo angulosos e fragmentos de rocha máfica dispersos numa matriz calcilutítica.

- **Profundidade do topo:** 256,65 m
- **Profundidade da base:** 303,27 m
- **Espessura:** 46,62 m



**Figura 14** - (A) Intervalo 279,57 m até 284,65 m mostrando o aspecto inconsolidado dos intervalos arenosos; (B) Aspecto do arenito/areia inconsolidado (260,66 m); (C) Nível sulfetado em meio a calcarenitos (303,40 m), e; (D) Manobra TEST 91 (intervalo de 297,40 m até 303,40 m), mostrando testemunho com passagens de arenitos e calcarenitos, consolidadas a semi-consolidadas.



### 5.3.5 Formação Muribeca (Membro Ibura)

A Formação Muribeca (Membro Ibura) apresenta-se constituída essencialmente por calcilutitos bege a cinza, laminados, sub-horizontais, com múltiplas intercalações de marga cinza e argilito negro (presença de pirita nos intervalos mais escuros é comum).

Foi identificada a presença de pirita e mineral preto com brilho vítreo (esfalerita). Moldes preenchidos por cristais de calcita e presença de bivalvos (**Figura 15A**) estão presentes. São comuns intercalações de calcarenito.

Os calcilutitos mostram estruturas que variam do aspecto maciço a micro-laminações plano-paralelas e estruturas de escorregamento como micro-dobradas (**Figura 15B e 15C**). Há porções exibindo dissolução com geração de porosidade secundária. Conteúdo fossilífero também foi observado nestes litotipos. Níveis de argilito calcífero ocorrem nas posições: 310,84 m a 310,87 m, 314,76 m a 314,89 m e 315,27 m a 315,40 m.

O intervalo entre 315,40 m e 336,30 m o intervalo é composto por argilito calcífero cinza escuro a preto, exibindo laminações milimétricas plano-paralelas sub-horizontais de calcilutito bege. Destaca-se neste intervalo cavidade com preenchimento de calcita "dente-de-cão" (**Figura 15D**) e localmente processos de dissolução/preenchimento. Ocorre nível de calcilutito entre 326,23 m e 326,83 m com níveis centimétricos de marga. Estruturas de deformação dúctil (como escorregamento ou *slump*) são comuns no intervalo.

Também foi identificado um nível estreito de marga cinza escuro, passando a calcilutito entre 317,40 m a 317,73 m. A partir de 318,43 m há passagem gradual para argilito calcífero preto até o final do intervalo.

O intervalo apresenta-se fraturado em 308,10 m, 313,76 m a 314,09 m, 316,96 m, 317,40 m, 324,33 m, 324,50 m, 350,04 m e 350,65 m (**Figura 16A e 16B**).

Os calcilutitos apresentam carstificação gerando porosidade secundária, apresenta também pequenas estruturas dúcteis e rúpteis em suas camadas laminares (**Figura 17C**). Ocorrem intercalações centimétricas de calcarenito e margas. O acamamento tem medidas de  $S_0 = 42^\circ$  a  $65^\circ$  (**Figura 17B**). Entre 347,03 m a 347,60 m o intervalo fica amarronzado, indicando presença de óxido de manganês;

Ocorre também calcarenito bege maciço com intercalações laminares milimétricas a centimétricas de marga e argilito cinza escuros. Apresenta-se carstificado com porosidade secundária desenvolvida. Há ocorrência de mica e mineral opaco. O intervalo apresenta fraturas longitudinais. Há pequenos níveis intercalados de marga e argilito. Marga cinza entre 371,28 m a 371,40 m, 373,07 m a 373,25 m e 373,83 m a 374,92 m (**Figura 17D**);

O calcário brechado cinza apresenta-se formado por fragmentos calcilutíticos, argilosos e margosos. Há presença de pirita. O intervalo apresenta-se carstificado com porosidade secundária desenvolvida (**Figura 17A**). No final do intervalo há um aumento na proporção de calcilutito bege;

Discreto nível de folhelho cinza com fragmentos e laminações milimétricas de calcário alterado ocorre no intervalo. Mostra plano de fratura em 337,91 m, formado  $42^\circ$  em relação ao eixo do testemunho.

- **Profundidade do topo:** 303,27 m
- **Profundidade da base:** 376,55 m
- **Espessura:** 73,28 m



**Figura 15** - (A) Calcarenito fossilífero (seta) fraturado (306,60 m); (B) Estruturas *sin*-sedimentares (microlaminações e microdobras) em argilito calcífero com  $S_0$  sublinhado por “linhas” de calcarenito; (C) Estruturas *sin*-sedimentares na forma de micro-falhas (intervalo 321-327 m), e; (D) Cavidade preenchida por cristais de calcita do tipo dente de cão” (322,70 m).



**Figura 16** - (A) Sistema de fraturas entre 313,76 m e 314,09 m desenvolvidos em calcilutitos, e; (B) Plano de fratura/espelho desenvolvido em marga com presença de indicadores cinemáticos (estrias e *steps*) em 316,96 m.





**Figura 17** - Testemunhos pertencentes a Formação Muribeca (Membro Ibura): (A) Calcário laminado com feições de dissolução (336,44 m); (B) Calcilutito laminado com níveis milimétricos carbonáticos marcando o  $S_0$ , com inclinação de  $42^\circ$  em relação ao eixo do testemunho (343,99 m); (C) Plano de fratura em calcilutito exibindo feições de *slump* micro dobrado (350,15 m), e; (D) Calcarenito maciço (354,50 m).

### 5.3.6 Formação Poção

A Formação Poção é composta por sedimentos clásticos de sistemas de deposição alúvio-deltaicos e como tal apresenta uma variedade de termos siliciclásticos que variam de argilitos até conglomerados, por vezes exibindo contribuição carbonática, compondo camadas intercaladas com espessuras que vão de milimétricas a decimétricas. Os principais litotipos apresentam-se descritos.

- **Profundidade do topo:** 376,55 m
- **Profundidade da base:** 748,13 m
- **Espessura:** 371,58 m

#### 5.3.6.1 Arenitos

O topo da Formação Poção apresenta-se composta essencialmente por arenito cinza escuro a esverdeado, friáveis, de granulometria fina a grossa, por vezes sendo conglomerático, poroso, grão-suportado com matriz carbonática (**Figura 18A, 18B e 18E**).

Os grãos de quartzo são leitosos e sub-angulosos a sub-arredondados e além destes apresentam-se compostos por litoclastos de rocha máfica. Há ocorrência de lamelas de mica, mineral opaco e localmente fragmentos milimétricos de calcário alterado. Arenito cinza escuro, muito fino a fino, argiloso com matriz carbonática e ocorrência de mica e mineral opaco entre 376,28 m a 376,55 m. Intercalações de calcarenito bege, muito fino e carstificado ocorrem entre 381,10 m a 381,34 m, 381,64 m a 381,72 m, 383,34 m a 383,66 m, 384,03 m a 384,17 m, 385,34 m a 385,55 m.

Também apresenta arenito conglomerático (**Figura 18C**), matriz suportado, com clastos de quartzo atingindo fração grânulo, sub-arredondados a angulosos e litoclastos na fração seixo, sub-angulosos a angulosos de rocha máfica com pirita. A matriz é arenosa média a muito grossa com carbonato. O intervalo contém fragmentos milimétricos de rocha máfica com pirita, carbonato e coquinas (**Figura 18D**). Planos de fratura também ocorrem no intervalo (**Figura 18F**).

A transição entre os arenitos e os conglomerados pode ser visualizada na **Figura 18G**. Os arenitos também ocorrem na forma matriz do ortoconglomerado, adquirindo coloração cinza esverdeado a verde, granulometria fina a muito grossa, sendo constituído por grânulos de quartzo leitoso e de fragmentos de rocha máfica, sub-arredondados a angulosos, contendo ainda mica, pirita e pouco carbonato.

Outra fácies comum nos arenitos são os termos líticos, cinza a cinza esverdeado, fino a muito grosso, sub-anguloso a arredondado, milimétricos, contendo fragmento de rocha félsica, rocha máfica, mica e pirita, além de grânulos esparsos no arenito (**Figura 18H**).

São comuns também presença de intercalações de calcarenito bege fino a médio. O intervalo contém mica, pirita, fragmentos milimétricos de rocha máfica e carbonato (**Figura 18I e 18J**);





**Figura 18** - Testemunhos pertencentes a Formação Poção: (A) Arenito cinza escuro, carbonático, friável (375,95 m), e; (B) Arenito conglomerático (Para-conglomerado) cinza claro, formado por grânulos de quartzo e litoclastos de rocha máfica (407,73 m); (C) Arenito conglomerático com coquina (415,35 m). (D) Contato entre arenito cinza escuro com calcarenito bege (384,05 m).



**Figura 18 -** (E) Arenito cinza com variações esverdeadas, médio a grosso, aspecto maciço (428,85m); (F) Plano de fratura em arenito com passagens de folhelho (446,80m); (G) continuação do pacote litológico acima, mostrando a sequência de testemunhos de 475,27m até 485,57m (caixas 456 até 467), exibindo o topo do fluxo de detritos, caracterizados por arenitos médio a grossos, em passagem gradual na base para conglomerados.



**Figura 18** - (H) Arenito lítico exibindo litoclastos subarredondados milimétricos (621,45 m); (I) Arenito lítico, exibindo intercalação irregular de calcarenito (670,70 m); (J) Intervalo entre 680,83 m até 684,39 m exibindo arenitos conglomeráticos (topo) gradando a arenitos médios a grossos e em seguida voltando para arenitos conglomeráticos (base).



#### 5.3.6.2 Argilitos, Siltitos e Folhelhos

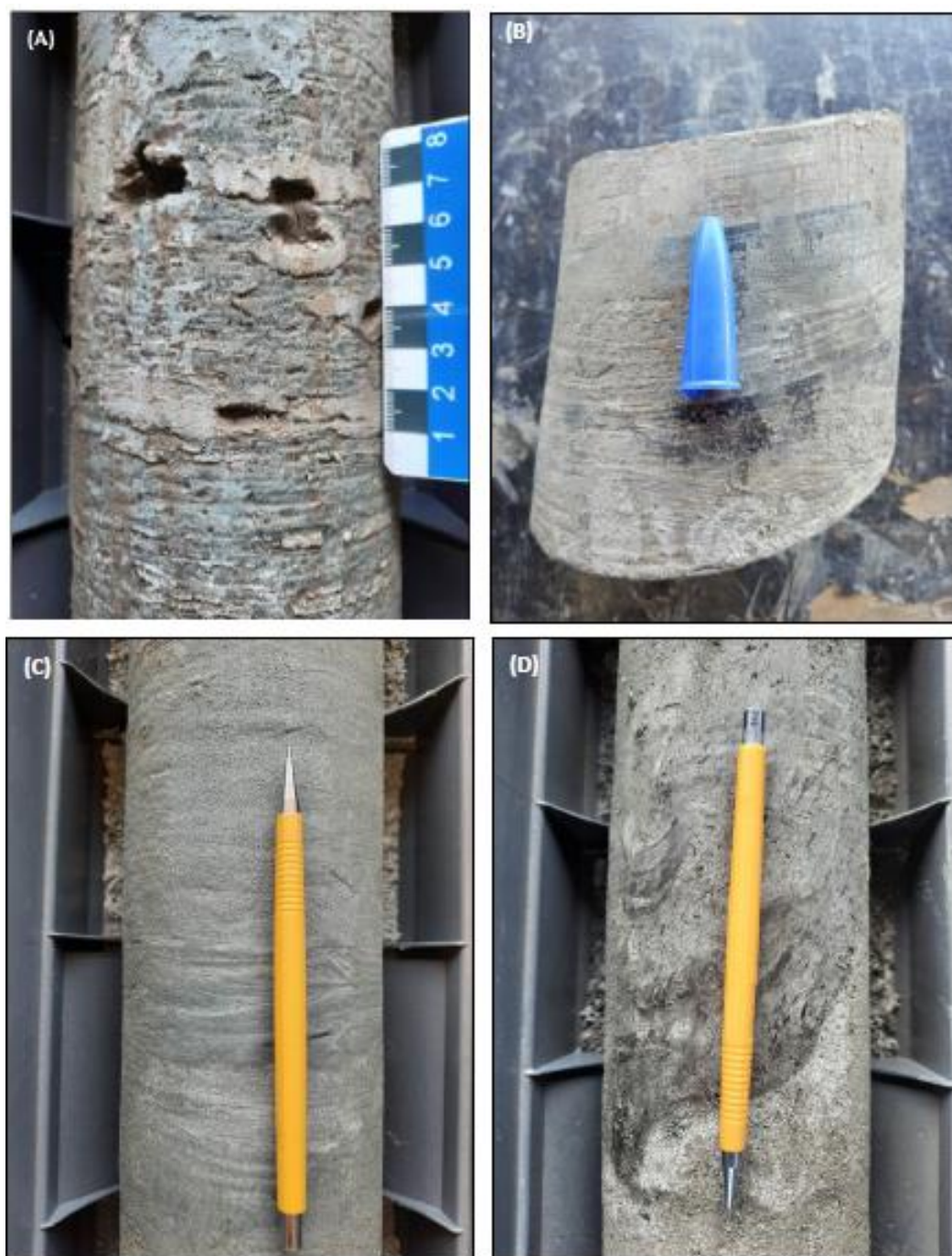
Siltito cinza esverdeado, maciço com porções de granulometria areia muito fina. Contém mica e mineral opaco. Ocorre calcarenito bege e fino entre 386,61 m a 386,76 m e 387,22 m a 387,29 m e calcilutito entre 390,55 m a 390,64 m e 390,73 m a 390,87 m.

Também ocorre siltito cinza esverdeado com intercalações centimétricas a milimétricas de calcilutito laminado (**Figura 19A**). Contém mica e pirita além de fragmentos centimétricos de calcário dispersos na matriz. Estreitas camadas de arenito fino, localmente médio e com matriz siltosa a areno-siltosa também ocorrem e mostram grãos de quartzo leitosos e sub-arredondados;

Entre 444,33 m até 451,21 m ocorrem intercalações centimétricas a decimétricas de folhelho cinza escuro/preto com calcilutito, calcarenito e arenito fino (**Figura 19B**).

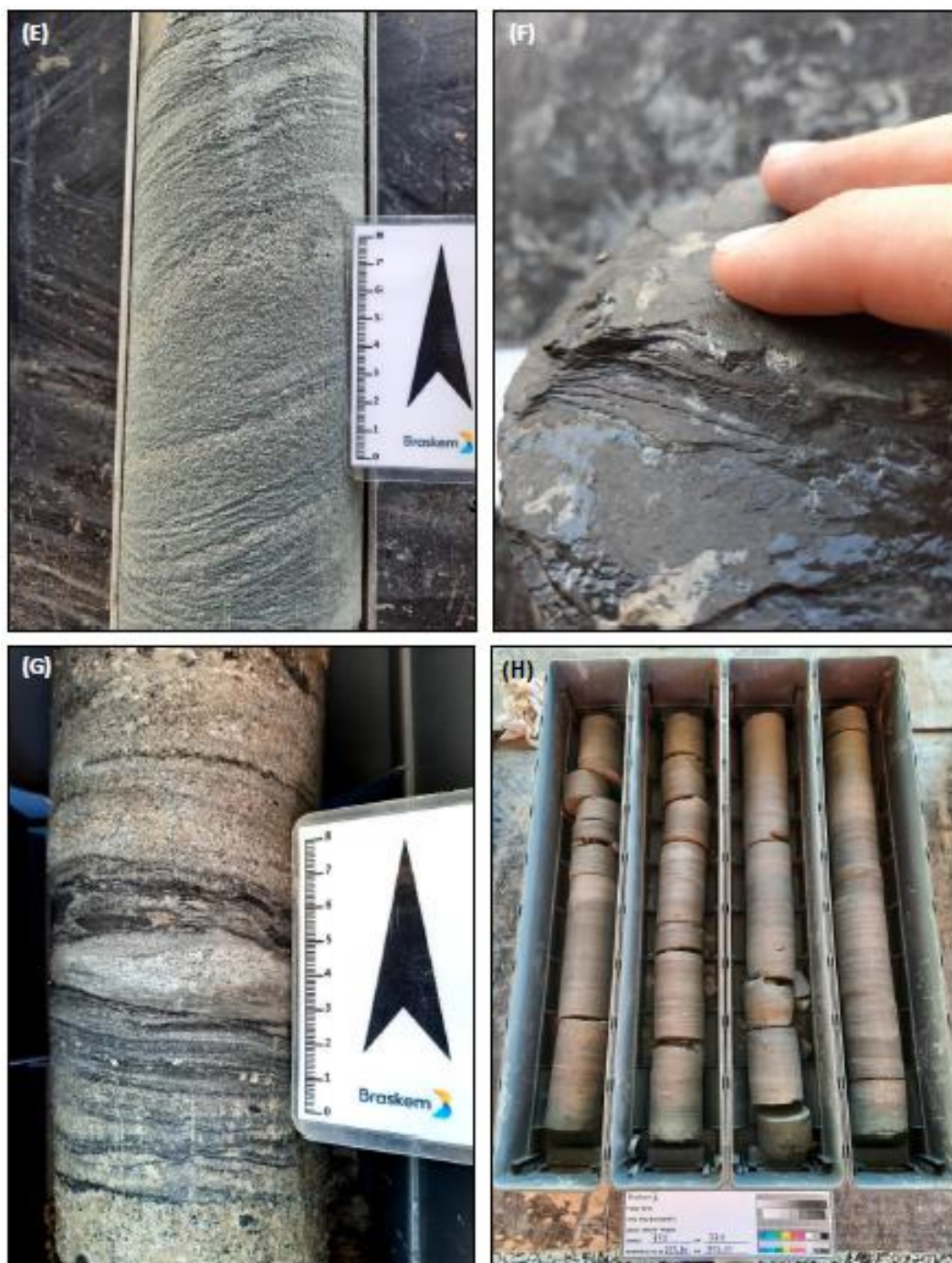
Os siltitos possuem coloração cinza, estratificação plano-paralela identificada em 494,40 m e por vezes estratificação cruzada tangencial na base (**Figura 19C**) incipiente com intercalações de arenito muito fino bege a cinza e folhelho cinza escuro. A partir de 500,74 m começam a aparecer também intercalações de calcarenito de coloração bege a cinza. Ao longo do intervalo as intercalações de arenito variam de predominantemente muito fino para fino a médio e apresenta fragmentos milimétricos de rocha máfica contendo pirita, grãos de quartzo leitoso e carbonato na matriz.  $S_0$  com ângulo de  $72^\circ$  em 498,25 m;  $65^\circ$  em 501,00 m e  $61^\circ$  em 502,80 m. Plano de fratura em 501,78 m ( $16^\circ$ ).

Os folhelhos mostram coloração cinza escuro e exibem estratificação plano-paralela com  $S_0 = 73^\circ$  (por todo o intervalo). São comuns intercalações de calcarenito e calcilutito bege a cinza laminados e arenito muito fino bege a cinza com alguns fragmentos de matéria orgânica misturados na rocha (**Figura 19D**). Nestes intervalos escuros é comum a presença de pirita. A rocha apresenta-se fraturada no final do intervalo, quase sempre ocorrendo nos planos de  $S_0$ .



**Figura 19** - Testemunhos pertencentes a Formação Poção: (A) Siltito cinza-esverdeado com intercalação de calcilutito (395,50 m); (B) Intercalações de folhelho (cinza escuro) com calcilutito e calcarenitos (cinza claro), com  $S_0$  marcante (444,50 m); (C) Siltito com intercalação de arenitos exibindo estratificações cruzadas de pequeno porte (499,35 m), e; (D) Intercalação de folhelho com arenito mostrando fragmentos de matéria orgânica (512,85 m).



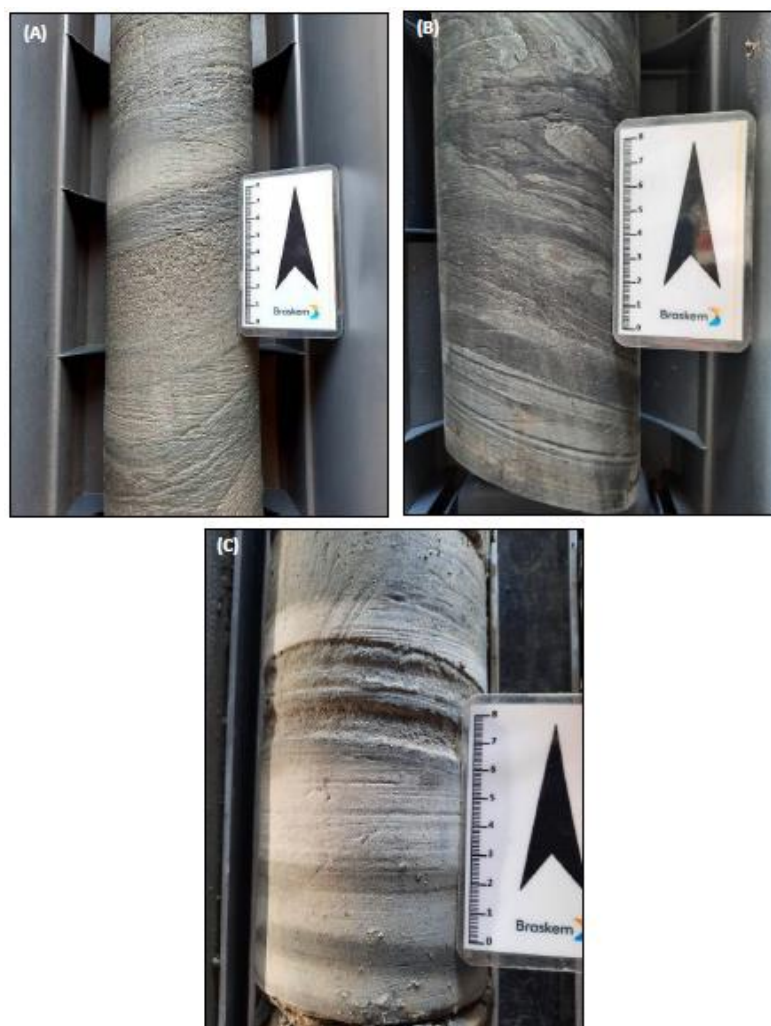


**Figura 19 -** (E) Intercalação de arenito, folhelho, argilito e calcarenito com acamamento  $S_0=65^\circ$  (553,00 m); (F) Detalhe do Folhelho preto, laminado (571,87 m); (G) detalhe da intercalação de folhelho em arenito conglomerático da fotografia 1C -(721,50 m), e; (H) Intervalo entre 733,80 m até 737,51 m exibindo intercalação folhelhos, argilitos, arenito e calcarenitos.

### 5.3.6.3 Calcarenitos e Calcilutitos

Calcarenito cinza à bege, fino, maciço, e calcilutitos cinza escuros, laminados a maciços, ocorrem juntamente com os siltitos, argilitos e folhelhos, como litologias acessórias e comumente na forma de intercalações nos pacotes de arenito (**Figura 20A**).

Intercalações de folhelho preto, calcilutito bege a cinza, argilito cinza, arenito cinza a bege também ocorrem e apresentam frequentemente o acamamento ( $S_0$ ) caracterizado por uma estratificação planar que por vezes apresenta dobras *sin*-sedimentares, certamente originados por processos de *slump* (**Figuras 20B e 20C**). Em 607,15 m o  $S_0$  varia de 64° a 68° em relação ao eixo do testemunho, porém as dobras são desarmônicas, neste ponto um estudo de microestrutural seria importante para a visualização da geometria das camadas e reconstituição do processo deformacional singenético.



**Figura 20** - Testemunhos pertencentes a Formação Poção: (A) Intercalações de arenito com folhelho e calcarenito (579,93 m); (B) estruturas de escorregamento em folhelho com intercalações de calcarenito e argilito (607,15 m); (C) Intercalações de siltito, calcarenitos e argilitos, estes exibindo maior desgaste no testemunho (696,50 m).

#### 5.3.6.4 Conglomerados

Os conglomerados mostram matriz arenosa, cinza, fina a média. O arcabouço é formado por grânulos de quartzo e litoclastos centimétricos de até 26 cm no eixo de maior exposição (**Figura 21A**), arredondados de composição granítica/granodiorítica com ocorrência de sulfetos. A matriz é formada por grãos milimétricos de quartzo subarredondados, fragmentos de rocha máfica e mica.

Os conglomerados são formados por matriz arenosa de cor cinza, granulação fina a grossa, sendo compostos por grãos de quartzo leitosos, sub-angulosos a sub-arredondados, além de mica e fragmentos milimétricos de rocha máfica. O arcabouço, polimítico, que é formado por grânulos de quartzo indo até matacões de composição granítica/granodiorítica (localmente de granito alcalino) com até 65 cm de tamanho no eixo de maior exposição. Os minerais essenciais dos litoclastos são quartzo, plagioclásio, biotita e hornblenda, tendo pirita e localmente clorita como acessório.

Já os ortoconglomerados são polimíticos (**Figuras 21B e 21H**) e mostram-se compostos por litoclastos angulosos a arredondados, inseridos nas frações grânulo a matacão. Até o momento foram identificadas 4 fácies graníticas distintas, sendo:

- a. Fácies Melanocrática; de granulação fina, formada por anfibólios e plagioclásio;
- b. Fácies Leucocrática; composta por plagioclásio e biotita;
- c. Fácies Alcalina: de coloração avermelhada, textura fanerítica equigranular fina a média, onde predomina o k-feldspato sobre o plagioclásio, e;
- d. Fácies Porfirítica: similar a terceira, de natureza alcalina, porém com textura porfirítica com destaque para os cristais centimétricos de k-feldspato imersos numa matriz quartzo-feldspática com biotita.

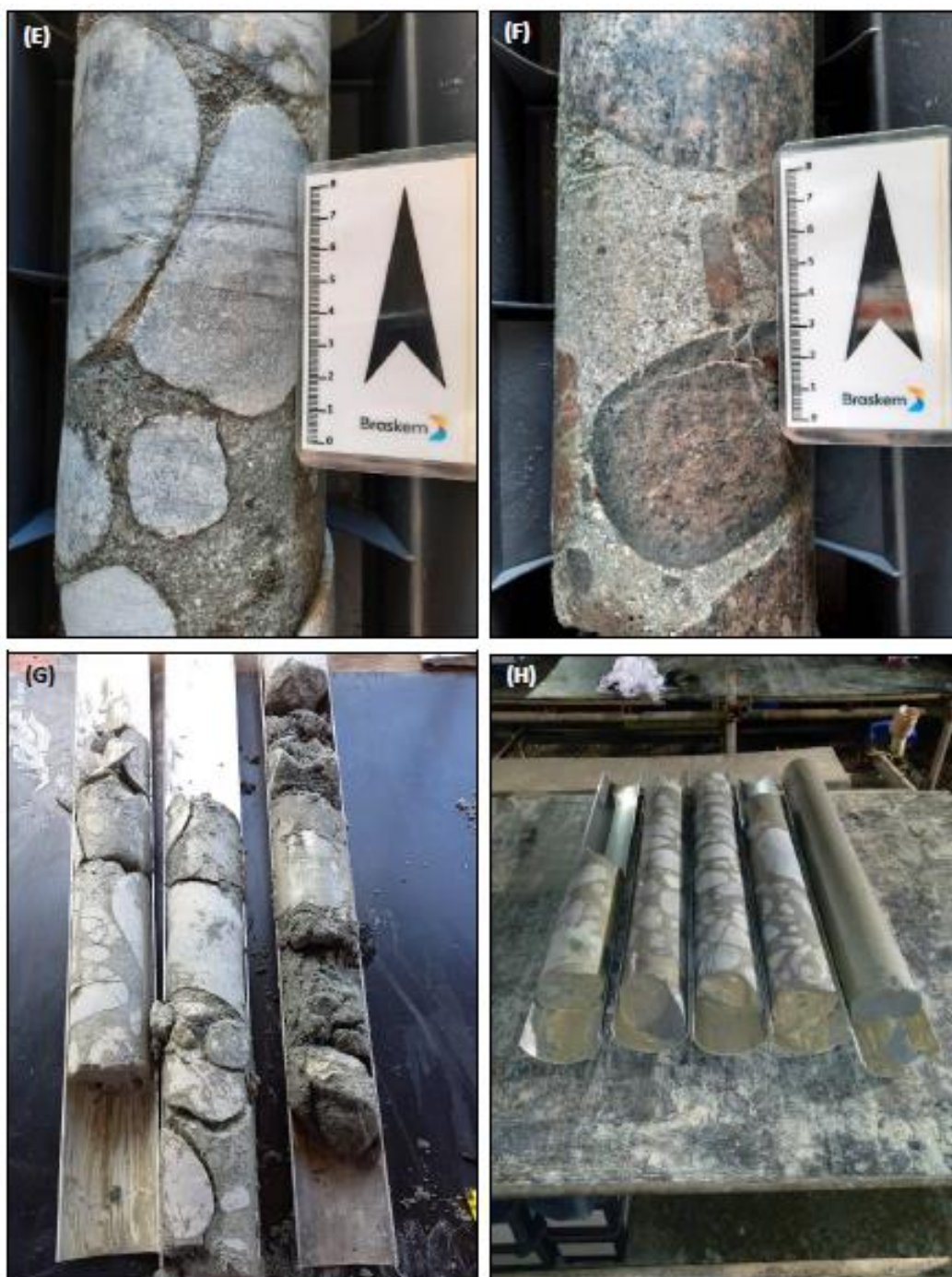
Os paraconglomerados (**Figura 21C**) são caracterizados pelo arcabouço composto de arenito contendo esparsos litoclastos de composição granítica. O arenito da matriz é cinza esverdeado, fino a muito grosso, composto por grânulos de quartzo leitoso e de fragmentos de rocha máfica, angulosos a sub-arredondados, além de acessórios como mica, carbonato e por vezes pirita. A porção clástica, é formada por litoclastos de granito cinza, localmente róseos, angulosos a sub-arredondados ocorrendo nas frações grânulo a calhau.

Os litoclastos por vezes apresentam-se alterados e fraturados (**Figuras 21D, 21E e 21F**). A matriz arenítica é cinza, fina a grossa, contendo grânulos de quartzo leitoso e grânulos de fragmentos de rocha máfica, angulosos a sub-arredondados, contém mica, carbonato e por vezes pirita. O contraste da resistência entre arcabouço e matriz, como exibido na Fotografia 06G tornam a operação de testemunhagem bastante desafiadora em termos de recuperação do testemunho íntegro.





**Figura 21** - (A) Conglomerado composto por blocos de granito/granodiorito arredondados (454,63 m); (B) Ortoconglomerado exibindo litoclastos subarredondados formando o arcabouço da rocha (462,10 m); (C) Paraconglomerado com arcabouço de arenitos e litoclastos dispersos (473,60 m); (D) Ortoconglomerados típico formados por litoclastos de granito/granodiorito arredondados e fraturados (481,92 m).



**Figura 21** - (E) Ortoconglomerado típico (595,90 m); (F) Detalhe dos clastos graníticos subarredondados (598,85 m); (G) TEST 163 exibindo aspecto do conglomerado indo do íntegro ao fortemente fragmentado. Verifica-se o contraste de competência no pacote litológico, dificultando os ajustes na perfuração, e; (H) Intervalo entre 655,25 m até 658,75 m exibindo conglomerados polimíticos (topo) gradando a arenitos (base).



### 5.3.7 Formação Maceió (Membro Tabuleiro dos Martins)

A transição entre as formações Poção e Maceió (Membro Tabuleiro dos Martins) é marcado(a) por intercalações/interdigitações de uma formação com a outra refletindo a alternância dos processos deposicionais.

As interdigitações da Formação Poção são tipicamente caracterizadas por conglomerados composto de litoclastos graníticos imersos em matriz arenítica. Os litoclastos variam de arredondados a angulosos, tamanho de seixo a matacão (**Figura 22B**). A matriz arenítica é cinza, fina, sendo formada por mica, pirita e carbonato na matriz.

O Membro Tabuleiro dos Martins apresenta-se constituído essencialmente por folhelhos de coloração cinza escuro a preto com passagens bege. Localmente, junto da argila negra ocorre pirita.

É marcante o acamamento ( $S_0$ ), em geral retilíneo e penetrativo, configurando uma estrutura plano-paralela, definida pela intercalação milimétrica de níveis argilosos cinza escuros a negros (**Figura 22E e Figura 22G**) com níveis de calcário, calcarenito bege, calcilutito e/ou arenito cinza fino, que por vezes exibe matriz carbonática. Localmente também foram observadas estruturas como micro-ondulações e do tipo desarmônicas associados a processos de *slumps* (**Figura 22A**). Quando medido em relação ao eixo do testemunho, o  $S_0$  apresenta ângulos variando de 60 a 90°.

Localmente, os níveis de calcário apresentam brechamento *sin*-sedimentar e nódulos de argila negra (**Figura 22C**). Níveis com fósseis também ocorrem associados aos termos carbonáticos (**Figura 22D**).

Estruturas rúpteis como micro fraturas planas a onduladas, seladas por mineral esbranquiçado (**Figura 22F**), por vezes halita quando próximo do contato com a camada de sal-gema (**Figura 22H**), são comuns em todo o intervalo.

Na base do intervalo ocorrem argilito e folhelho cinza escuro a preto com intercalações laminares de calcário bege a cinza, por vezes brechado, níveis de arenito cinza muito fino, nódulos de matéria orgânica e pirita. A partir de 910,05 m há halita preenchendo fraturas.

- **Profundidade do topo:** 748,13 m
- **Profundidade da base:** 913,60 m
- **Espessura:** 165,47 m



**Figura 22** - (A) Testemunho típico do Membro Tabuleiro dos Martins, exibindo  $S_0$  marcante e penetrativo, com estruturas *sin*-sedimentares de *slump* (768,25 m); (B) Intervalo de 769,50 m até 772,08 m exibindo interdigitação de arenito conglomerático e conglomerado da Formação Poção; (C) Brecha sedimentar caracterizada por clastos de calcário (CAL) cimentados por folhelho (FLH) preto (812,20 m), e; (D) Detalhe da ocorrência de fósseis em meio a camada de calcário (837,74 m).



**Figura 22** - (E) detalhe do  $S_0$ , sublinhado pela intercalação milimétrica de argilito e calcário, típicos dos folhelhos do Membro Tabuleiro dos Martins (875,55m); (F) Intervalo de 907,41 m até 910,05 m exibindo intercalações entre folhelhos (cinza-escuro) e argilito recortados por fraturas preenchidas por calcita; (G) Intervalo de 885,94 m até 889,24 m exibindo intercalações entre folhelhos (cinza-escuro), calcário bege e arenito cinza-claro, e; (H) Detalhe da fratura preenchida por calcita com halita (ha) na parte central do preenchimento – 912,70 m.



### 5.3.8 Formação Maceió (Evaporitos Paripueira)

A unidade, informalmente denominada de Evaporitos Paripueira constituída predominantemente por sal-gema, com variações em tons cinza, amarelado e com porções cinza escuro com mistura de argila além de intercalações entre bandas com as cores citadas. Os cristais de sal-gema apresentam-se por vezes translúcidos, cuja granulação varia de milimétricos a centimétricos. Comumente ocorrem lentes de folhelho e/ou argilito cinza escuro a negro (**Figura 24B**) na forma de intercalações na camada de sal-gema.

Sua ocorrência inicia-se na profundidade 913,60 m com folhelhos apresentando preenchimento por halita e sua porção basal constituída de sal-gema cinza amarelado encontra-se a 1208,97 m.

As fácies mais comuns encontradas na camada de minério são as de cor cinza amarelada mosqueada e a fácies bandada alternada (**Figuras 24A, Figura 24C e Figura 24E**) com granulometria variável dos cristais de halita, indo de poucos milímetros a poucos centímetros. Por vezes exibem localmente discreta estratificação com mergulho variável. Trechos de coloração cinza bandado também ocorrem em extensões de vários metros.

Há na camada de sal-gema diferentes teores de impurezas que frequentemente aparecem na forma de argilas, distribuídas ou não em bandas (**Figura 24I e 24J**) que, dependendo da condição estrutural, estão inclinadas (**Figura 24C**) ou pontualmente horizontais (**Figura 24D**) ou ainda intercaladas com camadas ou lâminas de litologias geralmente clásticas como folhelho negro, arenito ou de natureza química ou biológica como porções com ocorrência de calcário.

Lentes de folhelho preto ( $S_0 = 45^\circ - 55^\circ$ ) por vezes mostram passagens de sal-gema cinza a impuro (**Figuras 24B e 24H**), níveis carbonáticos milimétricos (por vezes brechados) e arenito cinza fino a siltoso de matriz carbonática.

São abundantes as porções de brechas de folhelho/argilito preto ao longo do intervalo. Camadas centimétricas de folhelhos e argilitos cinza escuro a preto intercalados ao sal-gema são frequentes (**Figura 24F**).

A partir das descrições, os litotipos dos Evaporitos Paripueira foram classificados em 7 fácies distintas. São estas, cinco fácies de evaporitos, uma fácies de folhelho e uma fácies de sal e folhelho intercalados.

A distribuição em profundidade e porcentagem do total testemunhado estão apresentados a seguir na **Figura 23** e na **Tabela 3**.

- **Profundidade do topo:** 913,60 m
- **Profundidade da base:** 1208,97 m
- **Espessura:** 295,37 m

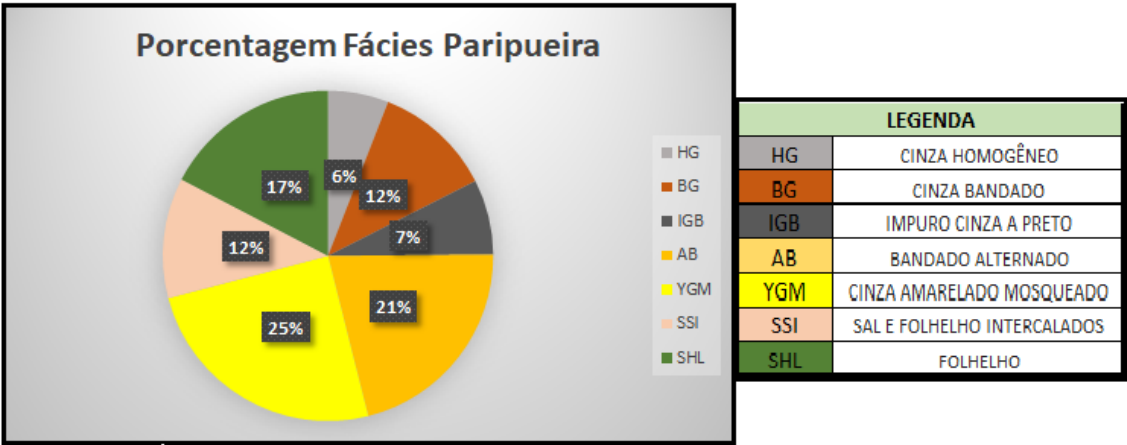


Figura 23 - Gráfico com as porcentagens das fácies descritas do total testemunhado dos Evaporitos Paripueira.

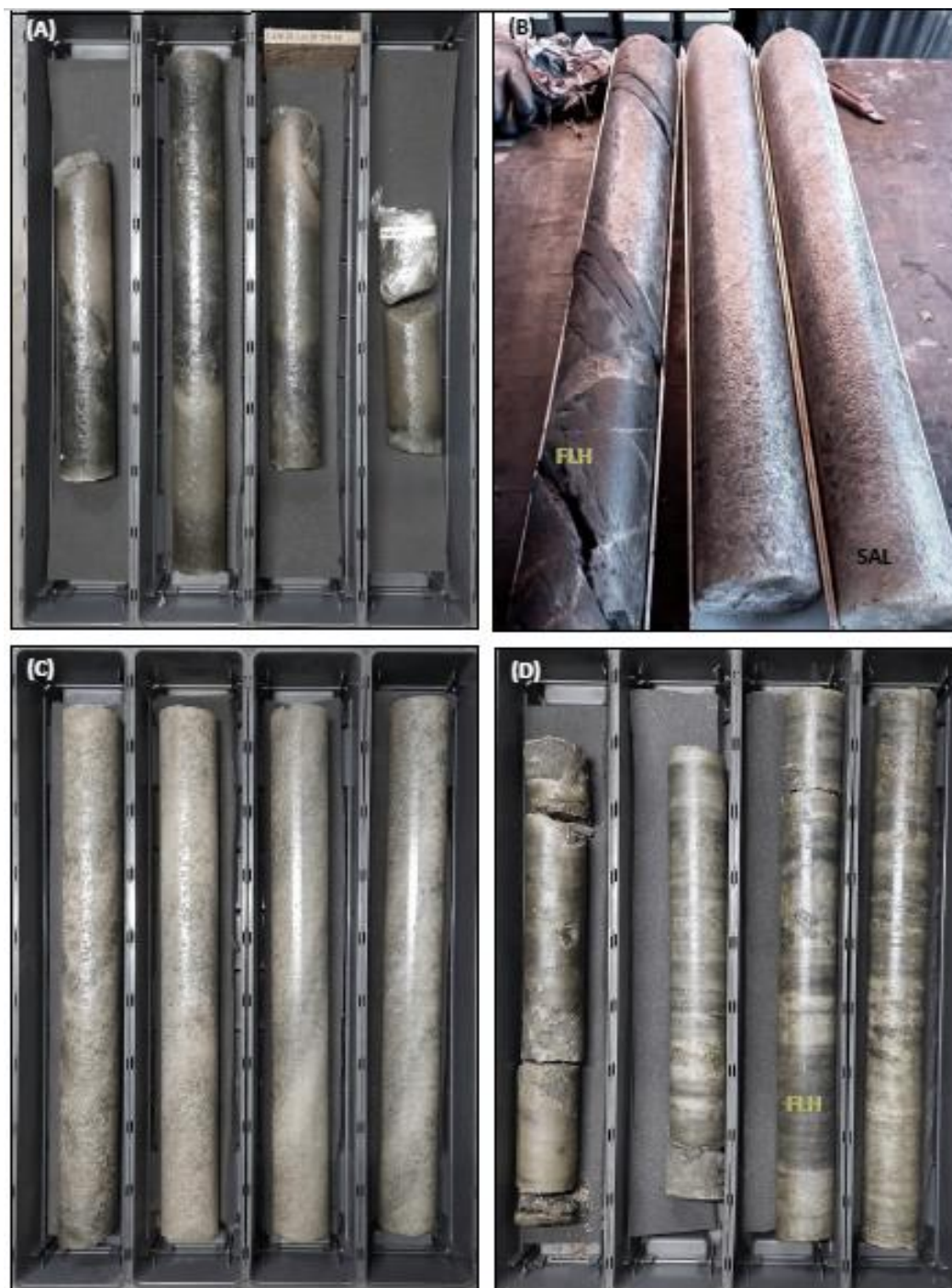
Tabela 3 - Fácies dos Evaporitos Paripueira em profundidade.

DE	ATÉ	ESP. (m)	LITOLOGIA
913,60	916,44	2,84	AB
916,44	919,08	2,64	AB
919,08	922,60	3,52	AB
922,60	926,04	3,44	YGM
926,04	929,00	2,96	YGM
929,00	929,91	0,91	SSI
929,91	936,50	6,59	SHL
936,50	944,62	8,12	YGM
944,62	947,26	2,64	AB
947,26	949,68	2,42	YGM
949,68	955,05	5,37	AB
955,05	987,84	32,79	YGM
987,84	993,00	5,16	AB
993,00	994,25	1,25	SHL
994,25	1004,10	9,85	AB
1004,10	1012,95	8,85	SHL
1012,95	1017,50	4,55	BG
1017,50	1025,80	8,30	SHL
1025,80	1033,80	8,00	IGB
1033,80	1035,80	2,00	BG
1035,80	1041,00	5,20	SHL
1041,00	1043,69	2,69	HG
1043,69	1050,51	6,82	AB
1050,51	1061,56	11,05	HG
1061,56	1069,40	7,84	IGB



1069,40	1090,58	21,18	AB
1090,58	1095,90	5,32	BG
1095,90	1096,75	0,85	SSI
1096,75	1101,17	4,42	BG
1101,17	1102,17	1,00	SHL
1102,17	1115,32	13,15	SSI
1115,32	1121,27	5,95	BG
1121,27	1124,71	3,44	HG
1124,71	1128,30	3,59	BG
1128,30	1130,26	1,96	YGM
1130,26	1132,26	2,00	IGB
1132,26	1133,16	0,90	SHL
1133,16	1134,94	1,78	SSI
1134,94	1136,90	1,96	SHL
1136,90	1144,50	7,60	SSI
1144,50	1152,35	7,85	SHL
1152,35	1153,75	1,40	IGB
1153,75	1161,06	7,31	SSI
1161,06	1162,82	1,76	SHL
1162,82	1169,75	6,93	AB
1169,75	1173,45	3,70	YGM
1173,45	1175,96	2,51	SSI
1175,96	1178,29	2,33	SHL
1178,29	1182,59	4,30	BG
1182,59	1183,59	1,00	YGM
1183,59	1187,90	4,31	SHL
1187,90	1189,97	2,07	IGB
1189,97	1198,42	8,45	YGM
1198,42	1200,34	1,92	BG
1200,34	1201,24	0,90	YGM
1201,24	1202,79	1,55	BG
1202,79	1208,97	6,18	YGM

**Tabela 4** - Fácies dos Evaporitos Paripueira em profundidade (continuação).



**Figura 24** - (A) Intervalo de 913,60 m até 916,44 m exibindo o topo da camada de sal-gema com bandas alternadas nas cores cinza claro e escuro e amarelada; (B) Zona de contato entre “lente” de folhelho e argilito negro (FLH) em meio a camada de sal-gema (SAL) em 929,50 m; (C) Intervalo de 937,68 m até 941,26 m exibindo aspecto da camada de sal-gema cinza amarelado; (D) Intervalo de 987,84 m até 991,13 m exibindo intercalações de folhelho (cinza-escuro) na camada de sal-gema.



**Figura 24** - (E) Intervalo de 997,27 m até 1.000,68 m exibindo camada de sal-gema cinza amarelado mosqueado; (F) Intervalo de 1.007,20 m até 1.010,30 m exibindo folhelho preto ( $S_0 = 45^\circ$  a  $55^\circ$ ), com intercalações centimétricas de sal-gema cinza, níveis carbonáticos e arenito cinza a siltoso de matriz carbonática; (G) Intervalo de 1.189,97 m até 1.193,25 m exibindo sal-gema impuro cinza a preto e; (H) Intervalo de 1.141,37 m até 1.144,60 m exibindo folhelho/argilito negro com fraturas preenchidas por sal-gema impuro.



**Figura 24** - (I) Intervalo de 1121,27 m até 1124,71 m exibindo camada de sal-gema cinza homogêneo; (J) Intervalo de 1090,58 m a 1094,07 m exibindo sal-gema cinza bandado.

#### 5.3.8.1 Processo de preparação das amostras de sal-gema

O sal-gema, quando fora de suas condições estáveis de confinamento, mostra-se sensível principalmente a água por sua natureza hidrófila. Devido a esta característica buscou-se saturar em NaCl o fluido de perfuração (entre 310 a 320g/l de NaCl) para estar em equilíbrio com o meio salino da camada de sal-gema. A manutenção destes parâmetros antes da entrada na zona de minério garantiu a recuperação integral dos testemunhos desde o topo da camada.

Quando em superfície, ao ser retirado do tubo interno, o testemunho foi rapidamente limpo com pano seco. Em seguida foi aplicada camada de vaselina e embalado com plástico filme (**Figura 25A e Figura 25B**). Esta metodologia foi adotada para manutenção das propriedades físicas e naturais dos testemunhos

Para preservação física das amostras, as quais serão submetidas a ensaios de compressão, adotou-se a preservação com cera (para manutenção das características naturais das amostras) e a utilização de tubo de alumínio para prevenção de impactos e danos físicos aos testemunhos. Estas técnicas de preservação podem ser vistas nas **Figuras 25C e Figura 25D**.





**Figura 25** - (A) Etapa de preparação dos testemunhos de sal-gema envolvendo limpeza do fluido de perfuração e aplicação da vaselina; (B) Detalhe do testemunho embalado em plástico filme; (C) Amostra parafinadas e embaladas com sacola de alumínio selada, e; (D) Detalhe das amostras preparadas com cera e embaladas com tubo de alumínio.

### 5.3.9 Formação Maceió (Membro Ponta Verde)

A última unidade geológica interceptada no Poço Estratigráfico PE-04 foi o Membro Ponta Verde, pertencente a Formação Maceió.

Seu topo está a 1208,97 m de profundidade e a perfuração se desenvolveu até 1236,19 m, ou seja, percorreu 27,22 m dentro da unidade basal (*footwall*) dos evaporitos.

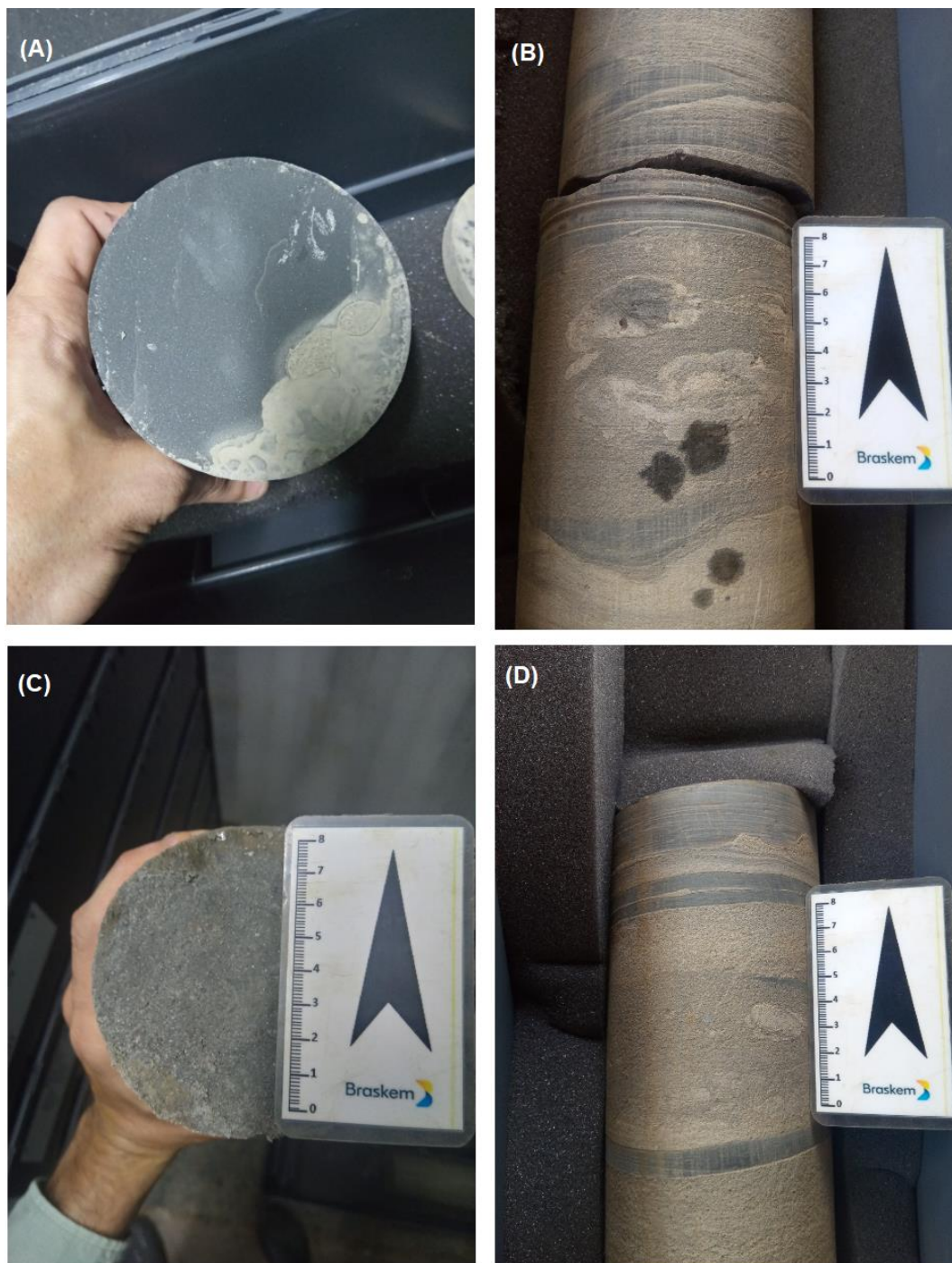
Estratigraficamente posicionado logo abaixo dos Evaporitos Paripueira, o Membro Ponta Verde é representado por um conjunto siliciclástico de folhelhos e arenitos, assim como intercalações centimétricas a decimétricas dessas litologias (**Figura 26D e Figura 26G**).

Os folhelhos apresentam alto grau de coesão, coloração cinza escuro a preto contendo porções micáceas (**Figura 26A**) e característico S0 sub-horizontal e estruturas *sin*-sedimentares dúcteis e rúpteis (**Figura 26E e Figura 26F**).

Os arenitos são cinza a bege, sua granulação varia de fino a médio (**Figura 26C**) e não mostram acamamento sedimentar (a não ser nas superfícies de intercalações), com seus grãos distribuídos de forma homogênea. A matriz desses litotipos contém pequena quantidade de carbonato na matriz e em algumas porções é possível observar inclusões de calcário bege (**Figura 26B**) assim como de argilite preto.

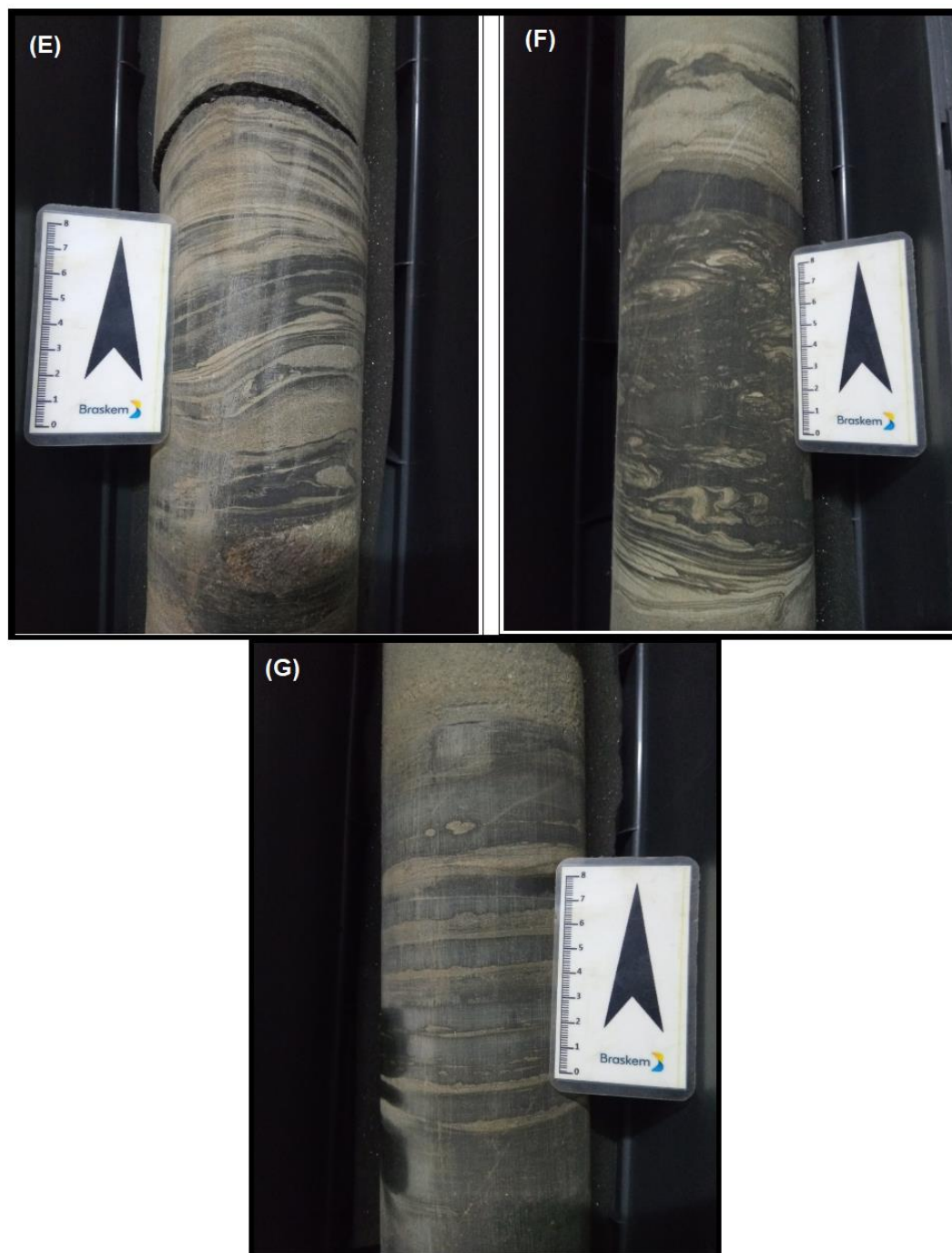
Entre 1208,97 m a 1213,09 m ocorrem folhelhos. Nesta profundidade começam as intercalações com os arenitos que se estendem até a profundidade 1225,09 m. Então temos uma camada de 6 m contínuos de folhelhos até 1231,09 m quando passa a predominar os arenitos até atingir a profundidade final do Poço Estratigráfico PE-04 em 1236,19 m.

- **Profundidade do topo:** 1208,97 m
- **Profundidade da base:** não atingida.
- **Espessura:** não identificada.



**Figura 26** - (A) Folhelho cinza escuro micáceo na profundidade 1209,85 m; (B) Camada de arenito apresentando inclusões de calcário na profundidade 1214,17 m; (C) Arenito fino de coloração cinza escuro na profundidade 1226,48 m; (D) Níveis centimétricos de argilito em arenito bege com inclusões de calcário.





**Figura 26** - (E) Deformação *sin*-sedimentar das superfícies de deposição S0 na profundidade 1232,06 m; (F) Estruturas rúpteis e dúcteis *sin*-sedimentares no Membro Ponta Verde na profundidade 1221,15 m; (G) Intercalações centimétricas de arenito bege em folhelho cinza escuro na profundidade 1224,60 m.



## 6. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E GEOMECÂNICA DOS TESTEMUNHOS

Parte da atividade de descrição dos testemunhos incluiu a classificação geotécnica e geomecânica, a fim de gerar informações para complementar o entendimento estrutural da geologia local e fornecer parâmetros para a avaliação técnica do comportamento do maciço.

Por se tratar de rochas sedimentares, a classificação geotécnica se ateve a três critérios, sendo estes: RQD (Rock Quality Designation), grau de coesão e grau de fraturamento.

Já a classificação geomecânica foi realizada através de dois métodos distintos, RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski e *Q System de Barton*. Ambos os métodos avaliam uma série de parâmetros relacionados à coesão, fraturamento, condições das fraturas e possível presença de água no maciço.

Para fins de documentação, foram tomadas fotografias ortogonais dos testemunhos que estão contidas no **Anexo 4**. A partir destas pode-se ter uma visualização superficial das propriedades físicas dos mesmos.

### 6.1 RQD, Grau de Coesão e Fraturamento

O *RQD (Rock Quality Designation)*, desenvolvido por Deere em 1967, é uma das classificações mais utilizadas para avaliação geotécnica de maciços, sendo também um fator considerado tanto no sistema Q quanto no RMR.

Consiste em um parâmetro que avalia a qualidade de uma rocha com base em seu grau de fraturamento por manobra de perfuração, a partir de análises de testemunhos de sondagens rotativas. O *RQD* é considerado uma adequação da medida da recuperação por manobra, onde fragmentos de rocha e trechos muito alterados não são contabilizados. É obtido pela relação entre o somatório dos fragmentos de testemunhos com comprimentos maiores ou iguais a 10 cm e o comprimento da manobra.

$$RQD = \frac{\sum \text{Comprimento dos Pedacos Maiores que 10cm}}{\text{Avanço da Manobra}}$$

Os critérios adotados para a avaliação do RQD foram uma adaptação dos critérios contidos na Instrução Normativa IN-02/94, sendo os seguintes:

- a) Somente foram considerados os testemunhos de rocha branda, não sendo contabilizados os intervalos de rochas muito brandas e solos;
- b) Não foram consideradas fraturas artificiais que evidentemente tenham sido causadas pela operação;
- c) A contagem do RQD se deu por manobra inteira (corrida testemunhada).

O grau de *RQD* é medido em percentual e a classificação de qualidade da rocha correspondente é a seguinte:

RQD%	Qualidade da Rocha
90 - 100	Excelente
75 - 90	Boa
50 - 75	Regular
25 - 50	Ruim
0 - 25	Péssima

**Tabela 5** - Classificação de qualidade da rocha de acordo com percentual do RQD.

A classificação utilizada para a determinação dos parâmetros de coesão seguiu aquela contida na Instrução Normativa IN-02/94.

O grau de coesão tem como objetivo avaliar, de forma indireta, as características de resistência da rocha através da análise de sua dureza, resistência ao impacto e desagregabilidade. A classificação dos diferentes graus de coesão pode ser visualizada na **Tabela 5**.

<b>C1</b>	- Rocha muito coerente: quebra com dificuldade ao golpe do martelo e os fragmentos possuem bordas cortantes que resistem ao corte com lâmina de aço. Superfície dificilmente riscável com aço. Somente escavável a fogo.
<b>C2</b>	- Rocha coerente: quebra com golpe do martelo, produzindo fragmentos com bordas que podem ser abatidas por lâmina de aço ou serem quebradiças por pressão dos dedos. Superfície riscável com aço, deixando sulcos leves. Escavável a fogo.
<b>C3</b>	- Rocha pouco coerente: quebra facilmente com golpe do martelo (esfarela), produzindo muitos fragmentos que podem ser partidos manualmente e as bordas dos fragmentos quebram facilmente com a pressão dos dedos. Superfície facilmente riscável com aço, deixando sulcos profundos. Escarificável.
<b>C4</b>	- Rocha friável: quebra facilmente com a pressão dos dedos, desagregando-se. Pode ser cortada com aço. Escavável com lâmina.

**Tabela 6** - Classes de coerência, conforme a IN-02/94.

O grau de fraturamento indica o número de descontinuidades por unidade litológica e por trecho de fraturamento homogêneo, independente da manobra. As descontinuidades referem-se a quaisquer planos que provoquem a separação física dos testemunhos, tais como: fraturas, juntas e micro-falhas. As exceções a esta classificação são as fraturas produzidas pela operação de sondagem e aquelas soldadas por material pétreo, de resistência igual ou superior à da rocha dominante no testemunho. A classificação dos diferentes graus de fraturamento pode ser visualizada na **Tabela 6**.

GRAU DE FRATURAMENTO	Nº DE FRATURAS POR METRO
F1 – rocha pouco fraturada	0 - 1
F2 – rocha fraturada	2 - 5
F3 – rocha muito fraturada	6 - 11
F4 – rocha extremamente fraturada	11 - 20
F5 – rocha fragmentada	> 20
Obs.: para zonas cisalhadas será atribuído o grau F5.	

**Tabela 7** - Classes de fraturamento, conforme a IN-02/94.

## 6.2 Classificações Geomecânicas *RMR* e *Q System*

O sistema de classificação *Rock Mass Rating (RMR)*, Bieniawski, 1989) se baseia no zoneamento do maciço rochoso de acordo com as características litológicas, estruturais ou o grau de alteração das formações rochosas. Originalmente criada com oito parâmetros geológico-geotécnicos, passou a ser constituída por seis parâmetros posteriormente, que são:

1. Resistência à compressão uniaxial;
2. Grau de fraturamento através de *RQD* ("*Rock Quality Designation*");
3. Espaçamento das descontinuidades;
4. Condições das descontinuidades;
5. Condições hidrogeológicas;
6. Orientação das descontinuidades.

Cada um dos parâmetros é classificado segundo a Tabela 7 abaixo e o seu somatório, variando de 0 a 100, permite a definição do índice de classificação *RMR*, item C (Classes de Maciços Rochosos) da mesma tabela.

A-PARÂMETRO DE CLASSIFICAÇÃO						
Resistência do material intacto	Índice Puntiforme	> 10 MPa	A1/A2 4 - 10 MPa	A3 e A3/A4 2 - 4 MPa	A4/A5 1 - 2 MPa	Somente para compressão simples
	Compressão Simples	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5-25 MPa 1-5 MPa <1 MPa
Peso		15	12	7	4	2 1 0
RQD (Rock Quality Designation)		90 - 100%	75 - 90%	50 - 75%	25 - 50%	<25%
Peso		20	17	13	8	3
Espaçamento entre as descontinuidades		>2m (F1)	0,6 - 2m (F1/F2)	200-600mm (F2)	60 - 200mm (F3/F4)	< 60mm (F4/F5)
Peso		20	15	10	8	5
Condições das descontinuidades		Superfícies muito rugosas, descontinuas, fechadas, paredes duras	Superfícies pouco rugosas, abertura < 1mm, paredes duras	Superfícies pouco rugosas, abertura < 1mm, paredes moles	Superfícies estriadas ou preenchimento <5mm ou abertura 1-5mm, contínuas	Preenchimento mole >5mm ou abertura > 5mm, contínuas
Peso		30	25	20	10	0
Água Subterrânea	Infiltração em 10m de túnel	0	<10L/min	10-25L/min	25-125L/min	>125L/min
	Pressão da água na fratura/tensão principal	0 (F1)	<0,1 (F2)	0,1 - 0,2 (F2/F3)	0,2 - 0,5 (F4/F5)	>0,5
	Condições Gerais	Seco	Umedecido	Úmido	Gotejamento	Fluxo abundante
Peso		15	10	7	4	0
B - AJUSTE PARA ORIENTAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES						
Direção e Mergulho		Muito Favorável	Favorável	Aceitável	Desfavorável	Muito desfavorável
Peso	Túneis	0	-2	-5	-10	-12
	Fundações	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60
C - CLASSES DE MACIÇOS ROCHOSOS						
Somatório dos pesos		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Classes de maciços		I	II	III	IV	V
Descrição		Muito bom	Bom	Regular	Pobre	Muito pobre

**Tabela 8** – Classificação de maciços rochosos pelo sistema *RMR* (adaptado de Bieniawski, 1989).

Já a classificação Q, também conhecida como *Q-System* ou *Rock Mass Quality*, proposta inicialmente por Barton *et al.*, (1974), foi aplicada a estabilidade de escavações e consiste na aplicação da seguinte fórmula:

$$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) \cdot \left( \frac{J_r}{J_a} \right) \cdot \left( \frac{J_w}{SRF} \right), \text{ onde}$$

**RQD** = Rock Quality Designation;

**J<sub>n</sub>** = Joint set number (número de famílias de juntas/fraturas);

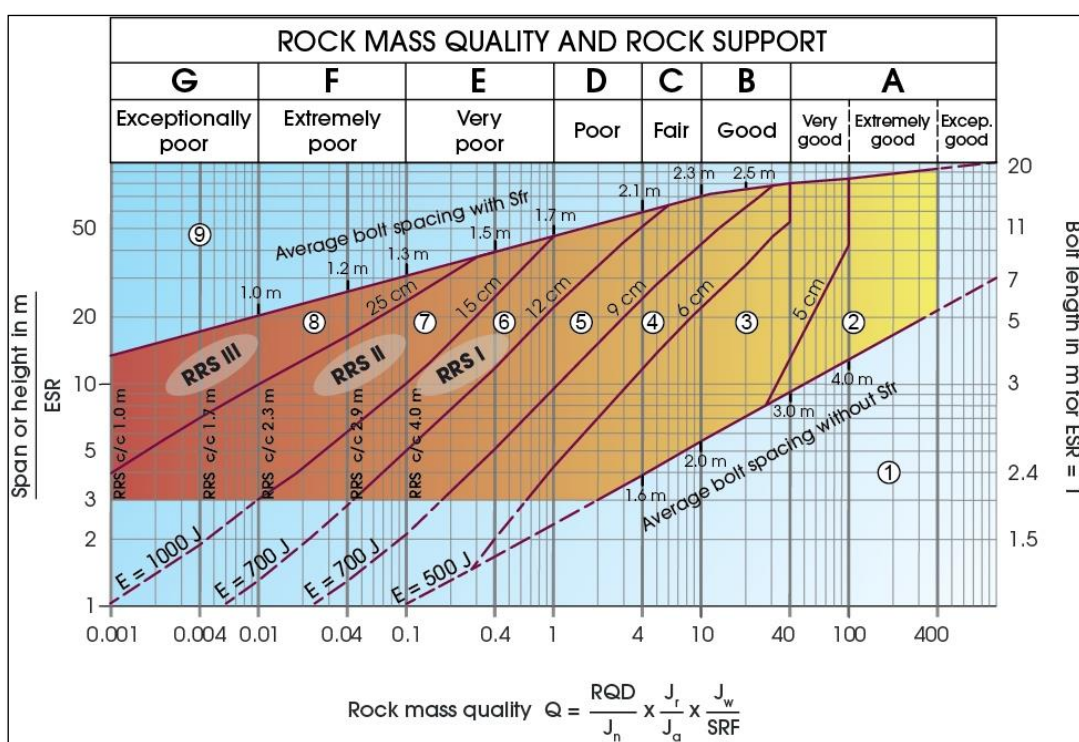
**J<sub>r</sub>** = Joint roughness (rugosidade das juntas/fraturas);

**J<sub>a</sub>** = Joint alteration (alteração das juntas/fraturas);

**J<sub>w</sub>** = Water inflow (presença de água);

**SRF** = Stress reduction factor (fator redutor pelo regime de tensão).

Os resultados dos índices do *Q System* são classificados conforme a **Figura 27**.



**Figura 27** - Classes definidas para o sistema Q de Barton (adaptado de *Grimstad e Barton*, 2002, figura extraída do site NGI.NO).

A análise de todos os fatores acima descritos, aplicados aos testemunhos do PE04, está contida na **Tabela 8**. A classificação vai até o contato do Membro Tabuleiro dos Martins com o topo dos Evaporitos Paripueira, pois os métodos de classificação não se aplicam para evaporitos.





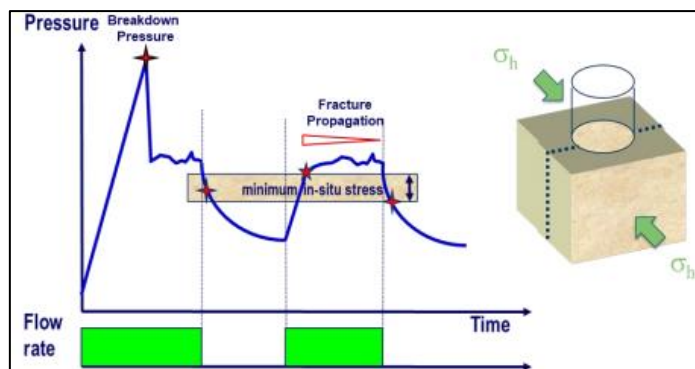
Test / Manobra	Profundidade (m) de até	Intervalo / Espessura (m)	Recuperado (m)	Recuperação (%)	Unidade Geológica	RQD %	Grau de Coerência	Grau de Fraturamento	RMR Score	RMR CLASS	RMR Descrição	Q range min CLASS	Q range min Descript.	Q most.freq CLASS	Q most.freq Descript.	
1	34.50	37.50	3.00	1.92	64.00%	Fm.Barreiras	10.00%	C4	n.a	19	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
2	37.50	40.50	3.00	1.22	40.67%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
3	40.50	43.50	3.00	1.80	60.00%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
4	43.50	44.80	1.30	1.00	76.92%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor
5	44.80	45.60	0.80	0.13	16.25%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
6	45.60	47.70	2.10	1.77	84.29%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor
7	47.70	50.70	3.00	0.50	16.67%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
8	50.70	53.70	3.00	0.08	2.67%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
9	53.70	55.20	1.50	0.00	0.00%		10.00%	C4	n.a	0	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
10	55.20	56.00	0.80	0.40	50.00%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
11	56.00	56.30	0.30	0.00	0.00%		10.00%	C4	n.a	0	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
12	56.30	57.80	1.50	1.00	66.67%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
13	57.80	59.46	1.66	0.65	39.16%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
14	59.46	61.72	2.26	2.20	97.35%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor
15	61.72	64.72	3.00	3.00	100.00%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor
16	64.72	68.72	4.00	3.37	84.25%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor
17	68.72	70.72	2.00	0.77	38.50%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
18	70.72	75.72	5.00	2.45	49.00%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
19	75.72	79.07	3.35	1.82	54.33%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
20	79.07	85.07	6.00	1.08	18.00%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
21	85.07	87.25	2.18	0.18	8.26%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
22	87.25	88.75	1.50	0.63	42.00%		10.00%	C4	n.a	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
23	88.75	90.35	1.60	0.72	45.00%		10.00%	C4	F1	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
24	90.35	93.51	3.16	1.00	83.33%		65.00%	C3	F2	29	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	E	Very Poor
25	93.51	93.55	2.00	1.38	69.00%		35.00%	C3	F1	24	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor
26	93.55	94.88	1.33	0.00	0.00%		10.00%	C4	F5	0	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
27	94.88	97.00	2.12	0.10	4.72%		10.00%	C4	F3	0	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
28	97.00	98.50	1.50	0.16	10.67%		10.00%	C4	F3	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
29	98.50	99.50	1.00	0.00	0.00%		10.00%	C4	F5	0	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
30	99.50	101.50	2.00	0.42	21.00%		10.00%	C4	F2	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor
31	101.50	105.70	4.20	0.34	8.10%	10.00%	C4	F2	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor	
32	105.70	107.70	2.00	1.82	91.00%	10.00%	C4	F1	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor	
33	107.70	110.70	3.00	2.01	67.00%	10.00%	C4	F1	16	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor	
34	110.70	113.36	2.66	1.17	43.98%	10.00%	C4	F1	16	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor	
35	113.36	115.45	2.09	0.50	23.92%	10.00%	C4	F2	16	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor	
36	115.45	117.45	2.00	0.00	0.00%	10.00%	C4	F5	0	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	F	Extremely Poor	
37	117.45	118.95	1.50	1.50	100.00%	85.00%	C3	F2	33	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor	
38	118.95	120.45	1.50	1.50	100.00%	80.00%	C3	F2	30	IV	Poor rock	E	Very Poor	E	Very Poor	
39	120.45	121.95	1.50	1.50	100.00%	75.00%	C3	F3	30	IV	Poor rock	E	Very Poor	E	Very Poor	
40	121.95	123.55	1.60	1.60	100.00%	65.00%	C3	F3	26	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor	
41	123.55	124.55	1.00	0.89	89.00%	65.00%	C3	F2	26	IV	Poor rock	E	Very Poor	E	Very Poor	
42	124.55	126.55	2.00	1.86	93.00%	85.00%	C3	F2	30	IV	Poor rock	E	Very Poor	E	Very Poor	
43	126.55	128.55	2.00	1.54	77.00%	75.00%	C3	F2	33	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor	
44	128.55	130.55	2.00	0.51	25.50%	15.00%	C4	F3	16	V	Very poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
45	130.55	131.55	1.00	1.00	100.00%	95.00%	C3	F2	46	III	Fair rock	E	Very Poor	F	Extremely Poor	
46	131.55	133.05	1.50	1.50	100.00%	85.00%	C3	F2	33	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor	
47	133.05	135.05	2.00	1.96	98.00%	95.00%	C3	F2	56	III	Fair rock	E	Very Poor	D	Poor	
48	135.05	137.05	2.00	2.00	100.00%	90.00%	C3	F2	46	III	Fair rock	E	Very Poor	D	Poor	
49	137.05	139.30	2.25	2.03	90.22%	75.00%	C3	F2	39	IV	Poor rock	E	Very Poor	E	Very Poor	
50	139.30	141.80	2.50	2.48	99.20%	75.00%	C3	F2	33	IV	Poor rock	E	Very Poor	E	Very Poor	
51	141.80	144.80	3.00	1.50	83.33%	65.00%	C3	F2	29	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
52	144.80	146.80	2.00	1.30	65.00%	45.00%	C4	F2	21	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
53	146.80	148.80	2.00	0.69	34.50%	25.00%	C4	F2	15	V	Very poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
54	148.80	150.30	1.50	1.46	97.33%	90.00%	C3	F2	36	IV	Poor rock	E	Very Poor	E	Very Poor	
55	150.30	151.80	1.50	1.50	100.00%	75.00%	C3	F2	30	IV	Poor rock	E	Very Poor	E	Very Poor	
56	151.80	153.30	1.50	1.23	82.00%	65.00%	C3	F2	26	IV	Poor rock	E	Very Poor	E	Very Poor	
57	153.30	154.80	1.50	1.50	100.00%	75.00%	C3	F2	30	IV	Poor rock	E	Very Poor	E	Very Poor	
58	154.80	156.40	1.60	1.60	100.00%	100.00%	C3	F1	48	III	Fair rock	E	Very Poor	D	Poor	
59	156.40	158.90	2.50	2.47	98.80%	95.00%	C3	F2	46	III	Fair rock	E	Very Poor	D	Poor	
60	158.90	161.90	3.00	3.00	100.00%	90.00%	C3	F1	33	IV	Poor rock	E	Very Poor	E	Very Poor	
61	161.90	164.90	3.00	2.85	95.00%	45.00%	C4	F2	20	V	Very poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
62	164.90	168.90	4.00	4.00	100.00%	55.00%	C3	F2	36	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
63	168.90	171.35	2.45	2.29	93.47%	25.00%	C3	F3	21	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
64	171.35	177.35	6.00	4.46	74.33%	45.00%	C4	F2	21	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
65	177.35	181.35	4.00	4.00	100.00%	85.00%	C3	F2	40	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor	
66	181.35	183.55	2.20	2.00	90.91%	25.00%	C3	F2	21	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
67	183.55	185.65	2.10	1.87	87.86%	70.00%	C4	F2	27	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor	
68	185.65	195.55	6.00	5.75	95.83%	55.00%	C4	F2	26	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
69	195.55	201.55	6.00	5.90	98.33%	65.00%	C4	F2	26	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
70	201.55	210.55	9.00	6.53	72.56%	35.00%	C4	F2	21	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
71	210.55	216.55	6.00	5.90	98.33%	65.00%	C3	F2	26	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
72	216.55	219.95	0.40	0.18	45.00%	10.00%	C4	F3	16	V	Very poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
73	219.95	223.95	4.00	3.70	82.71%	45.00%	C4	F2	21	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
74	223.95	227.75	3.80	3.80	100.00%	80.00%	C4	F2	30	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor	
75	227.75	229.15	1.40	1.40	100.00%	75.00%	C4	F2	33	IV	Poor rock	E	Very Poor	E	Very Poor	
76	229.15	235.65	6.50	5.57	85.69%	65.00%	C3	F2	26	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	D	Poor	
77	235.65	244.65	9.00	8.83	98.11%	65.00%	C3	F2	26	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	D	Poor	
78	244.65	256.65	12.00	8.94	74.50%	35.00%	C4	F1	21	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	D	Poor	
79	256.65	260.65	4.00	2.77	69.25%	65.00%	C4	F2	30	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	E	Very Poor	
80	260.65	261.65	1.00	0.50	50.00%	10.00%	C4	F3	15	V	Very poor rock	G	Excep. Poor	G	Excep. Poor	
81	261.65	264.15	2.50	1.75	70.00%	55.00%	C4	F2	27	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	E	Very Poor	
82	264.15	266.65	1.50	0.75	50.00%	45.00%	C3	F1	22	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	F	Extremely Poor	
83	266.65	267.15	0.50	1.50	100.00%	85.00%	C3	F2	44	III	Fair rock	F	Extremely Poor	D	Poor	
84	267.15	268.65	1.50	1.50	100.00%	85.00%	C3	F2	44	III	Fair rock	F	Extremely Poor	D	Poor	
85	268.65	272.65	4.00	4.00	100.00%	85.00%	C4	F2	34	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	E	Very Poor	
86	272.65	278.65	6.00	5.95	99.17%	85.00%	C4	F2	31	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	E	Very Poor	
87	278.65	284.65	6.00	4.83	80.50%	55.00%	C4	F2	27	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	E	Very Poor	
88	284.65															

Test / Manobra	Profundidade (m)	Q1 (m)	Intervalo / Espessura (m)	Recuperado (m)	Recuperação (%)	Unidade Geológica	RQD %	Grau de Coerência	Grau de Fraturamento	RMR Score	RMR CLASS	RMR Descrição	Q range min CLASS	Q range min Descript.	Q most.freq CLASS	Q most.freq Descript.
122	434.00	440.00	10.50	10.53	99.34%	Fm. Poção	85.00%	C2	F1	69	II	Good rock	E	Very Poor	D	Poor
123	444.60	450.21	5.61	5.61	100.00%		75.00%	C3	F2	42	III	Fair rock	E	Very Poor	E	Very Poor
124	450.21	451.21	1.00	0.87	87.00%		45.00%	C3	F3	24	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	E	Very Poor
125	451.21	456.32	5.11	4.14	81.02%		65.00%	C3	F2	32	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
126	456.32	456.86	0.54	0.52	96.30%		95.00%	C1	F2	74	II	Good rock	C	Fair	C	Fair
127	456.86	459.86	3.00	2.86	95.33%		45.00%	C3	F2	24	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
128	459.86	462.04	2.18	2.18	100.00%		45.00%	C3	F2	24	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
129	462.04	463.98	1.94	1.94	100.00%		65.00%	C3	F2	42	III	Fair rock	E	Very Poor	D	Poor
130	463.98	468.36	4.38	4.38	100.00%		85.00%	C2	F2	46	III	Fair rock	E	Very Poor	D	Poor
131	468.36	474.36	6.00	5.85	97.50%		92.50%	C2	F1	41	III	Fair rock	E	Very Poor	C	Fair
132	474.36	484.73	10.37	10.37	100.00%		90.00%	C2	F2	38	IV	Poor rock	E	Very Poor	C	Fair
133	484.73	492.28	7.55	7.55	100.00%		75.00%	C3	F2	32	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
134	492.28	503.78	11.50	10.44	90.78%		75.00%	C3	F2	36	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
135	503.78	510.93	7.15	6.90	96.50%		75.00%	C3	F2	36	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
136	510.93	522.10	11.17	11.17	100.00%		90.00%	C3	F2	46	III	Fair rock	E	Very Poor	D	Poor
137	522.10	524.00	1.90	1.90	100.00%		45.00%	C3	F3	27	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	E	Very Poor
138	524.00	524.67	0.67	0.60	89.55%		25.00%	C3	F2	24	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
139	524.67	527.24	2.57	0.57	22.18%		10.00%	C4	F2	19	V	Very poor rock	E	Very Poor	E	Very Poor
140	527.24	527.59	0.35	0.25	71.43%		10.00%	C3	F4	19	V	Very poor rock	E	Very Poor	E	Very Poor
141	527.59	528.95	1.36	1.36	100.00%		45.00%	C3	F2	24	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
142	528.95	530.50	1.55	1.36	87.74%		35.00%	C3	F2	24	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	D	Poor
143	530.50	531.20	0.70	0.60	85.71%		75.00%	C3	F2	32	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
144	531.20	532.37	1.17	1.17	100.00%		65.00%	C3	F2	29	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
145	532.37	538.37	6.00	2.93	48.83%		35.00%	C3	F2	27	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
146	538.37	544.37	6.00	3.30	55.00%		45.00%	C3	F2	27	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
147	544.37	547.37	3.00	2.88	96.00%		95.00%	C2	F1	81	I	Very good rock	B	Good	B	Good
148	547.37	553.37	6.00	5.70	95.00%		95.00%	C2	F1	71	II	Good rock	E	Very Poor	C	Fair
149	553.37	565.37	12.00	12.00	100.00%		97.50%	C2	F1	71	II	Good rock	E	Very Poor	C	Fair
150	565.37	571.87	6.50	6.50	100.00%		85.00%	C2	F1	51	III	Fair rock	E	Very Poor	C	Fair
151	571.87	582.17	10.30	9.95	96.60%		85.00%	C2	F2	46	III	Fair rock	E	Very Poor	D	Poor
152	582.17	583.05	0.88	0.87	98.86%		95.00%	C2	F2	39	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
153	583.05	584.21	1.16	1.14	98.28%		55.00%	C2	F3	29	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
154	584.21	587.21	3.00	1.20	40.00%		25.00%	C3	F2	19	V	Very poor rock	F	Extremely Poor	E	Very Poor
155	587.21	590.21	3.00	3.00	100.00%		97.50%	C3	F2	39	IV	Poor rock	E	Very Poor	C	Fair
156	590.21	593.21	3.00	3.00	100.00%		75.00%	C3	F2	32	IV	Poor rock	E	Very Poor	C	Fair
157	593.21	594.21	1.00	1.00	100.00%		45.00%	C3	F3	27	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
158	594.21	594.95	0.74	0.69	93.24%		10.00%	C3	F2	19	V	Very poor rock	F	Extremely Poor	E	Very Poor
159	594.95	595.50	0.55	0.55	100.00%		10.00%	C3	F2	19	V	Very poor rock	F	Extremely Poor	E	Very Poor
160	595.50	596.50	1.00	1.00	100.00%		92.50%	C2	F2	56	III	Fair rock	D	Poor	C	Fair
161	596.50	597.50	1.00	1.00	100.00%		75.00%	C2	F2	52	III	Fair rock	D	Poor	C	Fair
162	597.50	598.70	1.20	1.14	95.00%		25.00%	C3	F3	24	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	E	Very Poor
163	598.70	600.61	1.91	1.91	100.00%		55.00%	C3	F2	29	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
164	600.61	602.61	2.00	2.00	100.00%		75.00%	C2	F2	52	III	Fair rock	D	Poor	D	Poor
165	602.61	604.11	1.50	1.46	97.33%		85.00%	C2	F2	56	III	Fair rock	D	Poor	C	Fair
166	604.11	605.01	0.90	0.90	100.00%		25.00%	C3	F3	24	IV	Poor rock	F	Extremely Poor	E	Very Poor
167	605.01	606.01	1.00	1.00	100.00%		90.00%	C2	F2	56	III	Fair rock	E	Very Poor	C	Fair
168	606.01	607.56	1.55	1.55	100.00%		75.00%	C2	F3	56	III	Fair rock	E	Very Poor	E	Very Poor
169	607.56	608.54	0.98	0.98	100.00%		85.00%	C2	F2	56	III	Fair rock	E	Very Poor	C	Fair
170	608.54	609.44	0.90	0.90	100.00%		100.00%	C2	F2	66	II	Good rock	C	Fair	B	Good
171	609.44	612.44	3.00	3.00	100.00%		55.00%	C3	F2	29	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
172	612.44	613.68	1.24	1.24	100.00%		45.00%	C3	F3	47	III	Fair rock	E	Very Poor	E	Very Poor
173	613.68	615.18	1.50	1.43	95.33%		35.00%	C4	F3	27	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
174	615.18	616.68	1.50	1.50	100.00%		75.00%	C2	F2	59	III	Fair rock	D	Poor	C	Fair
175	616.68	618.18	1.50	1.50	100.00%		95.00%	C2	F1	59	III	Fair rock	D	Poor	C	Fair
176	618.18	621.18	3.00	3.00	100.00%		95.00%	C2	F1	51	III	Fair rock	D	Poor	D	Poor
177	621.18	624.18	3.00	2.95	98.33%		95.00%	C2	F1	46	III	Fair rock	E	Very Poor	C	Fair
178	624.18	628.84	4.66	3.80	81.52%		90.00%	C2	F1	46	III	Fair rock	E	Very Poor	C	Good
179	628.84	630.34	1.50	1.26	84.00%		75.00%	C2	F2	32	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
180	630.34	635.00	4.66	4.66	100.00%		85.00%	C2	F2	36	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
181	635.00	638.29	3.29	3.19	96.96%		85.00%	C2	F2	38	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
182	638.29	644.25	5.96	5.96	100.00%		95.00%	C2	F2	61	II	Good rock	D	Poor	C	Fair
183	644.25	647.75	3.50	3.50	100.00%		100.00%	C3	F1	81	I	Very good rock	B	Good	B	Good
184	647.75	650.75	3.00	1.20	40.00%		10.00%	C3	F1	19	V	Very poor rock	F	Extremely Poor	E	Very Poor
185	650.75	652.25	1.50	1.36	90.67%		90.00%	C2	F1	66	II	Good rock	D	Poor	C	Fair
186	652.25	655.25	3.00	2.95	98.33%		90.00%	C2	F2	61	II	Good rock	D	Poor	C	Fair
187	655.25	658.75	3.50	3.43	98.00%		95.00%	C2	F2	51	III	Fair rock	D	Poor	C	Fair
188	658.75	661.83	3.08	2.88	93.51%		85.00%	C2	F1	81	I	Very good rock	B	Good	B	Good
189	661.83	667.83	6.00	6.00	100.00%		100.00%	C2	F1	76	II	Good rock	D	Poor	C	Fair
190	667.83	668.83	1.00	1.00	100.00%		95.00%	C2	F2	59	III	Fair rock	D	Poor	C	Fair
191	668.83	671.83	3.00	2.70	90.00%		90.00%	C2	F1	63	II	Good rock	D	Poor	C	Fair
192	671.83	674.83	3.00	2.85	95.00%		55.00%	C3	F3	29	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
193	674.83	680.83	6.00	5.98	99.67%		95.00%	C2	F1	61	II	Good rock	D	Poor	C	Fair
194	680.83	686.83	6.00	6.00	100.00%		95.00%	C2	F1	51	III	Fair rock	E	Very Poor	C	Fair
195	686.83	691.49	4.66	3.14	67.38%		95.00%	C3	F2	32	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
196	691.49	693.49	2.00	2.00	100.00%		100.00%	C2	F1	81	I	Very good rock	B	Good	B	Good
197	693.49	697.49	4.00	3.74	93.50%		75.00%	C2	F2	52	III	Fair rock	E	Very Poor	D	Poor
198	697.49	698.62	1.13	0.74	65.49%		45.00%	C3	F3	35	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
199	698.62	701.62	3.00	3.00	100.00%		75.00%	C3	F2	32	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
200	701.62	704.62	3.00	3.00	100.00%		95.00%	C2	F2	39	IV	Fair rock	D	Poor	D	Poor
201	704.62	705.02	0.40	0.37	92.50%		50.00%	C3	F4	24	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
202	705.02	706.08	1.06	0.84	79.25%		45.00%	C3	F3	24	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
203	706.08	709.08	3.00	2.77	92.33%		85.00%	C2	F2	53	III	Fair rock	E	Very Poor	D	Poor
204	709.08	714.08	5.00	4.90	98.00%		90.00%	C2	F1	53	III	Fair rock	D	Poor	D	Poor
205	714.08	726.08	6.00	6.00	100.00%		95.00%	C2	F1	56	III	Fair rock	D	Poor	D	Poor
206	726.08	728.08	2.00	2.00	100.00%		95.00%	C2	F1	59	III	Fair rock	E	Very Poor	D	Poor
207	728.08	726.08	1.00	0.84	84.00%		75.00%	C3	F2	29	IV	Poor rock	E	Very Poor	D	Poor
208	726.08	731.08	5.00	5.00	100.00%		100.00%	C2	F2	49	III	Fair rock	D	Poor	D	Poor
209	731.08	740.08	9.00	8.59	95.44%		80.00%	C2	F2	53	III	Fair				

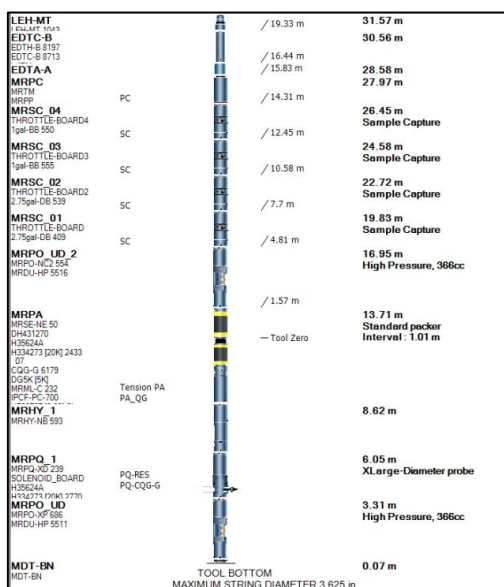
### 6.3 Ensaio de Micro-fraturamento Hidráulico

Os ensaios de micro-fraturamento hidráulico foram realizados pela *Schlumberger* no poço PE-04 entre os dias 18 e 21 de abril de 2021. Os micros fraturamentos foram gerados pela pressurização de intervalos de aproximadamente 1 metro de comprimento, isolados entre dois *packers* da ferramenta de ensaio da *Schlumberger*, o MDT (*Modular Formation Dynamics Tester*, composição apresentada na **Figura 29**), utilizado via *wireline*.

O ensaio consiste na criação de uma fratura controlada em um determinado intervalo de uma formação geológica, através de injeção de fluido, afim de medir a resposta da formação à pressão. O plano de fratura criado é perpendicular à direção de mínimo *stress* da tensão atuante (**Figura 28**). A posterior queda de pressão é monitorada para aferimento da pressão de fechamento da fratura, quando possível (*Schlumberger*, 2021).



**Figura 28** - Gráfico teórico de pressão versus tempo durante operação de ensaio de micro fraturamento.



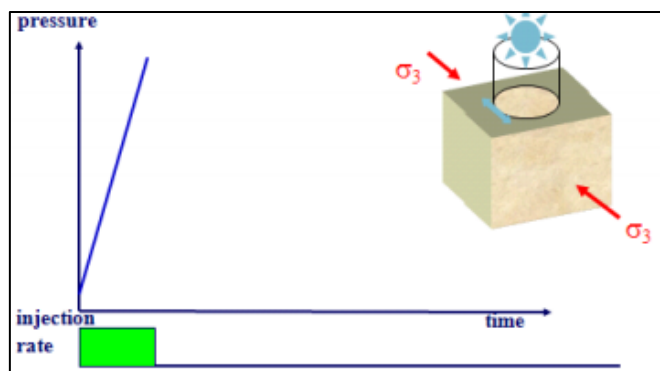
**Figura 29** - Ferramenta *MDT (Modular Formation Dynamics Tester)* utilizada nos ensaios de micro fraturamento (Schlumberger, 2021).

### 6.3.1 Metodologia

A ferramenta *MDT* contém um módulo de *packer* duplo e uma única sonda para medição de pressão, bombeamento e controle de fluxo. A ferramenta pode ter vários objetivos numa mesma descida, tais quais medição de pressão, identificação do fluido no poço, amostragem de fluido e testes de interferência vertical com medidas em tempo real (Khalil et al. 2008). O intervalo do duplo *packer* isola um intervalo de 1 (hum) metro de comprimento no poço, com controle de profundidade permitindo uma excelente precisão do intervalo que está sendo testado. Os ensaios podem ser realizados em qualquer tipo de formação geológica.

Os procedimentos operacionais se dão da seguinte maneira:

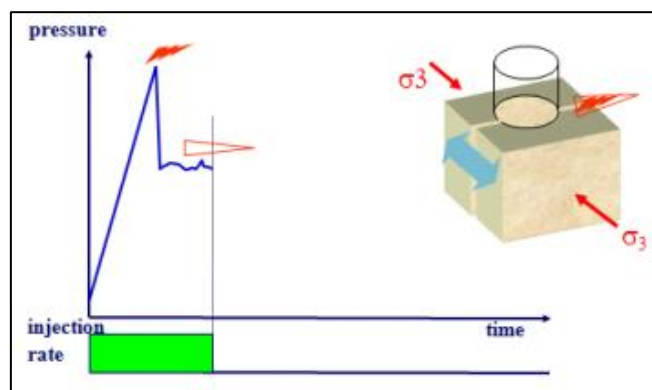
- 1) Inflação dos *packers*: uma vez que a ferramenta esteja posicionada corretamente, o intervalo a ser testado é isolado através do inflamento dos *packers*, até que a pressão no intervalo comece a subir. O subsequente declínio e pressão é então observado para verificar a qualidade do isolamento do *packer*. Os *packers* são novamente pressurizados se o isolamento não foi satisfatório.
- 2) Ciclos de *Leak-off* (vazamento): uma série de passos de aumento de pressão até um nível ainda muito abaixo da pressão de fraturamento da formação é realizado, afim de testar se o isolamento dos *packers* está sendo suficiente e também para testar o vazamento (*leak-off*) de fluido para a formação.



**Figura 30** - Início de inflamento e injeção.

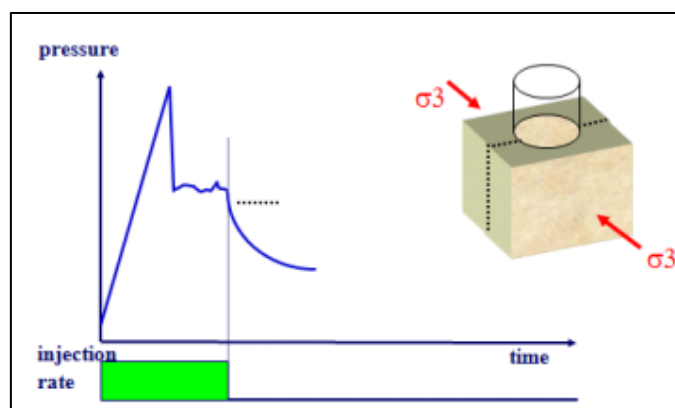
- 3) *Breakdown* (Fraturamento) e propagação do fraturamento (**Figura 31**): o fluido é novamente injetado no intervalo a uma vazão constante até o início de um fraturamento de tensão. O início do fraturamento é identificado através de um *Breakdown* (declínio intenso da curva de pressão vs tempo) ou platô de pressão. A fratura é então estendida por 5 a 10 minutos antes do intervalo ser isolado e a bomba parada.





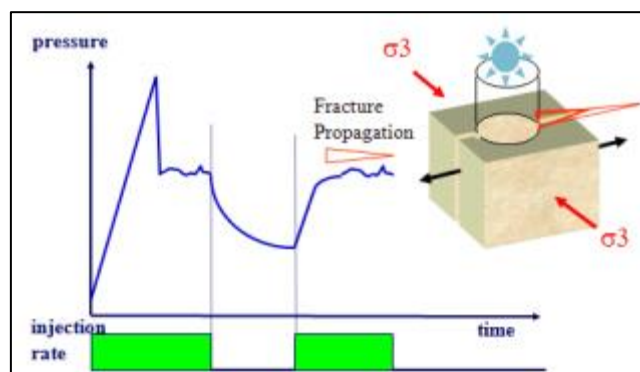
**Figura 31** - Breakdown e propagação da fratura.

- 4) *Fall-off* (declínio, queda de pressão) (**Figura 32**): quando o bombeamento é interrompido a pressão começa a cair até um nível de fechamento da fratura. Em formações com baixa permeabilidade o fechamento da fratura pode levar mais tempo devido à baixa infiltração de fluido.



**Figura 32** - Queda de pressão após cessar a injeção de fluido.

- 5) Reabertura de fratura, propagação e ciclos de *Fall-off* (queda de pressão) (**Figura 33**): uma série de ciclos de injeção de fluido e posterior queda de pressão (*fall-off*) são realizados para continuamente propagar e fechar o fraturamento, no intuito de checar a repetibilidade do ensaio e testar possíveis mudanças nos parâmetros de injeção (vazão e volume injetado).



**Figura 33** - Reabertura de fraturamento, propagação e ciclos de queda de pressão.

- 6) Deflação dos *packers*: assim que a equipe de testes se der por satisfeita com a qualidade dos dados obtidos, os *packers* são desinflados e a ferramenta é mobilizada para o próximo intervalo de ensaio.

Um típico ensaio de micro fraturamento é composto de 2 a 6 ciclos de injeção/propagação/queda (as vezes mais), dependendo do tipo de formação. Os ciclos de operação são monitorados em tempo real para garantir a precisão nos ciclos de bombeamento.

Através da interpretação de cada ciclo de fraturamento hidráulico pode ser possível determinar uma série de parâmetros, tais como: *stress* horizontal mínimo e máximo, direção do *stress*, pressão de fraturamento, pressão de fechamento e poro-pressão.

### 6.3.2 Ensaios no PE-04

Os ensaios foram realizados em cinco estações, locadas nas profundidades e formações relacionadas na Tabela 9. Todos os testes foram realizados a “Poço Aberto”.

Estação de Ensaio	Formação	Profundidade (MD) (metros)	Profundidade (TVD) (metros)
1	Poção	437,00	436,77
2	Poção	547,19	546,69
3	Fm.Maceió - Mb.TMS	757,48	756,36
4	Fm.Maceió - Mb.TMS	850,78	849,28
5	Fm.Maceió - Mb.Paripueira	964,81	962,78

**Tabela 10** - Estações de ensaio de micro fraturamento hidráulico.

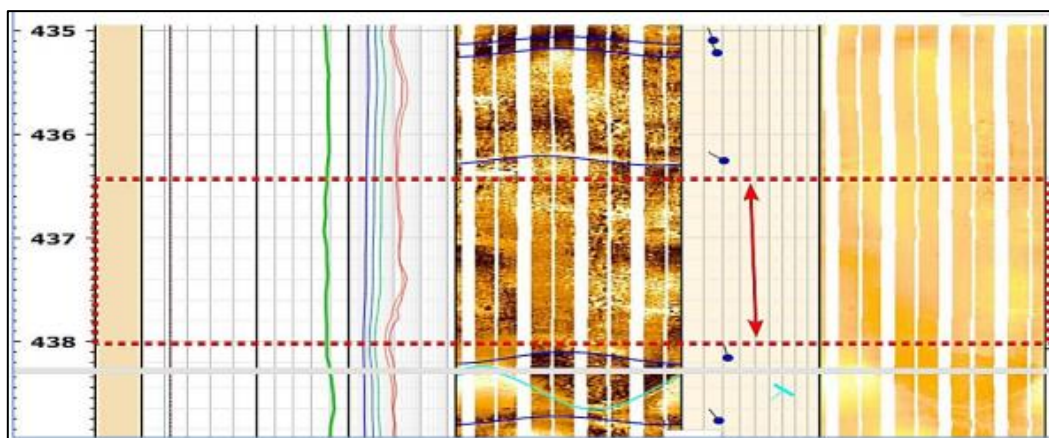
As estações de ensaio foram selecionadas em conjunto entre a equipe técnica da Braskem e por equipes multidisciplinares de especialistas consultores.

Os critérios adotados para que os testes produzissem resultados mais representativos foram os seguintes:

- Trechos livres de fraturas ou falhas;

- De litologia com característica mais isotrópica possível;
- Com *Caliper* regular, diâmetro constante e sem ovalização;
- Espaçamento regular entre trechos dos ensaios.

Para a análise desses intervalos foram utilizados os dados do o perfil de imagem FMI (Figura 34), as fotos dos testemunhos (Figura 35 e Anexo 4), descrição litológica e geomecânica dos testemunhos e o perfil de *Caliper* pré e pós fraturamento (Figura 37).



**Figura 34** - Trecho selecionado na Fm. Poção para realização do ensaio de micro-fraturamento. A linha tracejada vermelha indica o intervalo escolhido dentro do perfil FMI. (Trecho sem fraturas interpretadas no FMI).



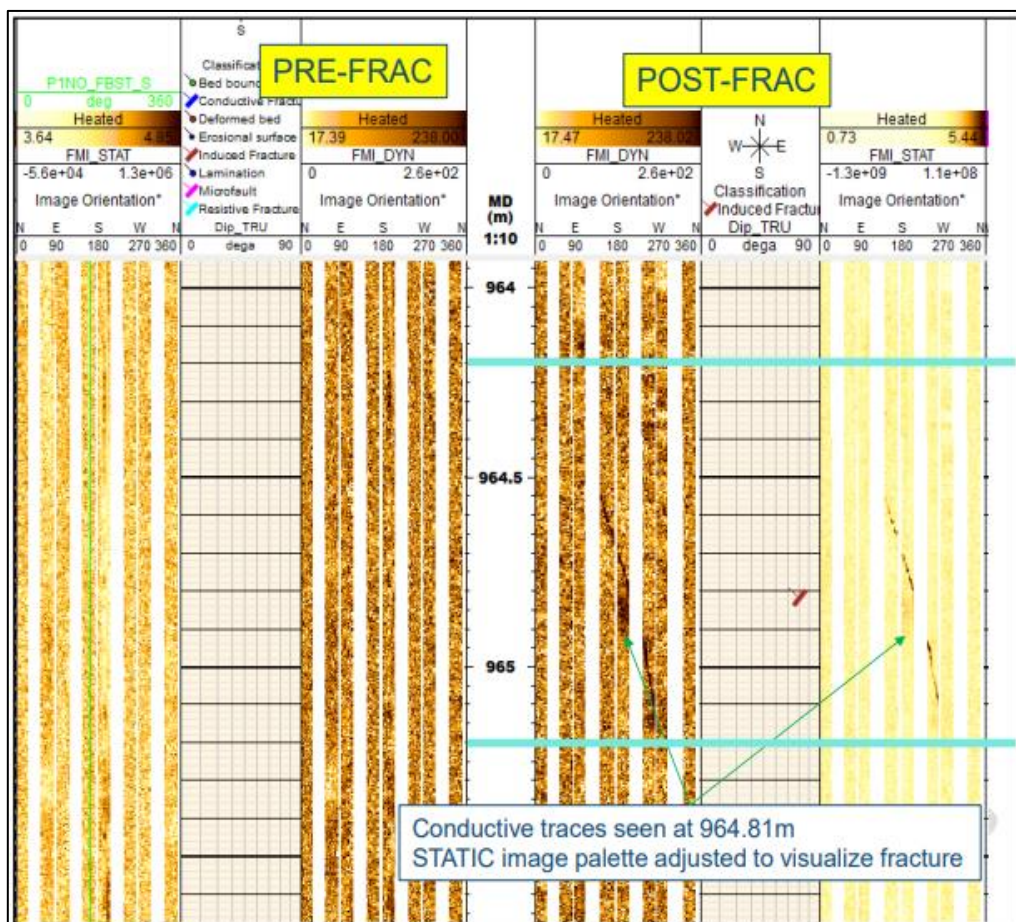
**Figura 35** - Foto dos testemunhos do trecho selecionado, arenito cinza com poucas fraturas horizontais, aparentemente induzidas pela operação e manuseio dos testemunhos.

Os objetivos dos testes realizados com a ferramenta MDT foram os seguintes:

- Micro fraturar os intervalos para obter os parâmetros de “Breakdown Pressure” (pressão de fraturamento) e “Closure Pressure” (pressão de fechamento) nas formações designadas;
- Obter parâmetros de mínimo stress e máximo stress do regime de tensões;
- Obter parâmetros de Poro-Pressão.

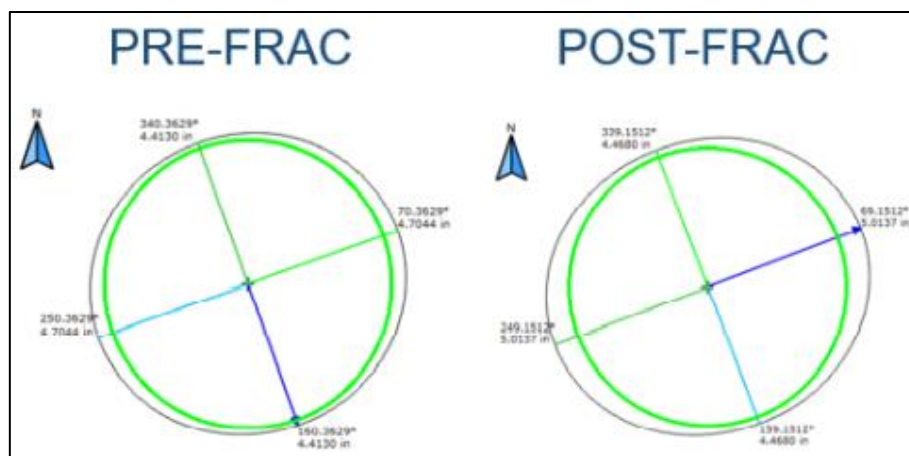
Todos esses parâmetros serão utilizados para calibrar o modelo geomecânico, permitindo uma melhor compreensão do comportamento geológico local, sendo fundamental para o direcionamento das soluções acerca do fenômeno de subsidência. Na **Figura 36** observa-se o trecho antes e depois do ensaio de micro-fraturamento.

No momento da elaboração do presente relatório, os resultados obtidos através dos ensaios de micro-fraturamento ainda estão em análise e serão posteriormente apresentados em relatório detalhado.



**Figura 36** - Perfil de imagem FMI, pré e pós fraturamento.





**Figura 37** - Comparação do *Caliper* pré e pós fraturamento.

### 6.3.3 Ensaios Geomecânicos em Laboratório

Os ensaios laboratoriais geomecânicos em testemunhos de rocha têm como objetivo determinar as propriedades de resistência e deformabilidade dos materiais. Para o caso específico da halita, interessam deformabilidades de curto e de longo prazo (fluência). Estas, por sua vez, são utilizadas na parametrização de modelos geomecânicos numéricos a fim de representar o comportamento mecânico do maciço rochoso sobrejacente ao sal e do maciço de sal ao longo do tempo. Os resultados dos ensaios se destinam a alimentar os modelos constitutivos e reológicos dos materiais no modelo numérico.

A campanha de ensaios inicialmente prevista para os testemunhos do poço estratigráfico PE-04 previa determinar propriedades geomecânicas adotando as premissas de maciço rochoso de comportamento elastoplástico para rochas sobrejacentes ao sal e visco-elastoplástico para o sal, com resistência regida por envoltória linear de *Morh-Coulomb*. Os parâmetros a serem determinados, portanto, se limitavam a: módulo de *Young*; coeficiente de *Poisson*; coesão; ângulo de atrito; e parâmetros viscoelásticos do sal.

Desta forma, os ensaios contemplados foram:

- Compressão triaxial com medição externa de deformação axial;
- Compressão uniaxial;
- Cisalhamento direto;
- Compressão diametral (ensaio brasileiro);
- Fluência (*creep test*), apenas para o sal.

Contudo, com base na evolução e aprofundamento do conhecimento e entendimento do fenômeno e da condição geológica e estrutural do maciço rochoso da região, novos modelos numéricos foram propostos, os quais adotam modelos constitutivos mais sofisticados e realistas

para as rochas que o modelo elastoplástico tipo *Moh-Coulomb* anteriormente proposto. Para isto, alguns ensaios laboratoriais adicionais são necessários.

Além da envoltória de resistência determinada com valores de pico dos ensaios, como previsto inicialmente, é necessário também determinar uma envoltória no ponto de dilatância, o que exige medidas de deformação volumétrica. Além disto, modelos elastoplásticos admitem que uma vez atingida a resistência, o material se deforma indefinidamente sob tensão constante, o que não é realista. Em ensaios triaxiais as rochas apresentam pronunciado amolecimento (*strain softening*) após o pico, até ser atingida uma resistência residual. Para obtenção das características da relação entre tensão e deformação dos materiais após o pico, ensaios em equipamentos servocontrolados são necessários.

Características como a dependência entre permeabilidade e tensões exige ensaios acoplados para alimentar os modelos também acoplados. As envoltórias de resistência e de dilatância são não lineares e o modelo reológico para o sal é visco-elastoplástico. Tais modelos foram desenvolvidos pelo laboratório IfG (Institut für Gebirgsmechanik), uma referência mundial em simulação do comportamento de cavernas de sal.

Com as novas propriedades a serem determinadas, um novo plano de ensaios proposto, contemplando:

- Compressão triaxial servocontrolado com medição de deformação volumétrica, axial e radial.
- Compressão uniaxial com medições de deformação axial e radial;
- Cisalhamento direto servocontrolado.
- Compressão diametral (ensaio brasileiro).
- Permeabilidade durante ensaios triaxiais
- Fluência (*creep test*), apenas para o sal
- Tração direta para o sal com intercalações de folhelho

7. PERFILAGENS INTERMEDIÁRIAS

Durante o desenvolvimento do poço estratigráfico, foram executadas perfilagens intermediárias de acompanhamento da evolução da perfuração e com intuito de visualização das características petrofísicas das unidades litoestratigráficas. Ao todo, foram feitos perfis de Raios *Gamma* (GR), Resistividade, Densidade, *Neutron*, *Caliper*, Temperatura, Perfil de Imagem orientado (FMI), *Dipmeter*, Sônico, Potencial Espontâneo e ZVSP. Os perfis podem ser visualizados no **Anexo 5**.

Para suporte a interpretação foram compilados os topos das formações geológicas do documento a partir dos *MASTERLOG*.

A parede do poço apresenta nas porções superficiais uma rugosidade baixa a moderada, especialmente até 135 m de profundidade, onde a formações geológicas são inconsolidadas, mostrando estreitamentos e alargamentos (como pode ser visto no *Caliper* 3D). Foi observada uma zona com *Caliper* médio de 13,6” entre 35-135 m, enquanto de 135-426 m o poço apresenta variações em seu valor médio devido a espessuras diferentes de *mudcake* na parede do poço.

O controle de qualidade do levantamento (*GPIT = General Purpose Inclinometry Tool*) não mostrou ruídos. A parede do poço apresenta rugosidade em todo o intervalo analisado, porém sem impacto na qualidade geral da imagem. As leituras do *Caliper* mostram um poço de boa qualidade e pouca rugosidade.

Os dados do magnetômetro e acelerômetro da ferramenta de perfilagem (**Figura 38A e Figura 38B**) exibiram erro nos dados de campo com os processados inferior a 2% (**Figura 38C**), mostrando excelente confiabilidade deles, não necessitando de nenhum tipo de correção, ou seja, as rugosidades da parede do poço não afetaram as imagens analisadas no perfil FMI. Os pontos negros representam os dados brutos e os pontos verdes representam os dados de *GPIT* corrigidos. A correção é feita comparando os dados medidos com o modelo atual geomagnético da Terra. Os resultados estatísticos da correção podem ser vistos na **Figura 38C**.

(A)

(B)

(C)

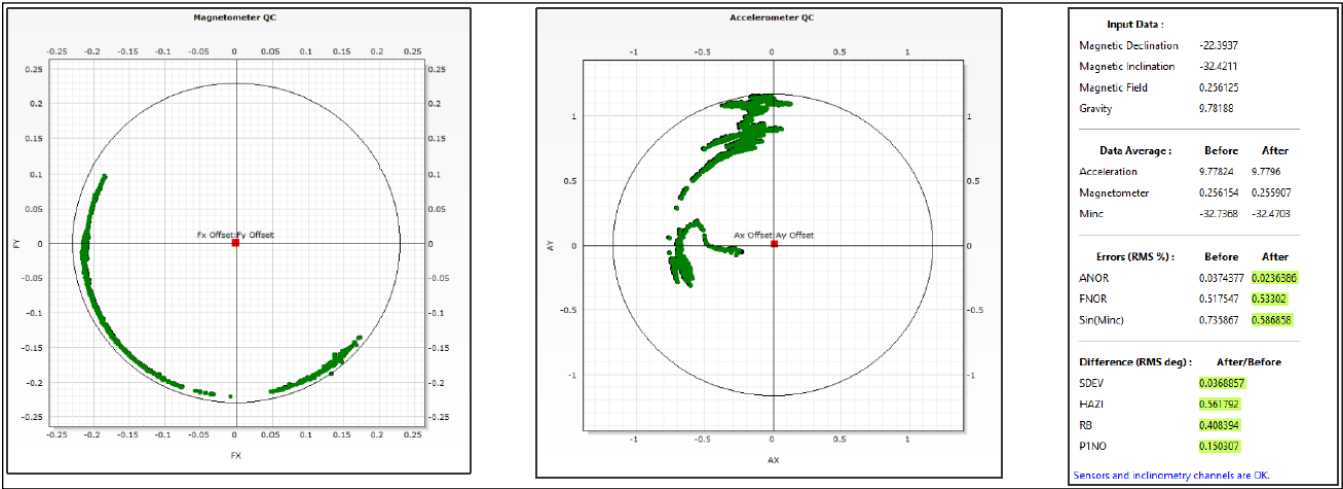
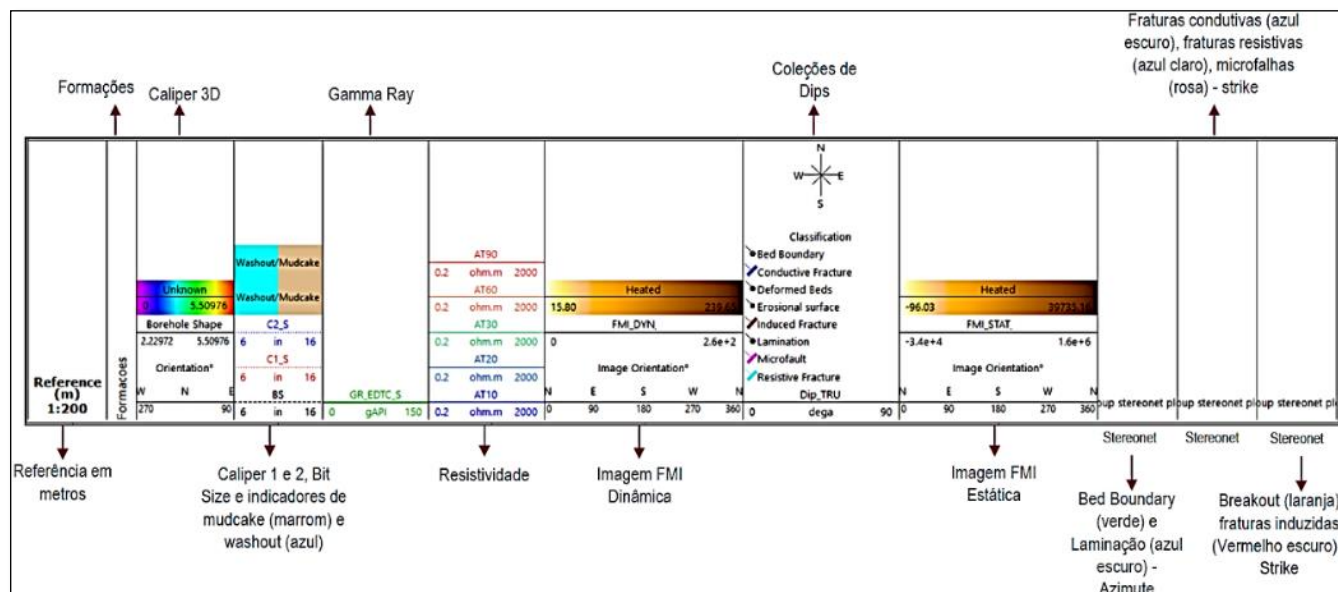


Figura 38 - Dados estatísticos do controle de qualidade da imagem FMI.

### 7.1. Integração das informações das perfilagens

A análise integrada das informações das perfilagens (*Caliper*, Raios *Gamma*, Resistividade, *Dipmeter* e FMI) juntamente com as informações do *masterlog* permite uma visão completa das características das unidades geológicas recortadas. Na **Figura 39** podem ser observados os itens que foram integrados para a caracterização das unidades geológicas.



**Figura 39** - Cabeçalho dos perfis integrados utilizados na caracterização das unidades geológicas atravessadas pelo poço estratigráfico PE-04.

### 7.2. Características das unidades geológicas

A integração dos perfis *Caliper*, Raios *Gamma*, Resistividade e FMI (*Formation Microimager*), fornece uma visualização das condições do poço e das unidades como um todo (**Figura 40**).

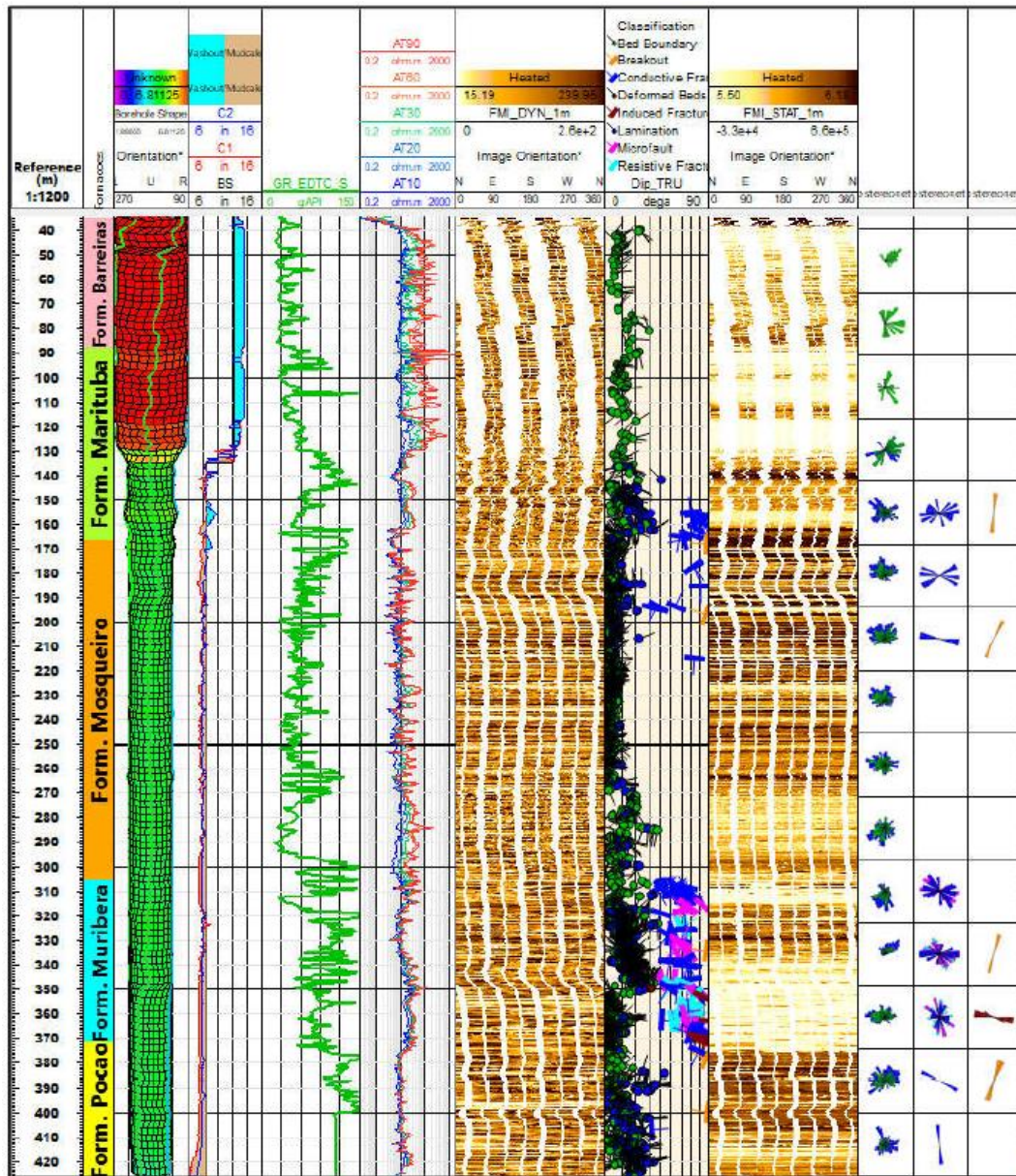
O Grupo Barreiras apresenta azimute das camadas predominantemente para a direção NE.

A Formação Marituba (**Figura 41**) mostra azimute das camadas com direção predominante NE, com algumas variações. Entre 135-166 m as camadas apresentam mergulho predominante para SE, com variações para NW. Se observam laminações nas sequencias de baixo ângulo.

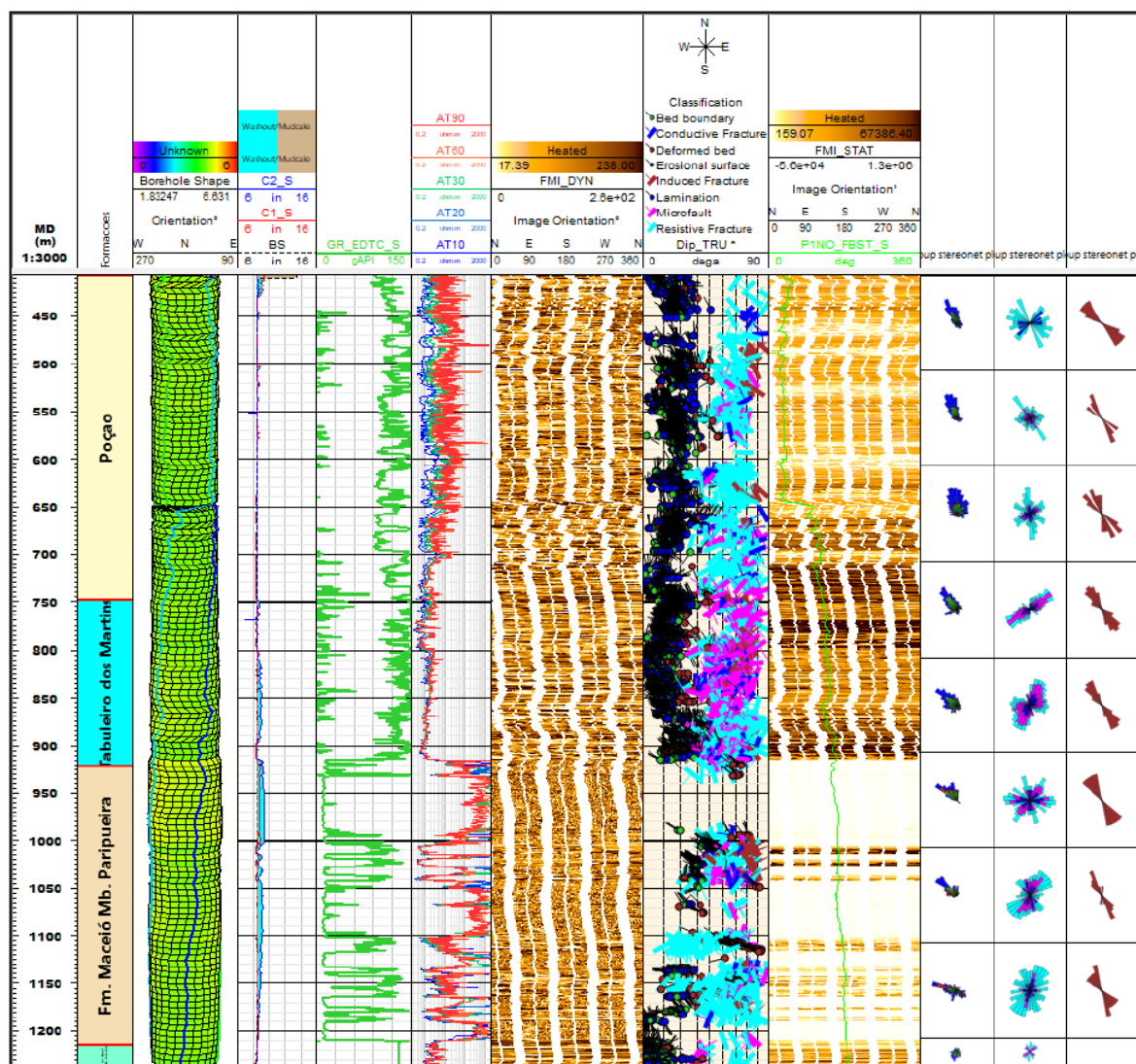
A Formação Mosqueiro (**Figura 42**) apresenta azimute das camadas bastante variado por ser uma sequência deposicional de baixo ângulo. O azimute predominante é NW. Poucas fraturas foram observadas no intervalo 166-216 m, com *strike* predominante NW-SE e NE-SW. Na profundidade 270 m, foi identificada uma mudança deposicional para uma sequência de mais



alto ângulo, mudando a direção de azimute das camadas predominantemente para SW. *Breakouts* foram interpretados na parte superior da formação, apresentando *strike* NNE-SSW.



**Figura 40** - Perfil Geológico-Geofísico, integrando informações da estratigrafia, *Caliper*, raios *Gamma*, resistividade, FMI e interpretação estrutural nas formações das fases *rift* (topo da Formação Poço), transicional (Formação Muribeca) e *drift* (unidades Mosqueiro, Marituba e Barreiras) interceptadas no poço PE-04.



**Figura 40** – Perfil Geológico-Geofísico, integrando informações da estratigrafia, *Caliper*, raios *Gamma*, resistividade, FMI e interpretação estrutural nas formações das fases *rift* (topo da Formação Poço), transicional (Formação Muribeca) e *drift* (unidades Mosqueiro, Marituba e Barreiras) interceptadas no poço PE-04 (continuação...).



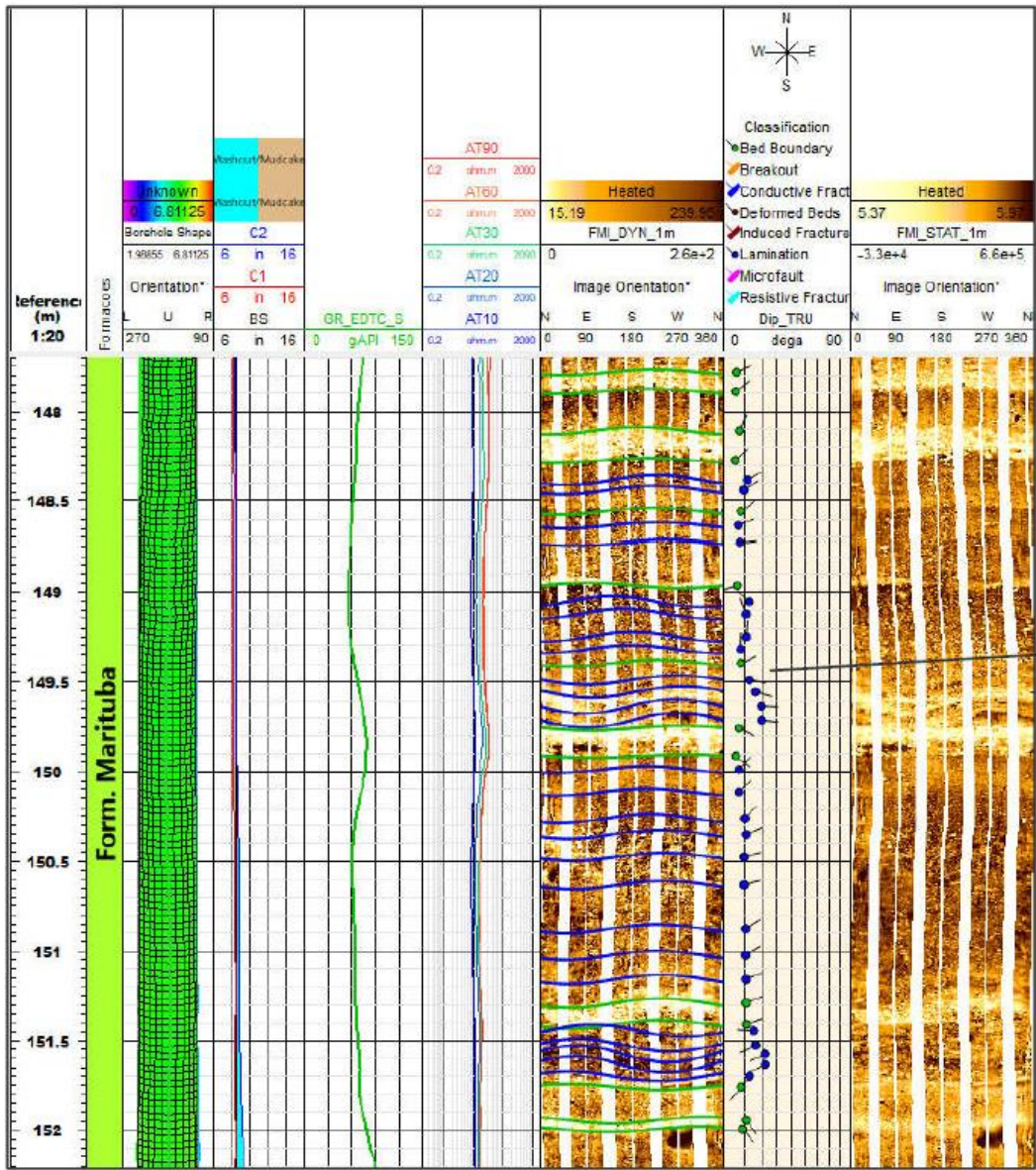
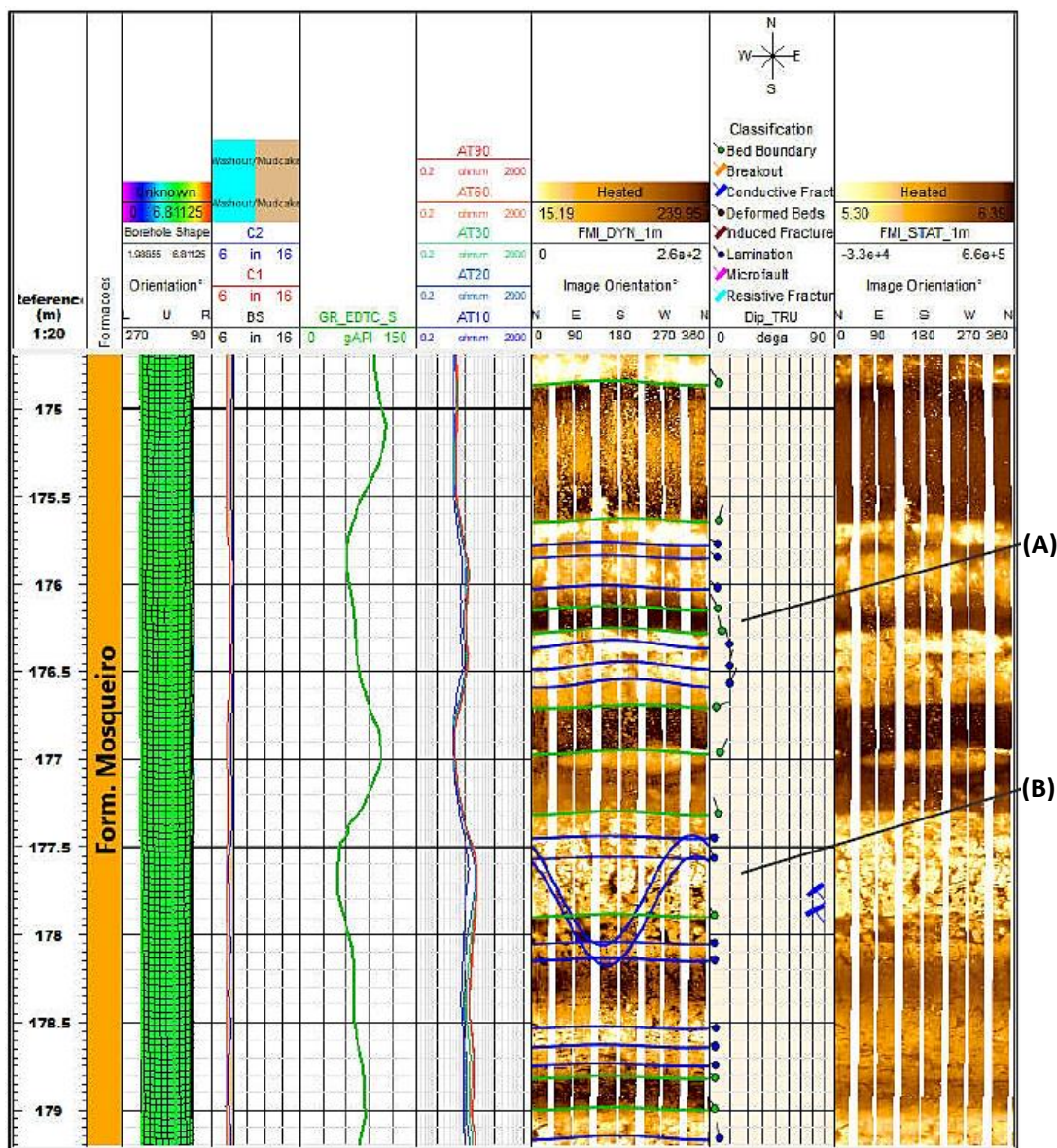


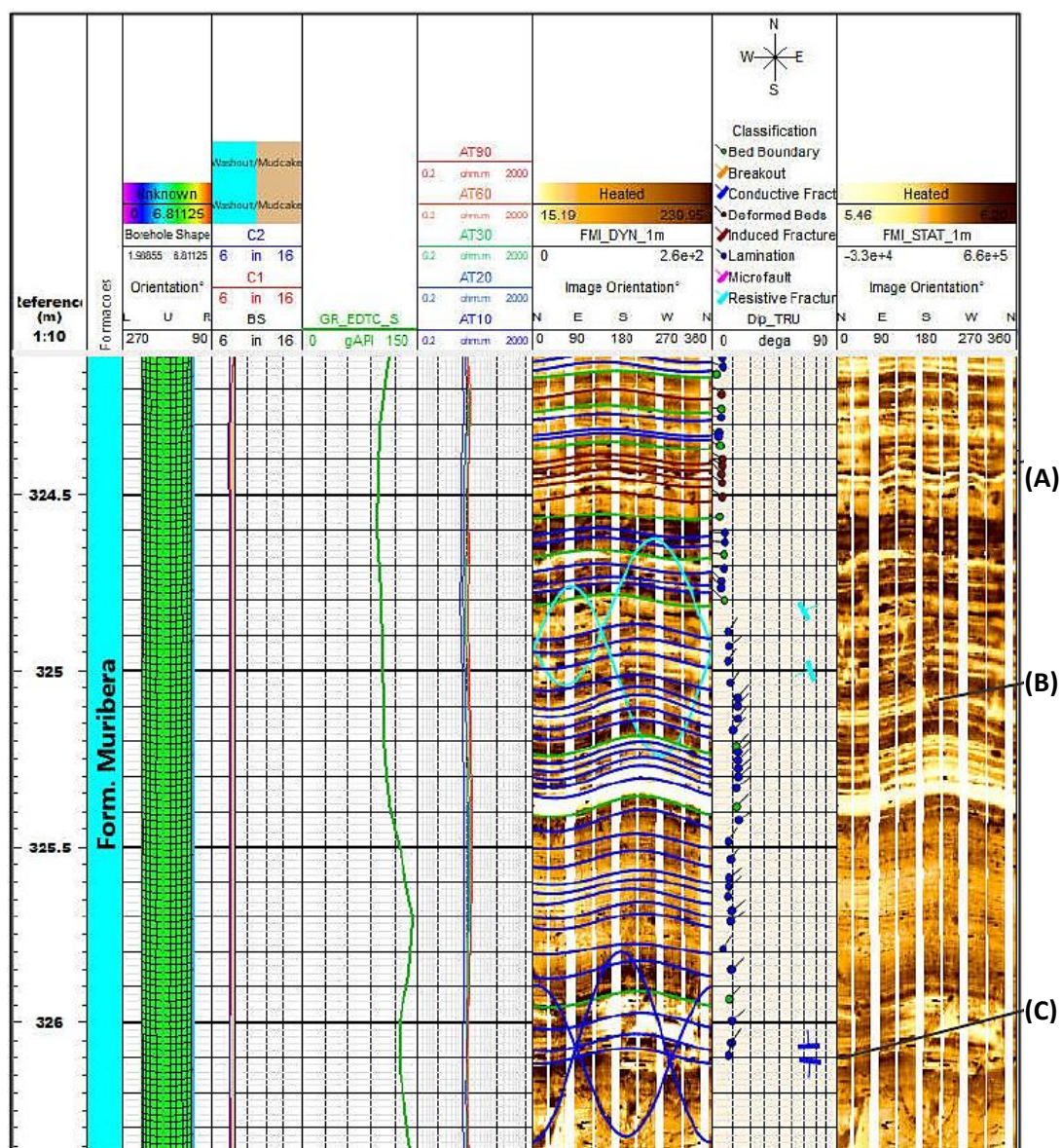
Figura 41 - Resultado da perfilagem + FMI em parte a Formação Marituba, exibindo acamamento com variações de azimute.



**Figura 42** - Resultado da perfilagem + FMI em parte a Formação Mosqueiro, exibindo acamamento com variações de azimuth (A) e fraturas (B) condutivas de alto ângulo.

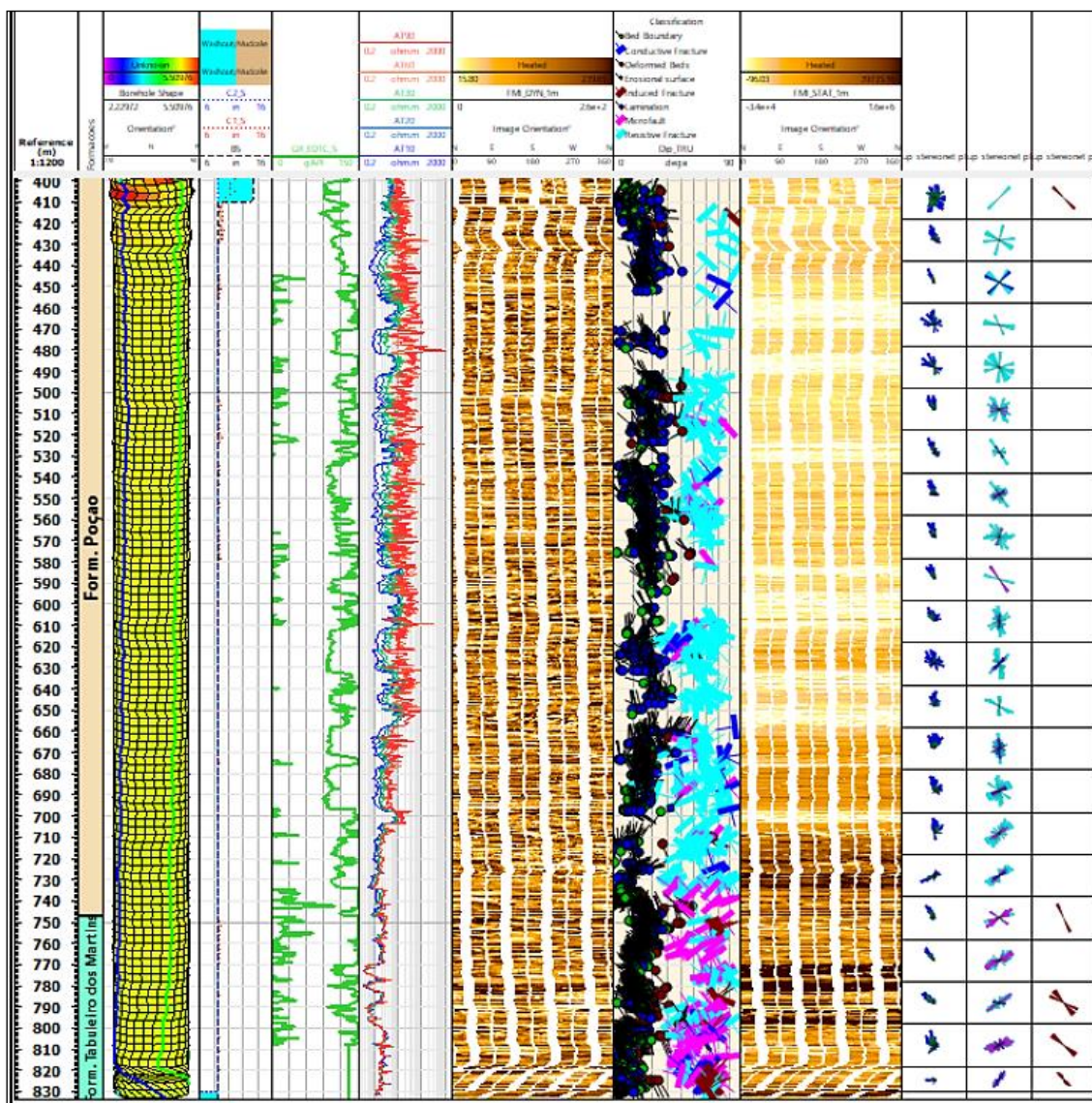
A Formação Muribeca (**Figura 43**) apresenta diferentes mudanças de azimuth das camadas. O intervalo 306-319 m apresenta direção de azimuth preferencial a SW e fraturas com *strike* NW-SE. O intervalo 319-335 m apresenta direção de azimuth preferencial NE e NW. O intervalo 335-351 m apresenta direção de azimuth preferencial das camadas para NE e fraturas condutivas e resistivas com *strike* predominante NW-SE. O intervalo 351-361 m mostrou direção de azimuth variando para NE, NW e SW. O intervalo 361-371 m apresenta direção de azimuth preferencial E-W. Também foram interpretados *breakouts* com *strike* NNE-SSW e fraturas induzidas com *strike* WNW-ESSE.





**Figura 43** - Resultado da perfilagem + FMI em parte a Formação Muribeca (Membro Ibura), exibindo acamamento sedimentar com deformação *sin*-sedimentar (A), fraturas resistentes (B) e condutivas (C).

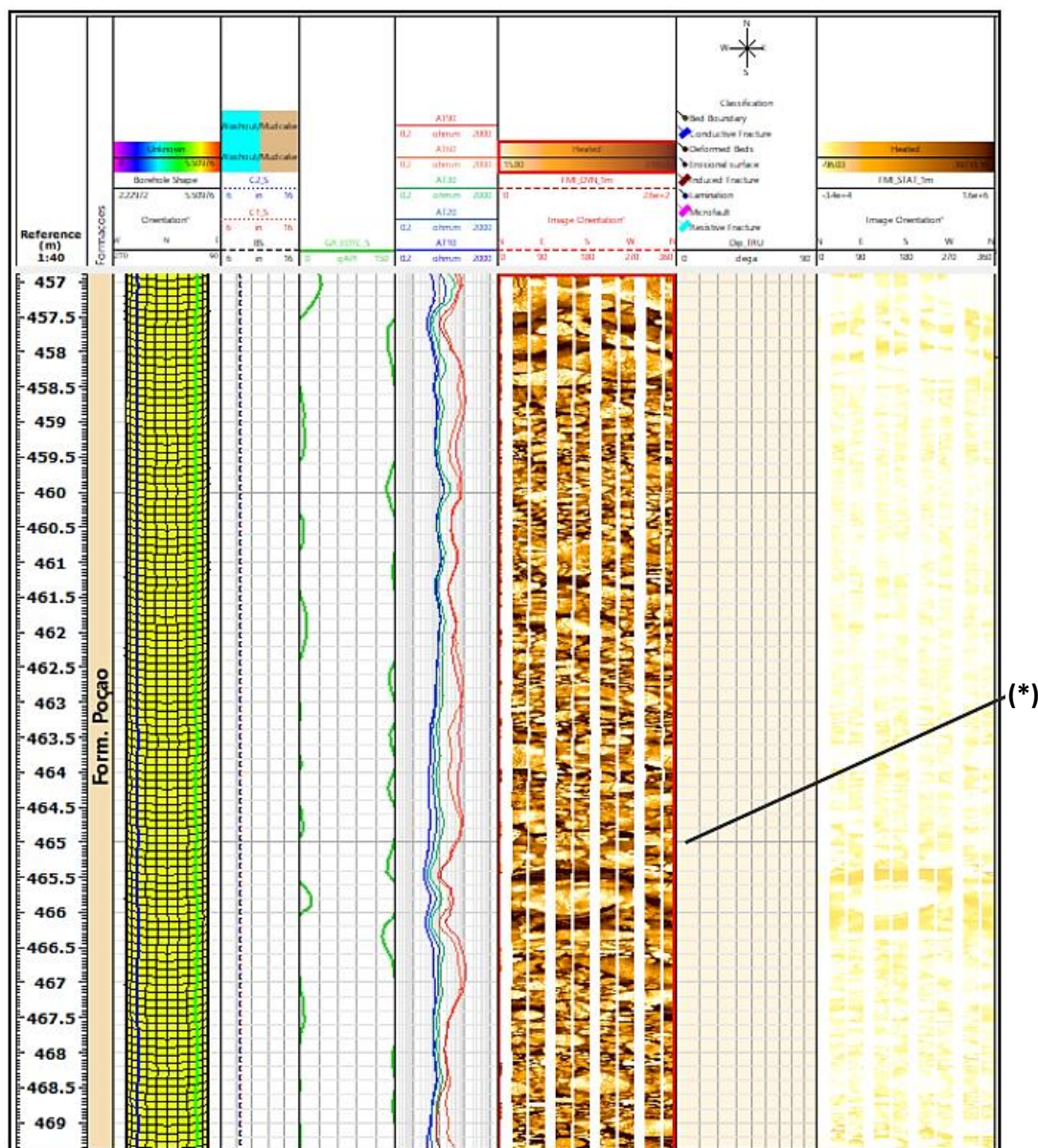
O intervalo do topo da Formação Poção (**Figura 44**) é marcado pelo aumento do ângulo de inclinação das camadas gradualmente e diferentes direções de azimute, sendo elas predominantemente para NE e NW e para SW. *Breakouts* também foram interpretados nesse intervalo apresentando *strike* NNE-SSW.



**Figura 44** - Perfil integrado mostrando informações das unidades geológicas (Formação Poção e Maceió, Membro Tabuleiro dos Martins) com dados de *Caliper*, Raios *Gamma*, Resistividade, FMI e *Dipmeter*).

A Formação Poção é composta predominantemente por depósitos de arenitos e conglomerados, com espessuras variadas, individualizados pela assinatura dos registros de raios *Gamma* e FMI (**Figura 45**), divididos em blocos. As curvas de resistividade nesta unidade mostram “alto ruído” quando comparadas a unidade inferior, havendo ainda boa separação entre as curvas de resistividade rasas e profundas. Isso corresponde à aparência mais brilhante (resistiva) da imagem estática do FMI. A magnitude do mergulho de estratificação é considerada relativamente maior na Formação Poção. A maioria das fraturas resistivas ocorrem nesta formação.





**Figura 45** - Perfil integrado mostrando com clareza depósitos de conglomerados (\*) no perfil FMI da Formação Poço.

A resistividade da Formação Poço em geral é maior que a do Membro Tabuleiro dos Martins, mas uma pequena região entre 710 m e 747 m (MD) mostra resistividade pouco mais baixa que a observada nas porções superiores desta formação. A separação entre as curvas de resistividade rasas e profundas também é observada aumentando gradualmente desde 710 m (MD) até o topo do intervalo estudado. As características da formação podem ser também visualizadas na **Figura 46**.

Vários pacotes de conglomerados são observados dentro do intervalo de profundidade entre 460 m até 709 m (por exemplo, 632-642 m).

Com base nas variações na inclinação e no azimute das laminações e no limite do leito, a formação pode ser aproximadamente dividida em 3 zonas (**Tabela 10**) da seguinte forma:

	Profundidade	Magnitude/Azimute do Mergulho
Primeira Zona (cor de rosa)	~410m – 658m	15.6°/339°
Segunda Zona (verde)	~658m – 710m	12°/1.8°
Terceira Zona (azul)	~710m – 747m	2.8°/247°

**Tabela 11** - Classificação de intervalos de acordo com o *dip* e azimute do acamamento.

A estratificação/acamamento na Formação Poção apresenta inclinação média de 19,8°. As características destas estratificações, que ocorrem nesses arenitos e conglomerados, são representativas de deposição sedimentar em ambiente de alta energia e podem não ser indicativas de mergulho estrutural.

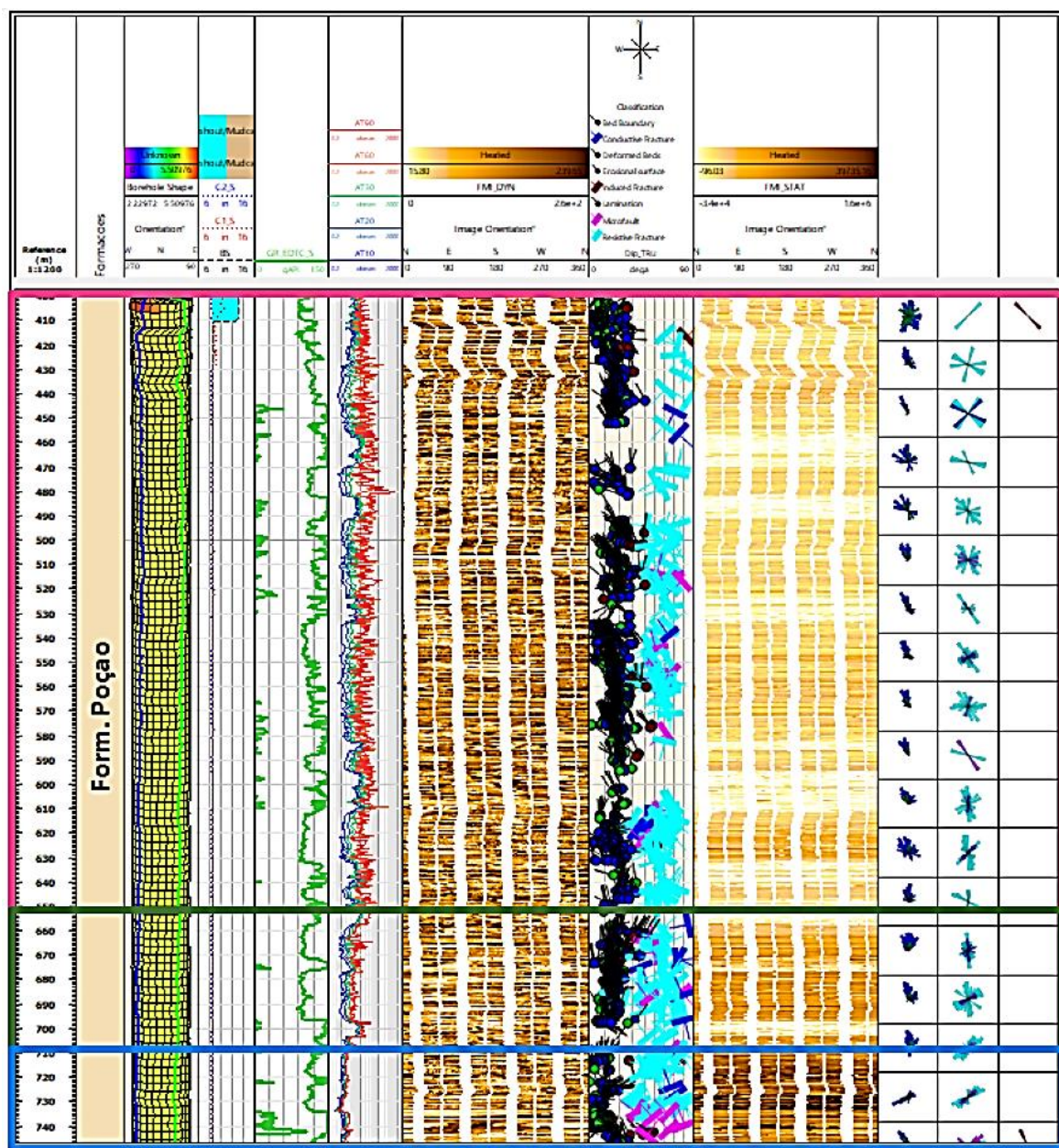
Fraturas resistivas abundantes são observadas na Formação Poção com *strike* dominante para NE-SW e NNW-SSE, havendo ainda outras tendências menores. Embora as fraturas resistivas estejam presentes em toda a formação, 3 zonas principais foram observadas, sendo a primeira zona entre 493,00 m e 522,50 m, a segunda entre 535,00 m e 570,00 m e a terceira entre 603,00 m e 736,00 m.

Também foram identificadas fraturas condutivas, com *strike* NE-SW. Micro-falhas localizadas também foram observadas mostrando direção NE-SW. A concentração de micro-falhas, no entanto, mostrou aumento na base da Formação Poção, próximo ao topo do Membro Tabuleiro dos Martins, onde ocorre aumento de folhelhos.

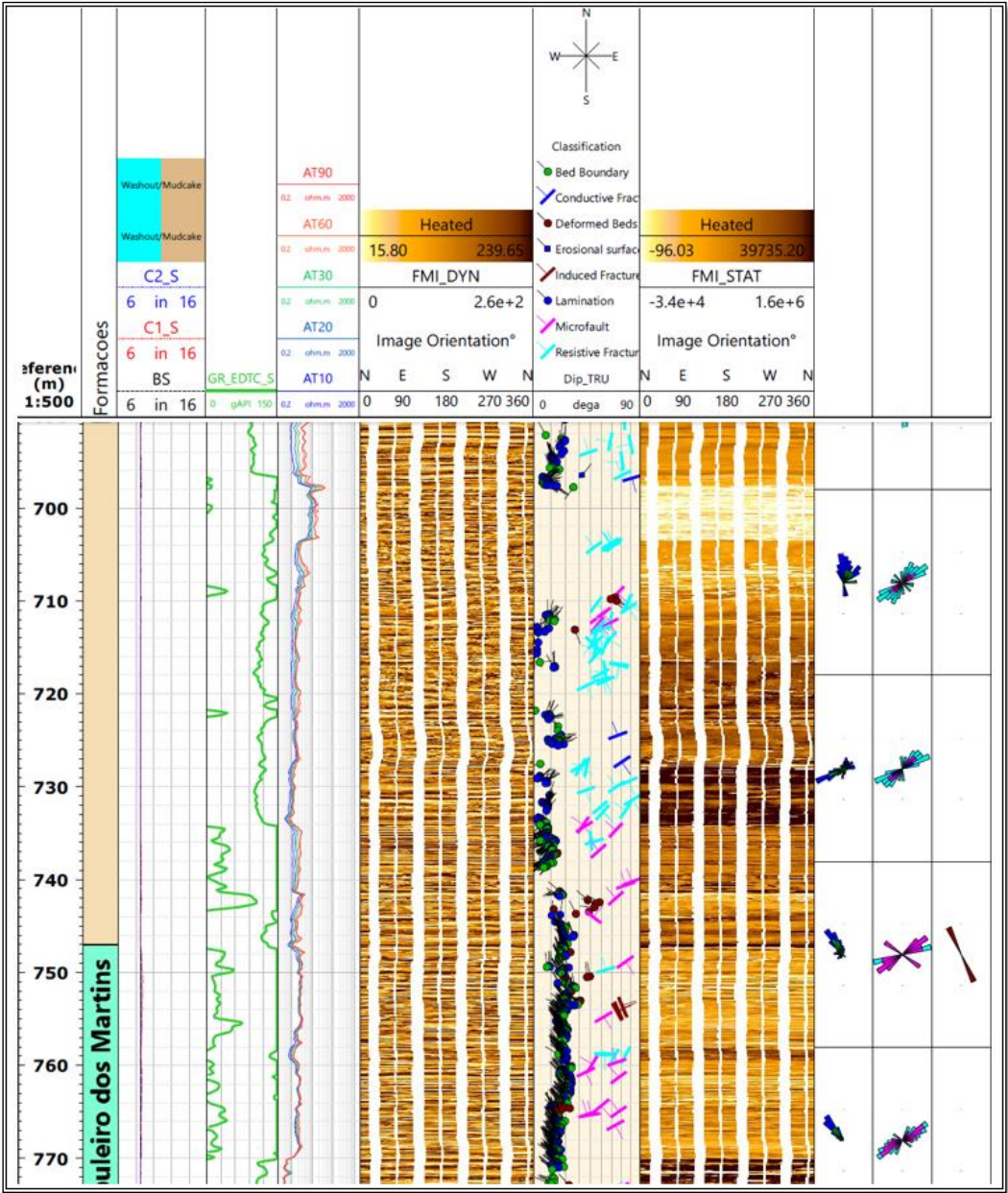
A Formação Maceió, Membro Tabuleiro dos Martins é caracterizada pela presença de folhelhos com assinaturas “serrilhadas” no registro de raios *Gamma*. A aparência relativamente mais escura (menos resistiva) da imagem estática do FMI se correlaciona bem com as curvas de resistividade associadas. Observou-se também que a maioria das micro-falhas estão concentradas nesta unidade geológica (**Figura 40**).

O Membro Tabuleiro dos Martins mostra *strike* das camadas predominantemente NW-SE. Os limites de topo e laminações nesta formação mostram mergulho predominante de 14,11° e azimute 315°. O acamamento que ocorrem nos folhelhos podem ser considerados como resultado de deposição em condições de baixa energia e, portanto, são uma representação mais precisa da estrutura do subsolo. As características da formação podem ser também visualizadas na **Figura 47** e **Figura 48**.



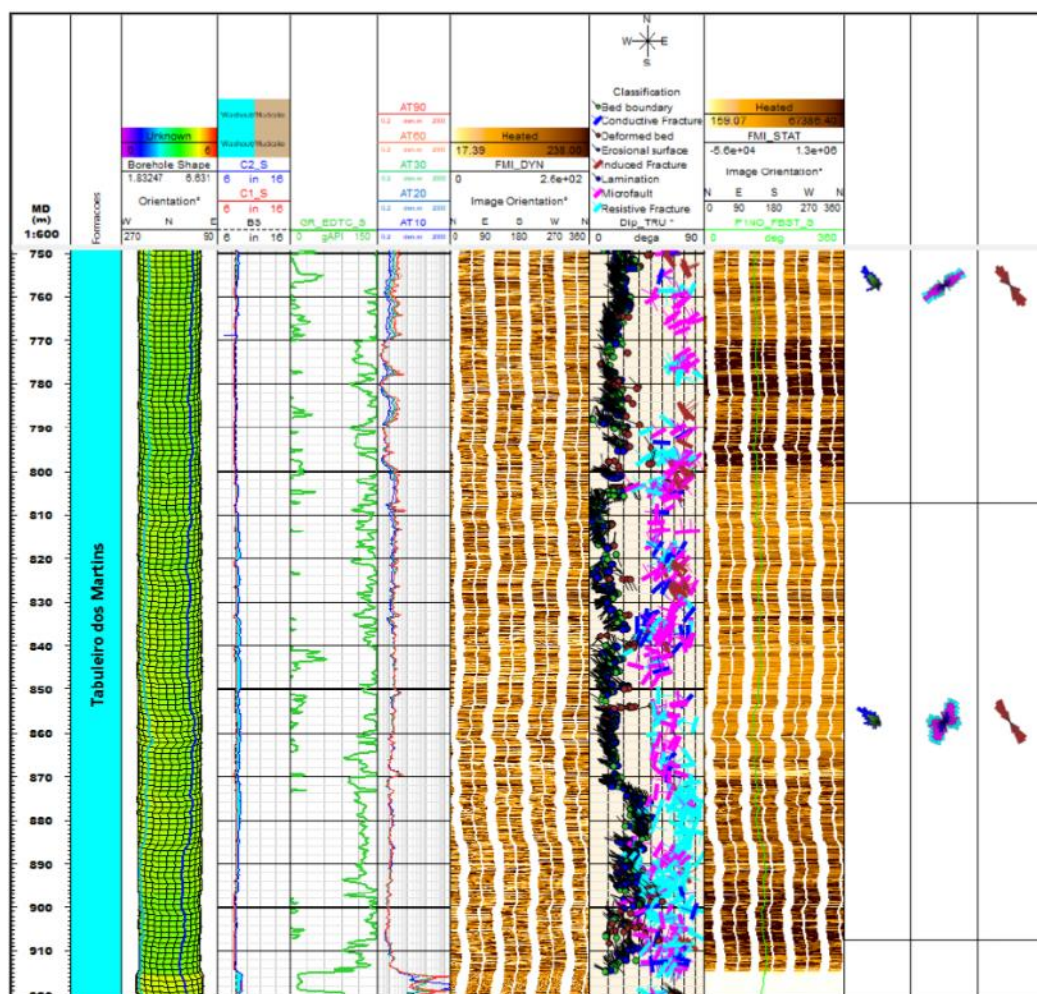


**Figura 46** - Perfil integrado mostrando as 03 principais zonas com variação de azimuth e *dip* na Formação Poço.



**Figura 47** - Perfil integrado na região da base da Formação Poço e topo da Formação Maceió, Membro Tabuleiro dos Martins. Destaca-se a mudança na direção do acamamento entre as formações, indo de predominantemente NE (Fm. Poço) e NW (Mb. Tabuleiro dos Martins).





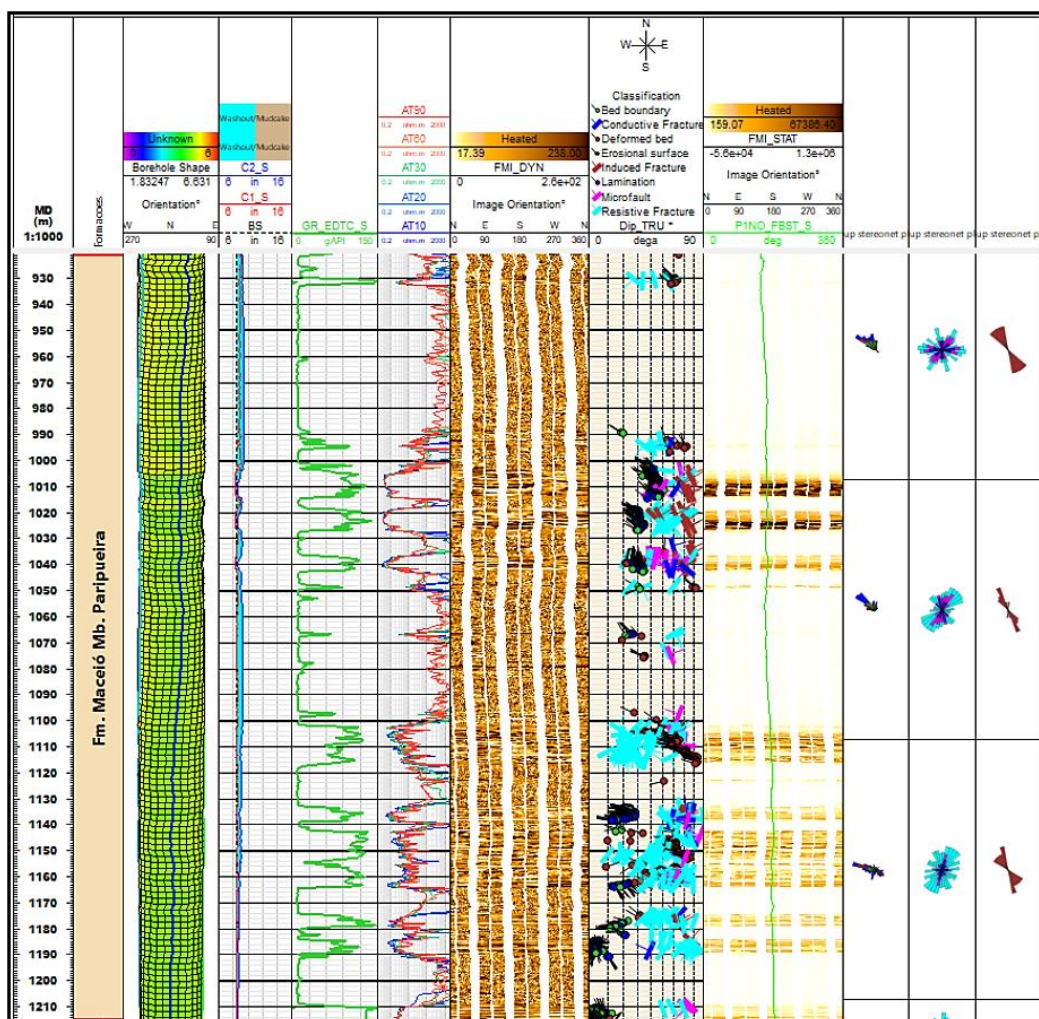
**Figura 48** - Perfil integrado na região da Formação Maceió, Membro Tabuleiro dos Martins.

Fraturas resistivas são observadas nesta formação com strike principal NE-SW. Já as fraturas condutivas mostram *strike* NNE-SSW.

A maioria das micro-falhas observadas no intervalo estudado apresentam *strike* predominante para NE-SW predominante. Fraturas induzidas também são interpretadas nesta formação com *strike* de NW-SE.

A Formação Maceió, Evaporitos Paripueira, contém grandes intervalos de sal-gema com lentes de folhelho e/ou argilito descontínuas, fraturados e com mergulhos variados, porém cuja estratificação tem mergulho predominante para 20,5° para NW (este alto ângulo de mergulho pode ser local e estar relacionada a fluência da camada de sal-gema). Os registros de resistividade indicam valores altos, saturando a imagem estática (**Figura 40 e Figura 49**) e baixos valores de raios Gamma. Os planos de “acamamento” estão deformados nesta unidade.

Fraturas resistivas foram observadas com direção dominante para NE-SW e NNE-SSW. Já as fraturas condutivas têm direção concentrada no setor NNE-SSW, especialmente observada nos folhelhos.



**Figura 49** - Perfil integrado na região da Formação Maceió, Evaporitos Paripueira.

O Membro Ponta Verde, da Formação Maceió, é composto por folhelhos e calcarenitos com acamamento penetrativo, de baixo ângulo e depositados em ambiente de baixa energia, com mergulhos predominantes para SE e SW, com magnitude média de 5,8° (**Figura 50**). Também foram visualizadas algumas fraturas resistivas, com planos com *strike* N-S. Algumas micro-fraturas apresentaram *strike* NE-SW.



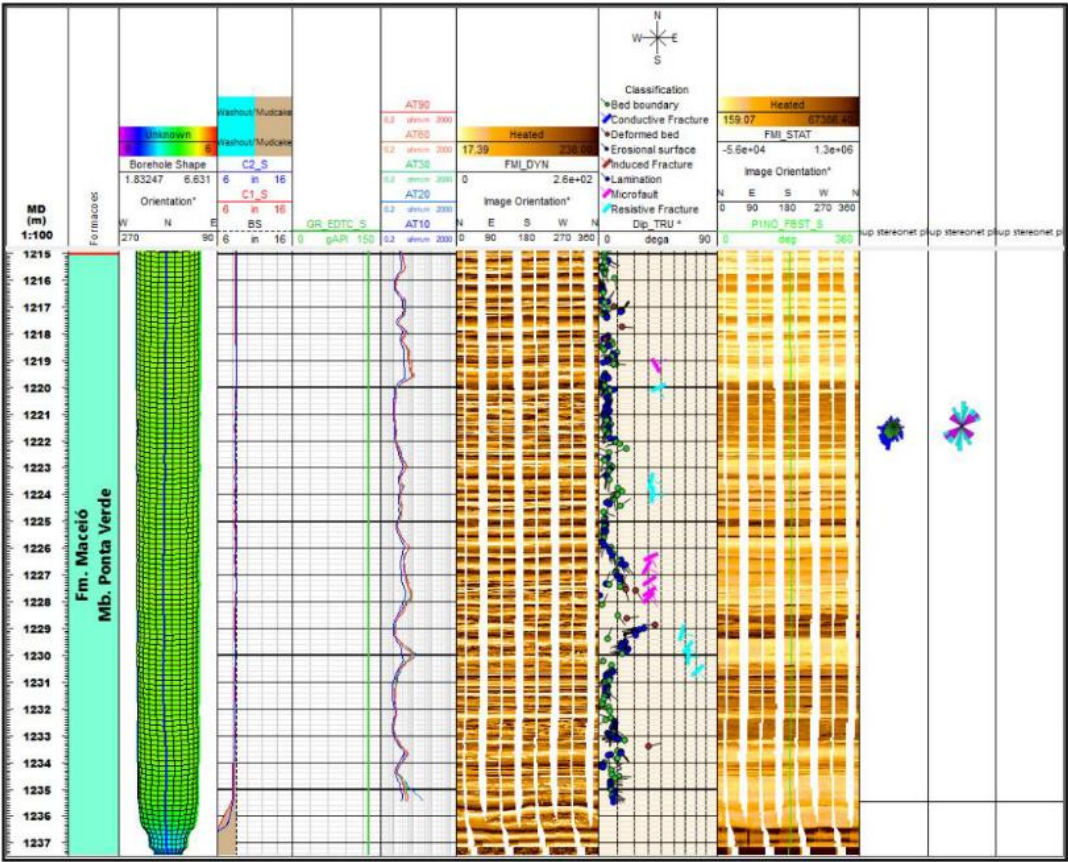


Figura 50 - Perfil integrado na região da Formação Maceió, Membro Ponta Verde.

### 7.3 Medidas do Acamamento (So).

Com o auxílio do perfil FMI foi possível realizar medidas de direção do acamamento  $S_0$  ao longo do poço, individualizando por unidade geológica. A representação da direção pode ser visualizada nos histogramas de frequência contidos na **Figura 51**. De maneira geral os mergulhos das camadas das formações são de baixo ângulo, situados ao redor  $6,9^\circ$ , localmente e de forma isolada podendo chegar a pouco mais de  $30^\circ$  (**Figura 52**).

Os dados do Grupo Barreiras (**Figura 51A e Figura 53**) mostram camadas com direções predominantemente para NE entre os azimutes  $50^\circ$  e  $60^\circ$ , contudo havendo dispersões de  $20^\circ$  a  $150^\circ$ . Também ocorrem discretas e localizadas medidas para o quadrante NW.

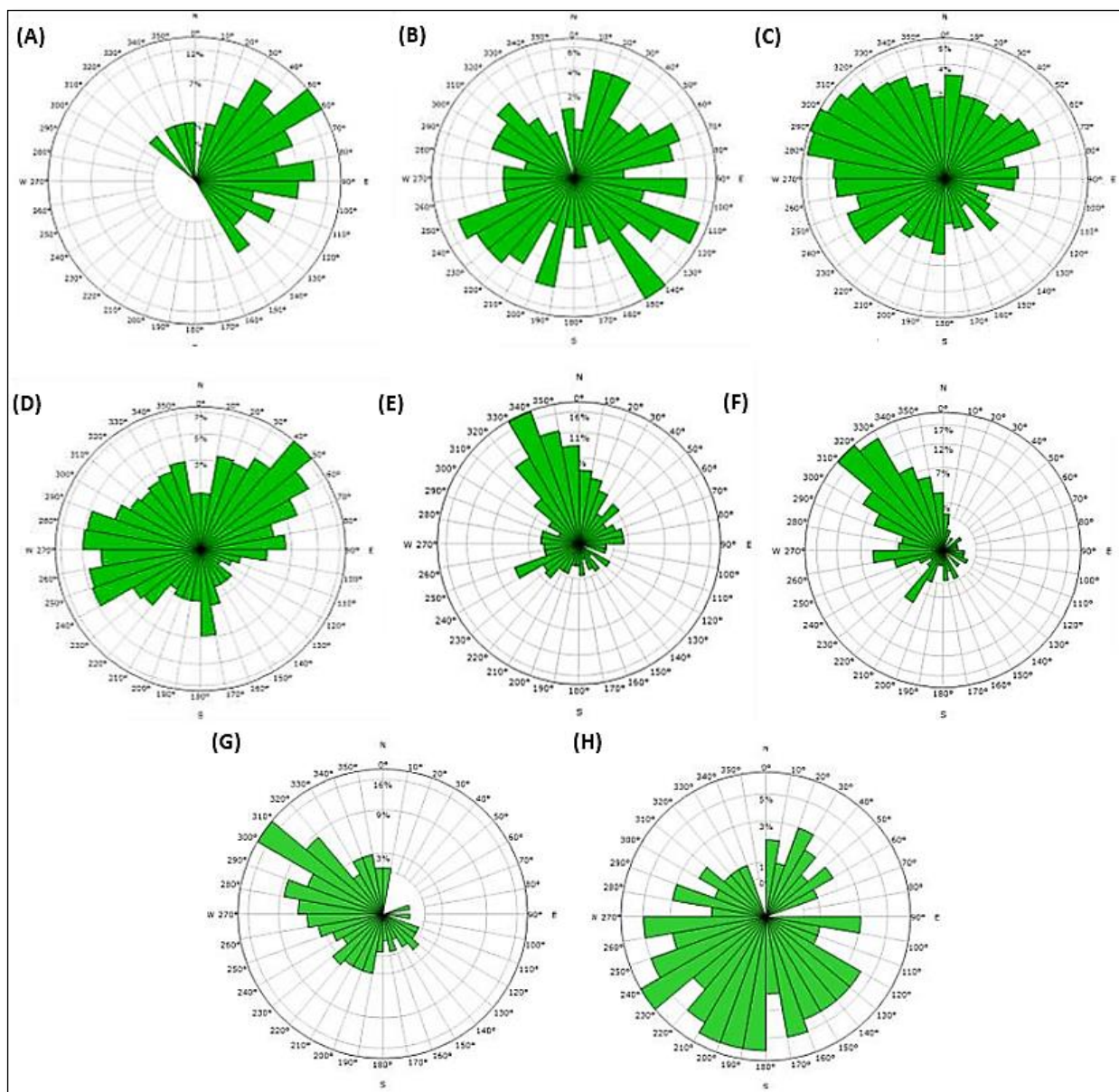
A Formação Marituba não apresenta uma direção preferencial (**Figura 51B e Figura 54**). Como a formação é composta principalmente por arenitos e quando os planos de acamamento são de baixo ângulo é comum se observar mergulhos dispersos em várias direções como o observado.

Da mesma maneira observa-se no diagrama de rosetas da **Figura 51C** e no perfil integrado da **Figura 55**, que o acamamento na Formação Mosqueiro também apresenta baixo ângulo de inclinação dada a dispersão das medidas contudo evidenciando uma discreta tendência para NW (azimute  $295^\circ$ ).

O diagrama de rosetas da Formação Muribeca (**Figura 51D**) mostra dois principais sentidos, para NE e W, evidenciando que a unidade geológica apresenta caimentos também com baixo ângulo (dada a dispersão das medidas) porém se apresentando suavemente ondulada. No perfil integrado da **Figura 56** podem ser visualizadas feições *sin*-sedimentares com fraturamentos com rejeitos e ao longo da unidade feições de deformação plástica.

As formações Poção e Maceió (Membro Tabuleiro dos Martins e Evaporitos Paripueira) exibem acamamento com direções principais para o quadrante NW. A Formação Poção exhibe nos diagrama de rosetas (**Figura 51E**) uma direção principal ao redor do azimute  $335^\circ$  (com variações secundárias entre  $325^\circ$  a  $355^\circ$ ), já o Membro Tabuleiro dos Martins (**Figura 51F**) mostra azimute principal entre  $315^\circ$  e  $325^\circ$  (com variações secundárias entre  $305^\circ$  e  $335^\circ$ ) e os Evaporitos Paripueira (**Figura 51G**) exhibe concentração azimutal em  $305^\circ$  (com variações secundárias entre  $285^\circ$  e  $315^\circ$ ).

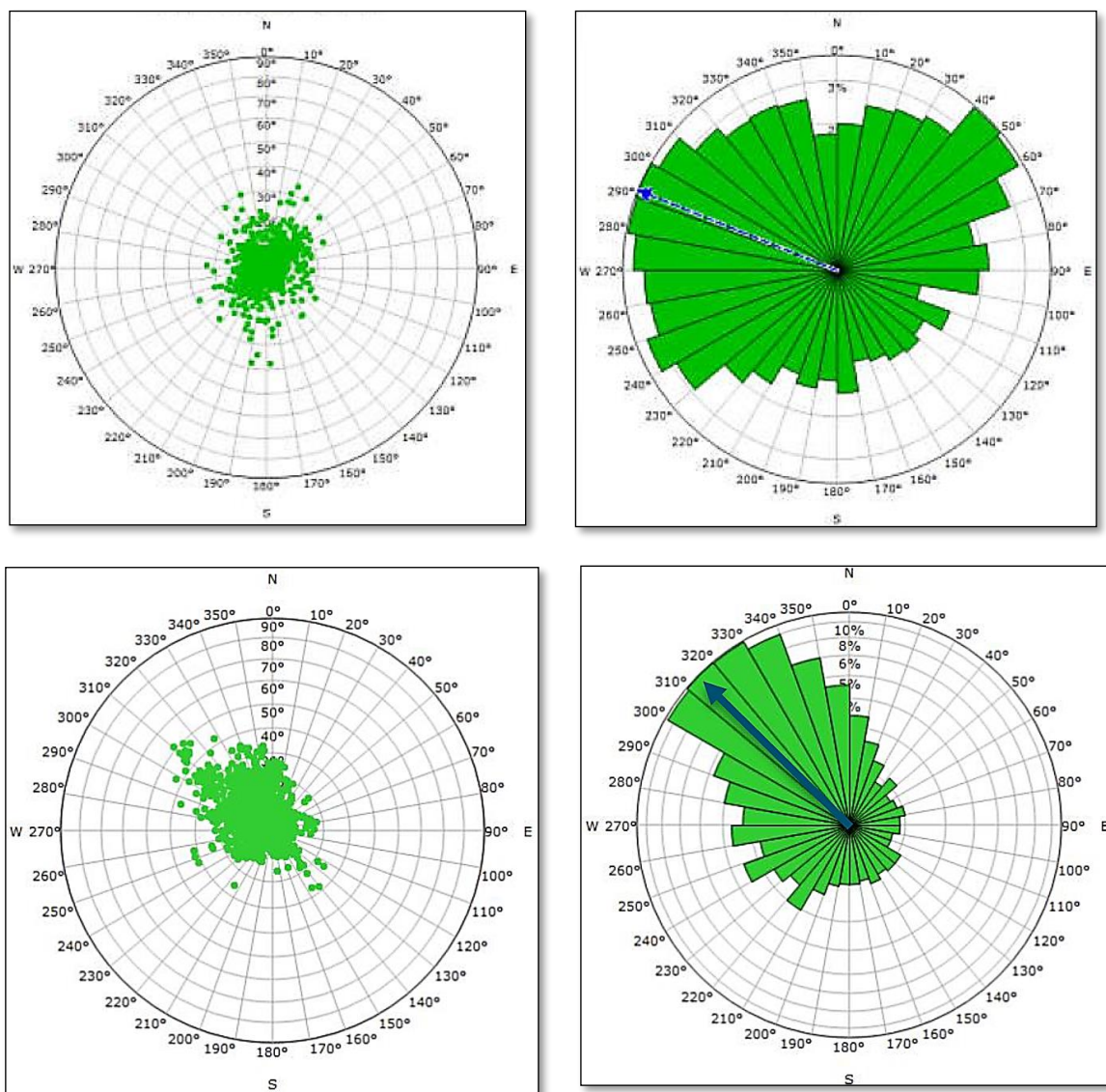
O Membro Ponta Verde, base da camada de sal-gema, mostra direção dispersa do acamamento contudo concentrada no quadrante Sul (**Figura 51H**).



**Figura 51** - Histograma de medidas do acamamento para as formações: (A) Barreiras, (B) Marituba; (C) Mosqueiro; (D) Muribeca; (E) Poção; (F) Maceió/Tabuleiro dos Martins; (G) Maceió/Evaporitos Paripueira, e; (H) Maceió/Ponta Verde.

Em relação aos mergulhos, as unidades superficiais (Barreiras, Marituba, Mosqueiro e Muribeca) apresentam mergulho ao redor de  $6,92^\circ$  (**Figura 52A**) com média das medidas de direção para o azimute  $291^\circ$  (**Figura 52B**). Já para as formações sotopostas (Poção e Maceió) os mergulhos situam-se ao redor de  $14,5^\circ$  (**Figura 52C**) e os azimutes médios em  $315^\circ$  (**Figura 52D**).





**Figura 52** - Diagrama de pólos e rosetas para as medidas de acamamento das unidades Barreiras, Marituba e Muribeca (A e B) e Poço e Maceió (C e D). As unidades superficiais apresentam inclinação ao redor de  $6,92^\circ$  (A) e média das medidas de direção para o azimuth  $291^\circ$  (B), enquanto para as formações abaixo (Poço e Maceió) os mergulhos situam-se ao redor de  $14,5^\circ$  (C) e os azimutes médios em  $315^\circ$ .



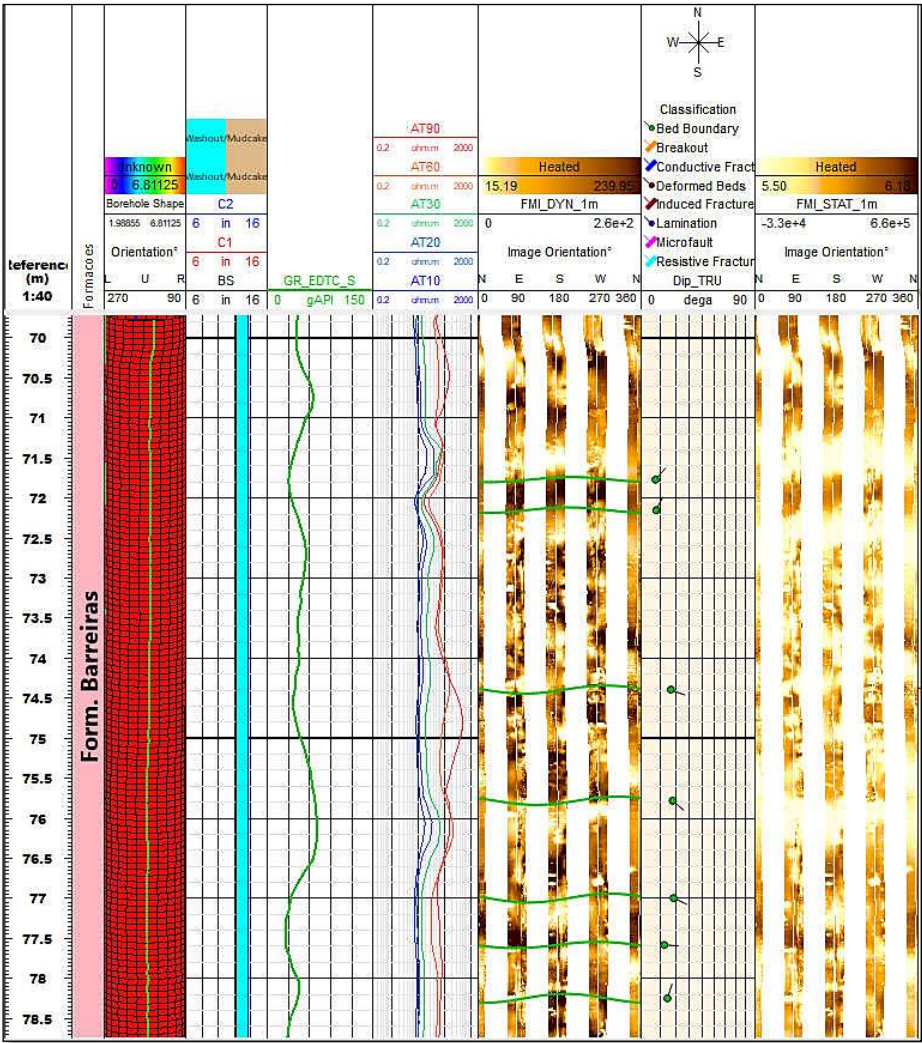
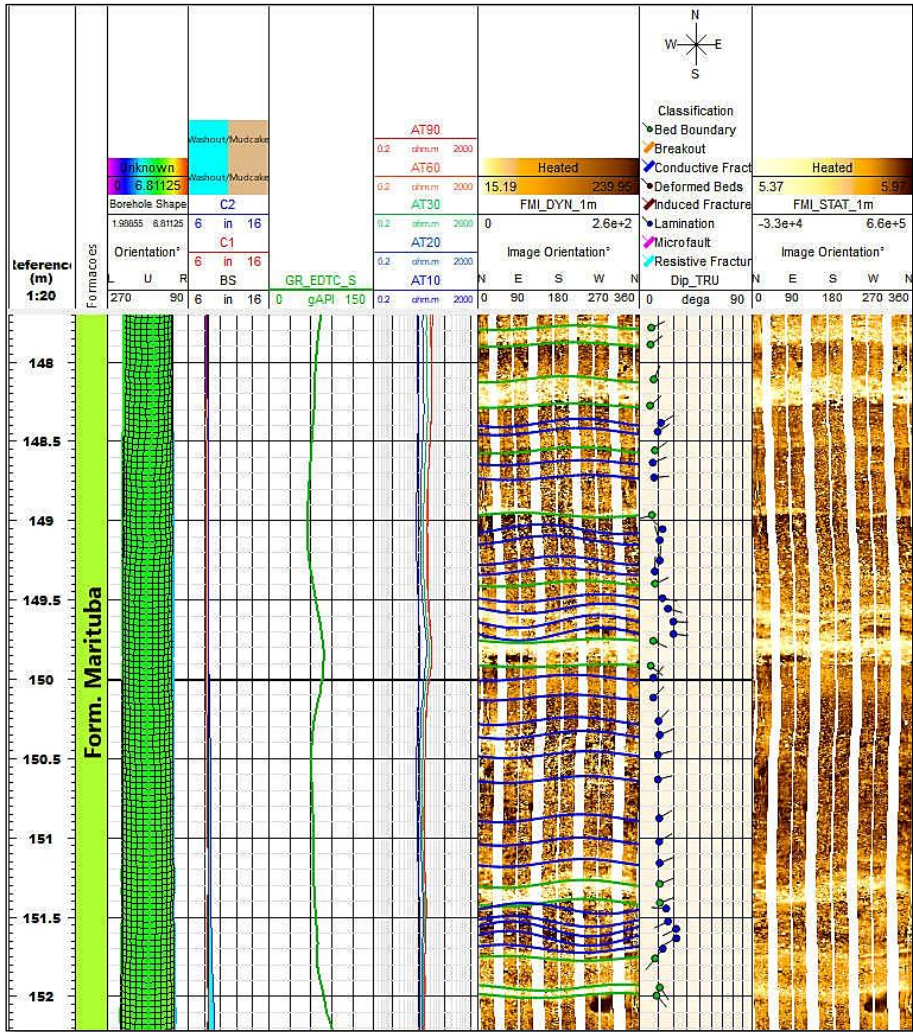


Figura 53 - Perfil Integrado para sedimentos do Grupo Barreiras, com indicação de S0 sub-horizontal (linhas verdes) e medidas com variações de azimuth tomadas a partir do FMI (●).



**Figura 54** - Perfil Integrado para sedimentos da Fm. Marituba, exibindo So sub-horizotal (linhas verdes e azuis) e variações de azimute ( ).



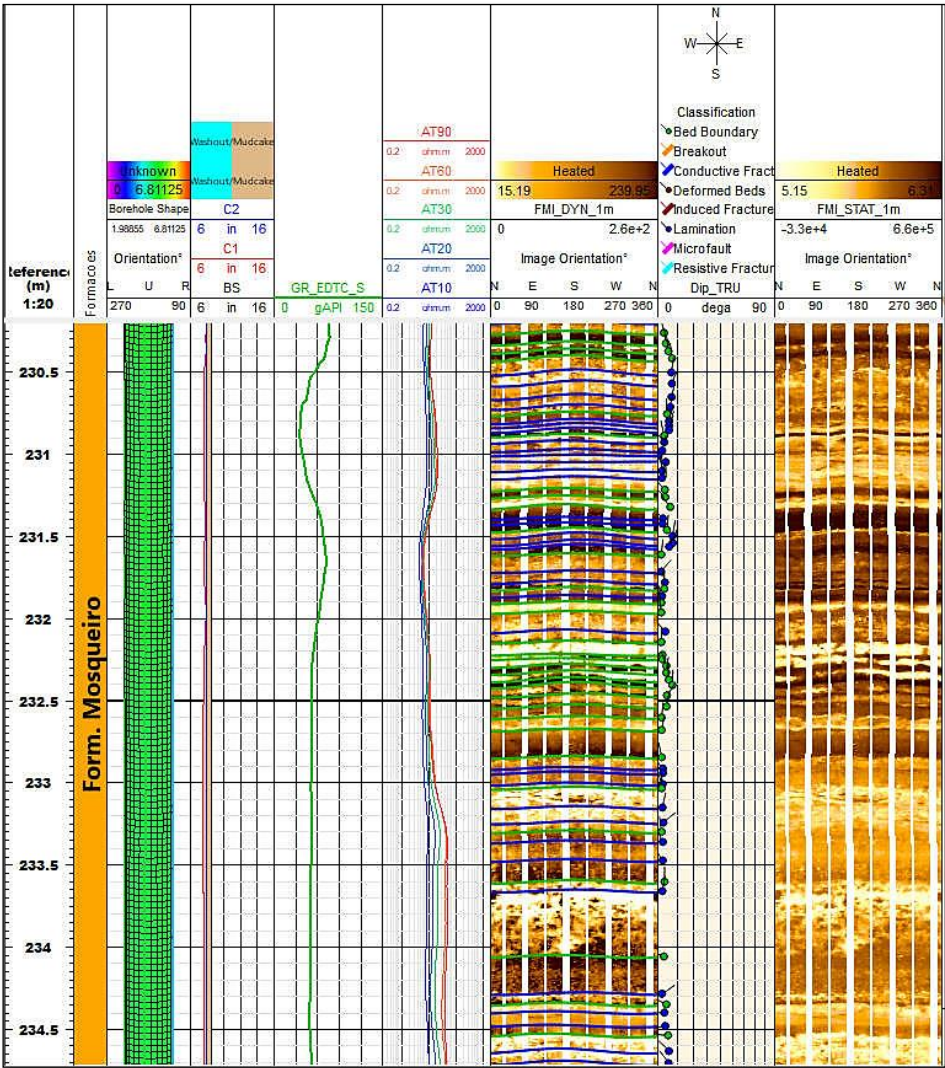
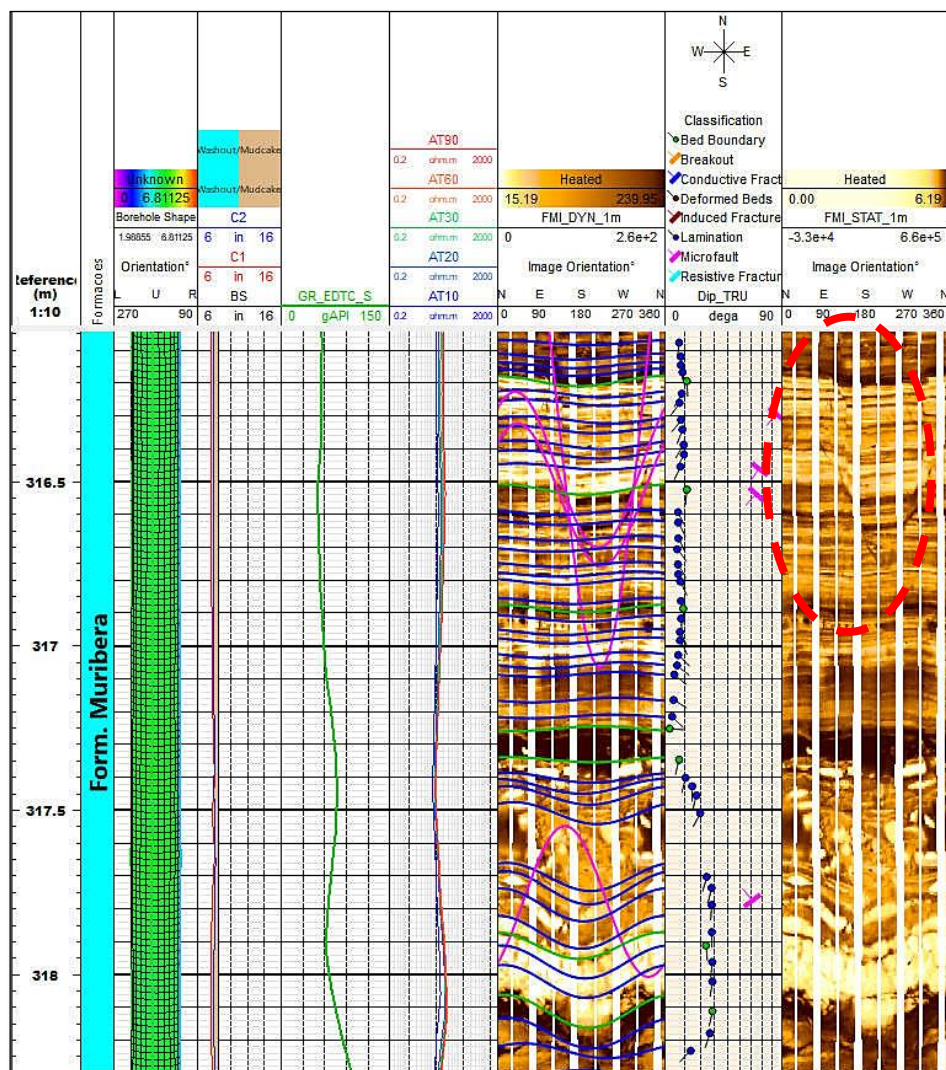
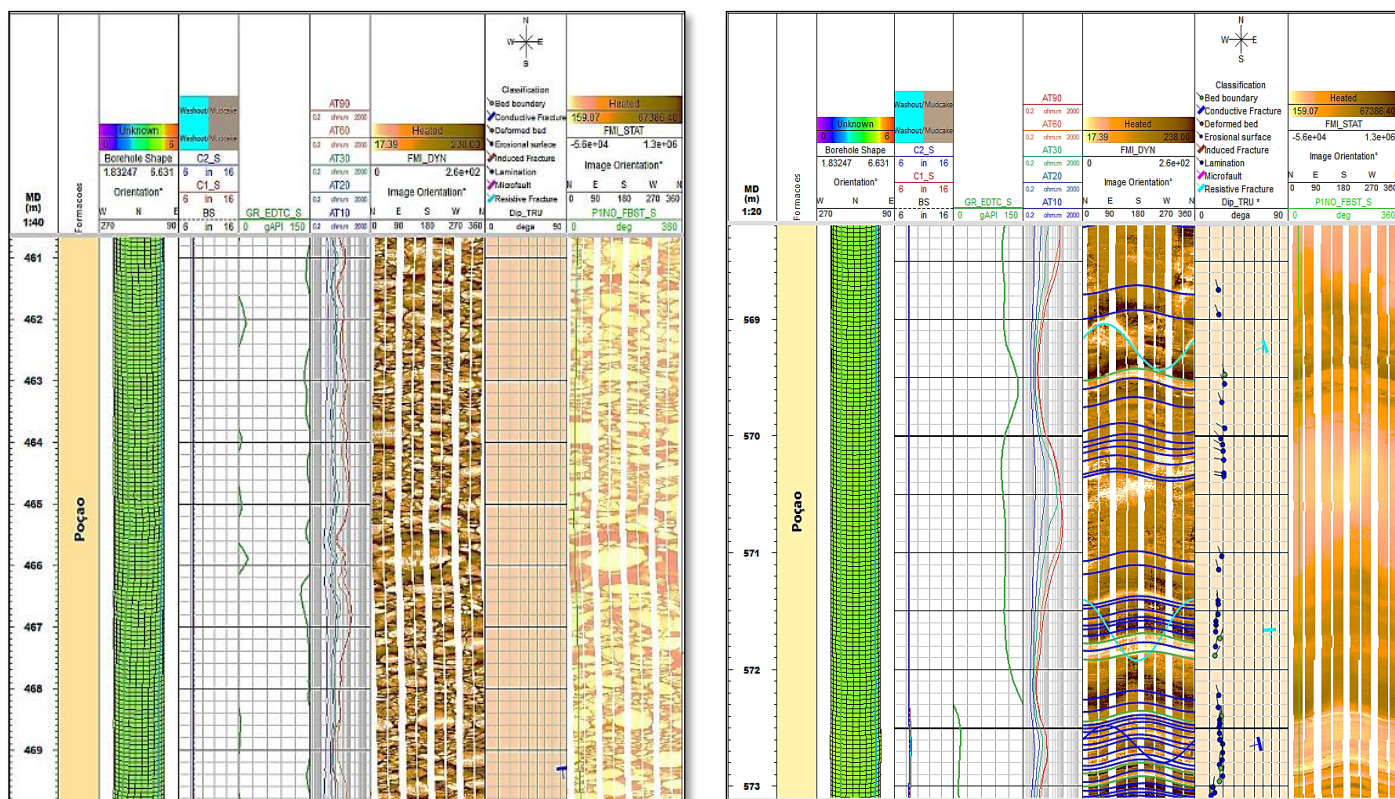


Figura 55 - Perfil Integrado para sedimentos da Fm. Mosqueiro, exibindo S<sub>0</sub> sub-horizantal (linhas verdes e azuis) e variações de azimute (↗).

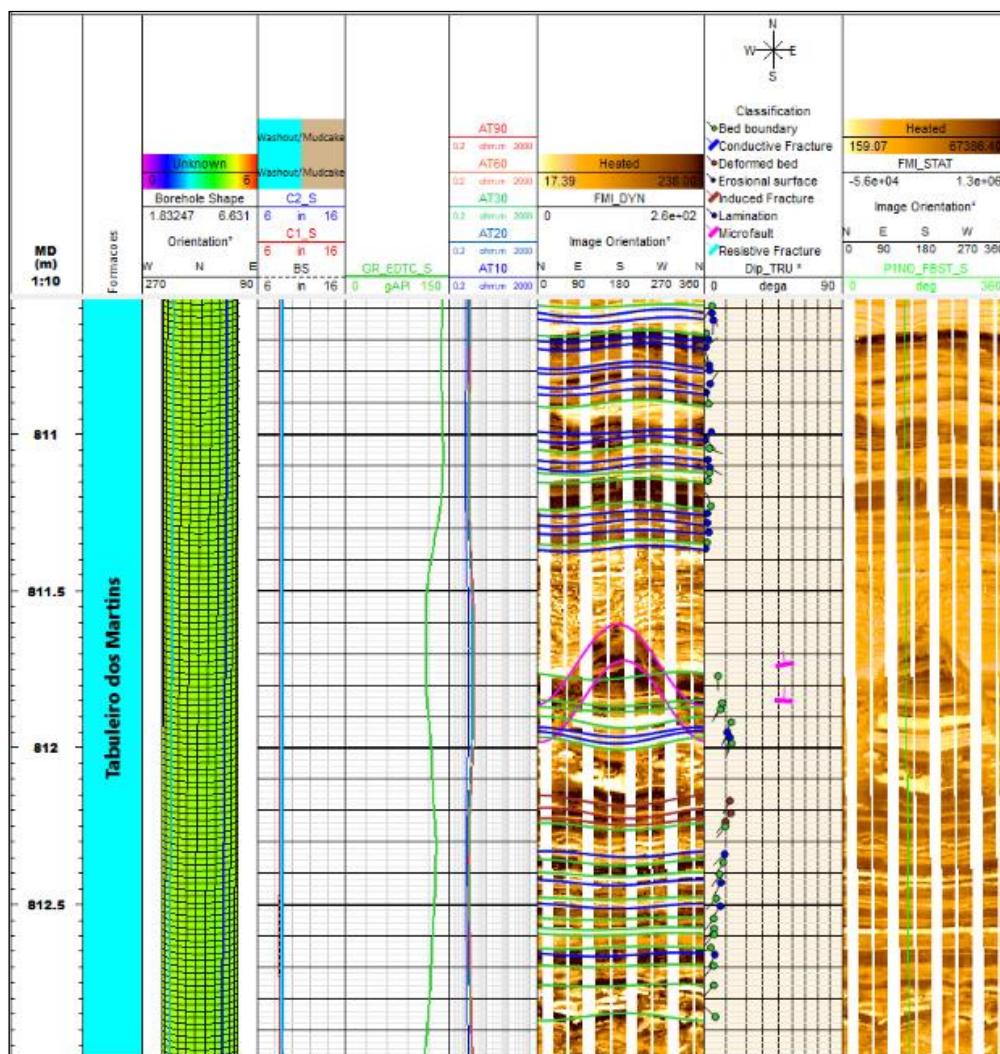


**Figura 56** - Perfil Integrado para sedimentos da Fm. Muribeca, exibindo So sub-horizontal (linhas verdes e azuis) e variações de azimute (→). Também é possível no observar no FMI zona de fraturas com rejeito (círculo vermelho).





**Figura 57** - Perfil Integrado dos sedimentos da Fm Poço. (A) Horizonte conglomerático em destaque no perfil FMI, e; (B) So sub-horizental (linhas verdes e azuis) e presença de fraturas.



**Figura 58** - Perfil Integrado para sedimentos do Mb Tabuleiro dos Martins, com S<sub>0</sub> sub-horizontal (linhas verdes e azuis), com variações de azimute (°) e presença discreta de micro fraturas.

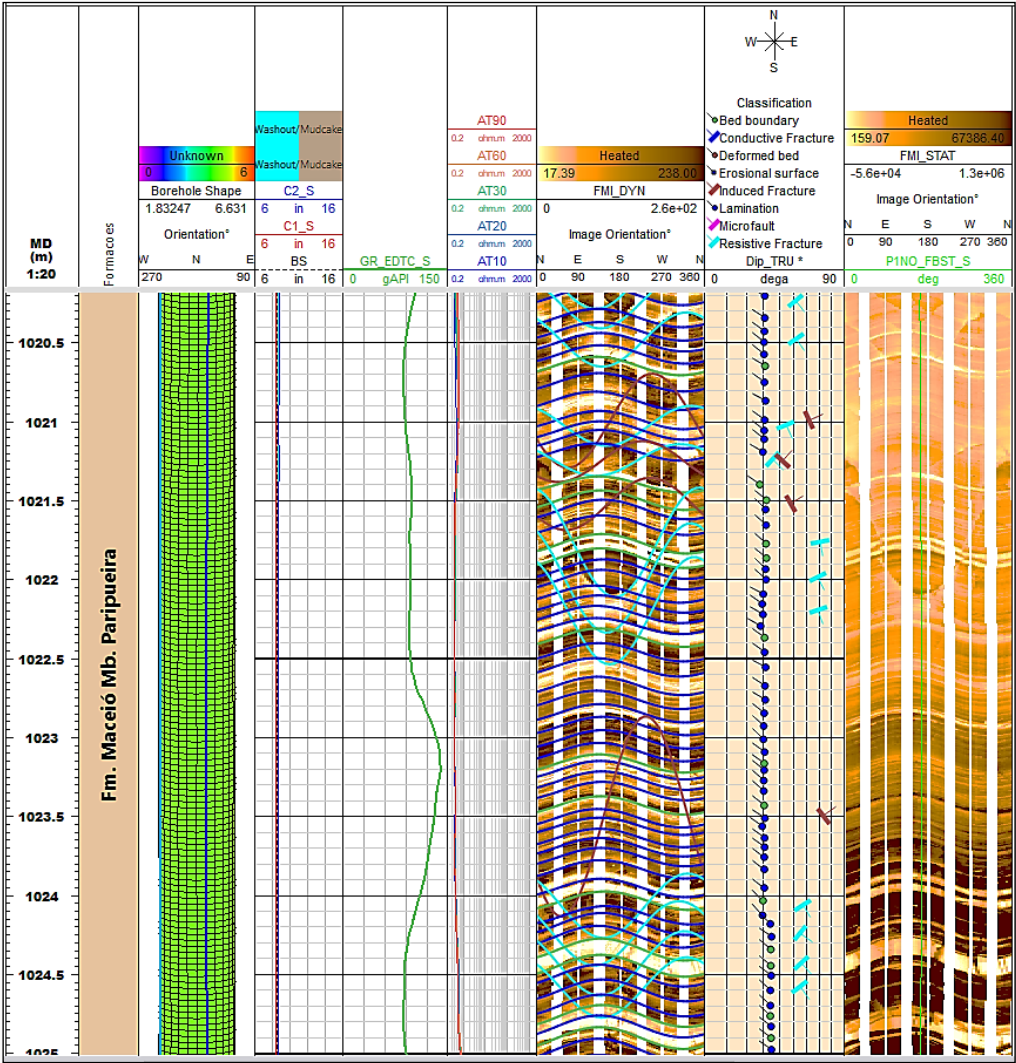
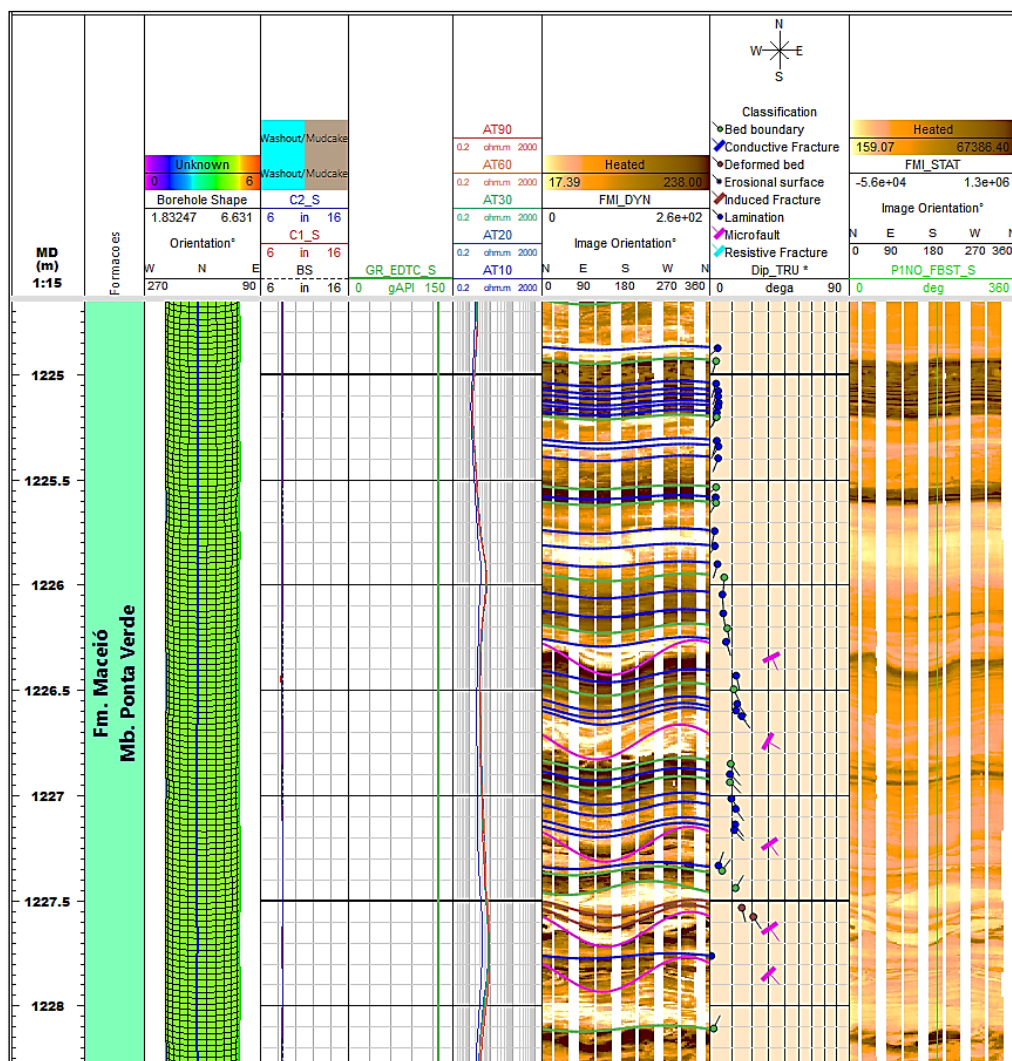


Figura 59 - Perfil Integrado para sedimentos do Evaporitos Paripueira, exibindo S0 sub-horizontal (linhas verdes e azuis) e presença de fraturas.





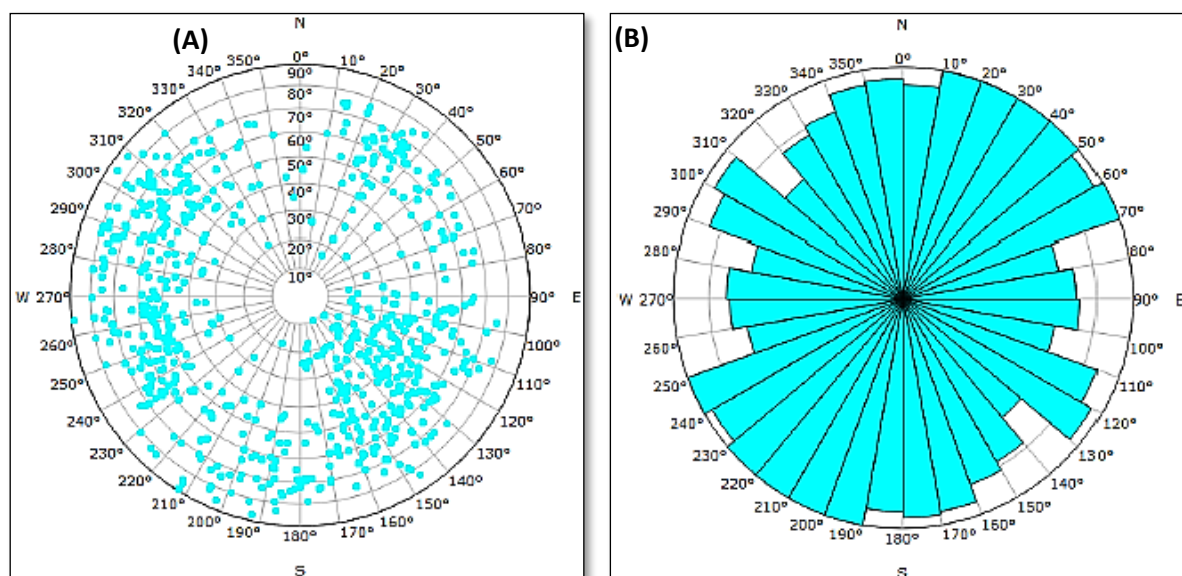
**Figura 60** - Perfil Integrado para sedimentos do Mb Ponta Verde, exibindo So sub-horizonta (linhas verdes e azuis) e presença de fraturas.

#### 7.4 Fraturas Resistivas e Condutivas

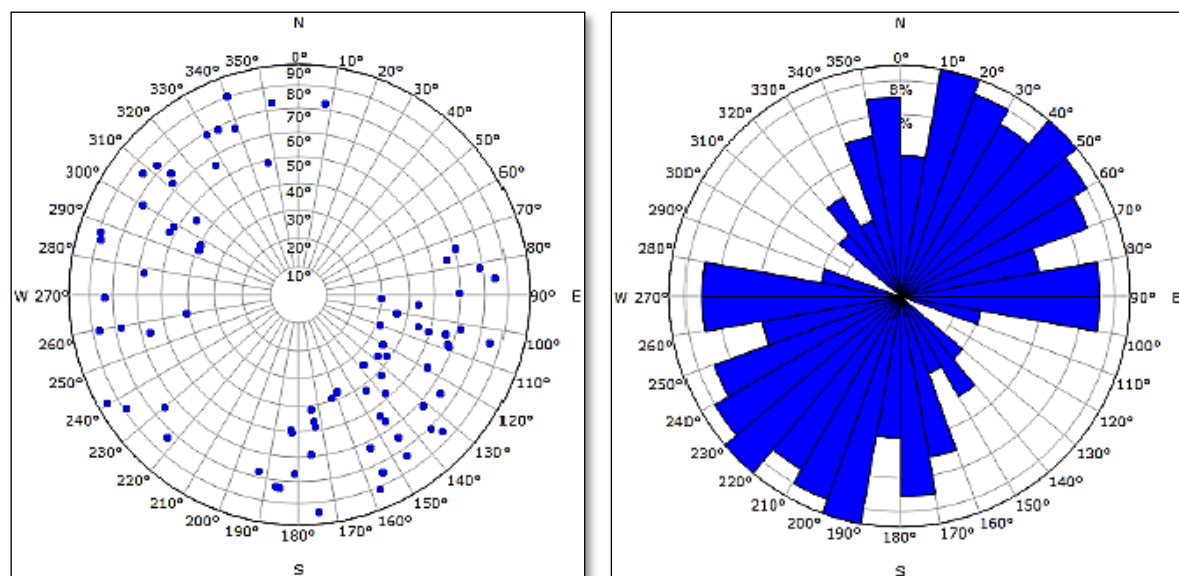
Ocorrendo principalmente no Membro Tabuleiro dos Martins e Evaporitos Paripueira, os *strikes* principais das fraturas resistivas são NE-SW, NNW-SSE e NW-SE, com média de inclinação dos planos entre 54° e 56,8° e moda em 54,7°, mostrando variação na inclinação entre 9,5° até 89,12° (**Figura 61A** e **Figura 61B**). No perfil integrado da **Figura 63** podem ser visualizados planos de fraturas resistivas.

Já as fraturas condutivas mostram *strike* principal NE-SW e NNE-SSW, secundariamente N-S e E-W. A média de inclinação dos planos de fratura é de 57,2° a 58,9° (**Figura 62A** e **Figura 62B**). No perfil integrado da **Figura 64** podem ser visualizados planos de fraturas condutivas.





**Figura 61 - Diagramas estatísticos para fraturas resistentes: (A) Pólos, (B) Rosetas.**



**Figura 62 - Diagramas estatísticos para fraturas condutivas: (A) Pólos, (B) Rosetas.**

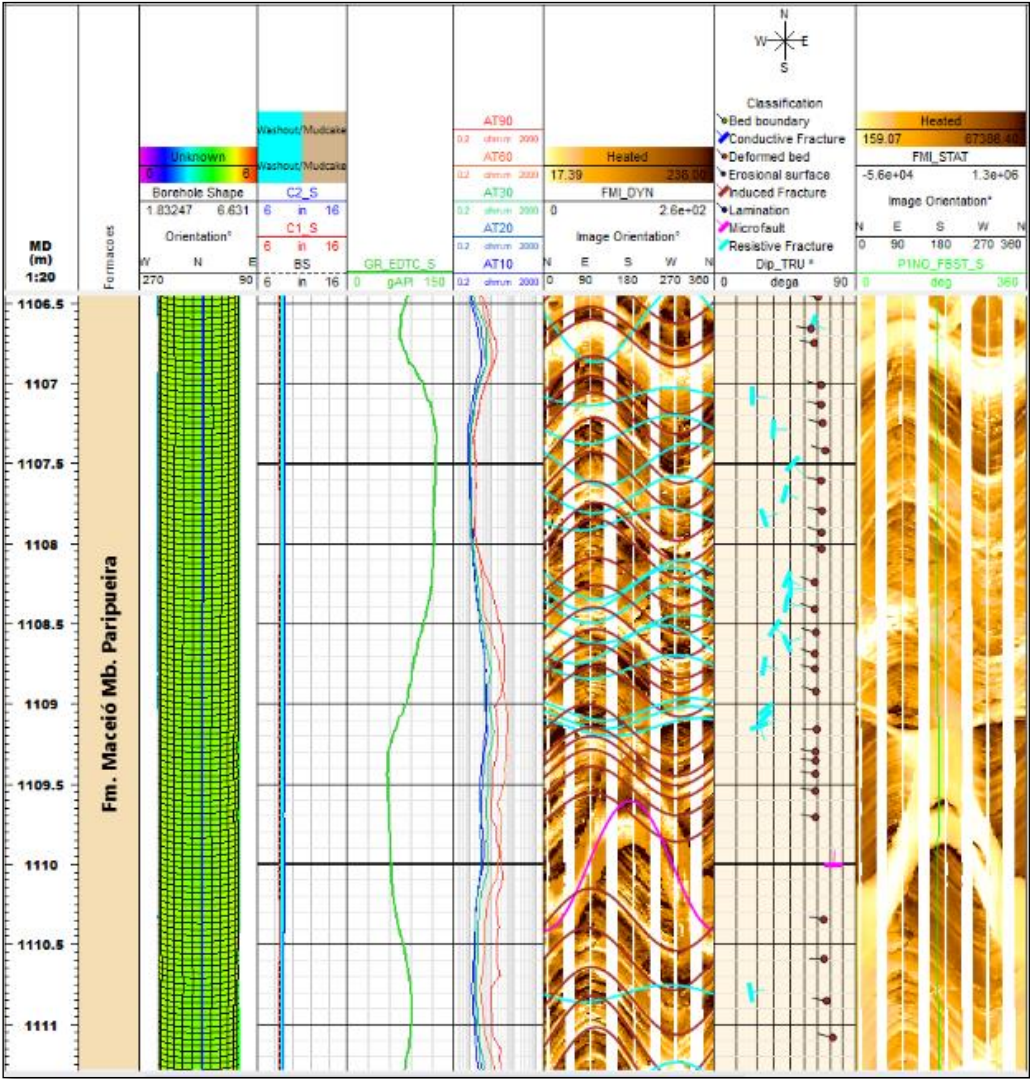
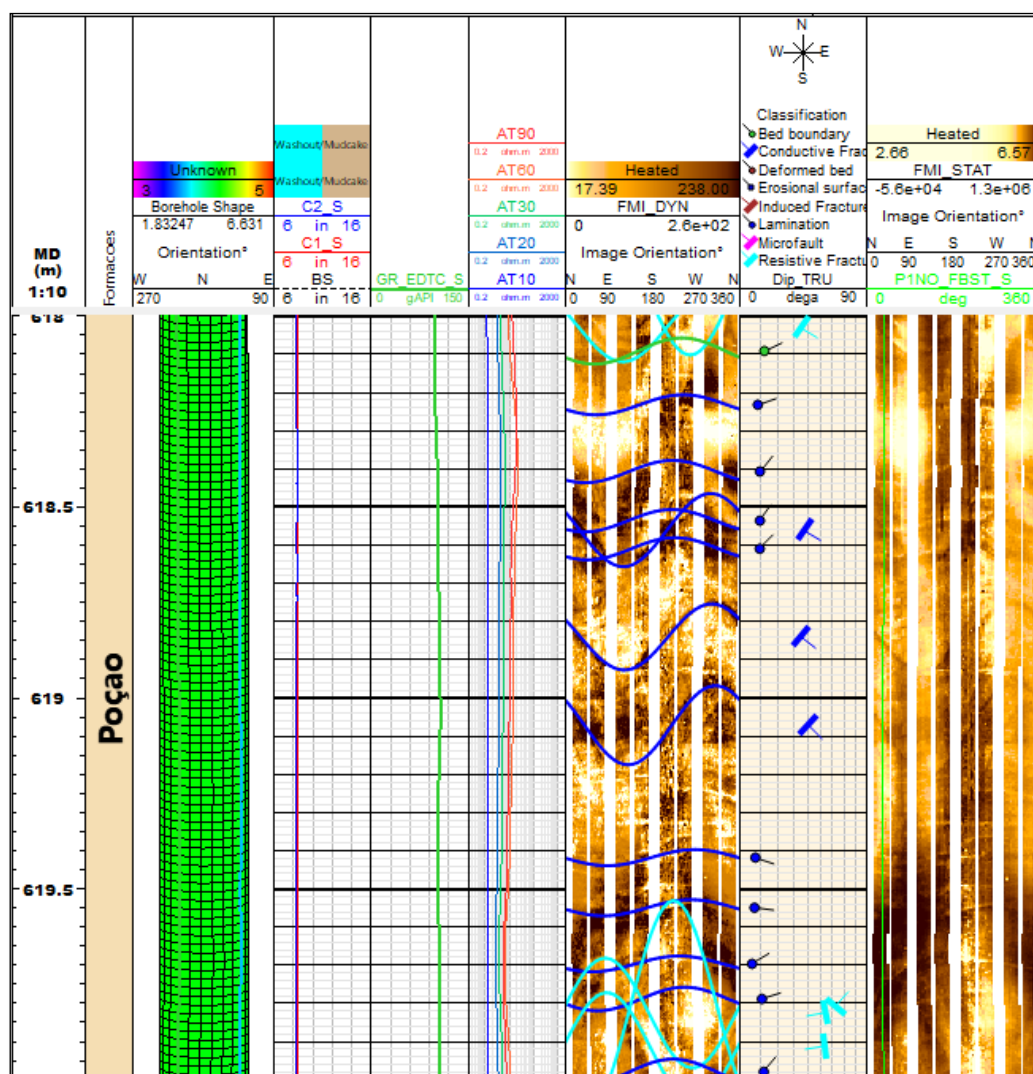


Figura 63 - Perfil integrado mostrando exemplos de fraturas resistivas (linhas em azul-claro).

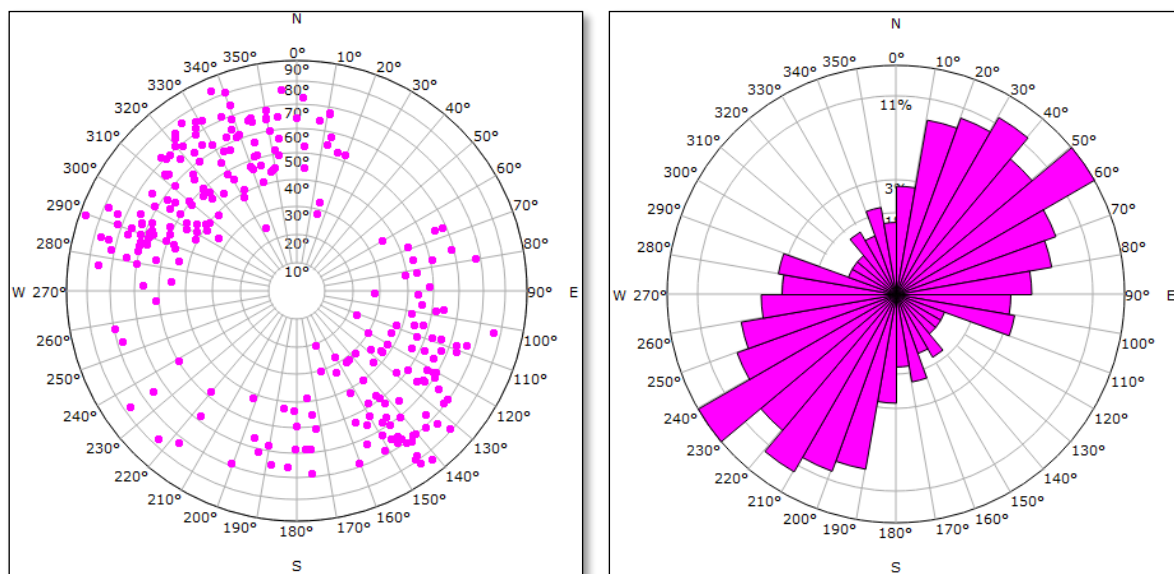


**Figura 64** - Perfil integrado mostrando exemplos de fraturas condutivas (linhas em azul).

### 7.5 Características das Micro-fraturas

As micro fraturas se encontram distribuídas predominantemente no intervalo da Formação Maceió, Membro Tabuleiro dos Martins (**Figura 65**).

Mostram *strike* principal NE-SW enquanto a média aritmética de inclinação dos planos de fratura fica em torno de 56,34°, moda em 66°, apresentando variação entre 20,49° até 87,14°. Estas feições podem ser visualizadas no perfil integrado da **Figura 58**.

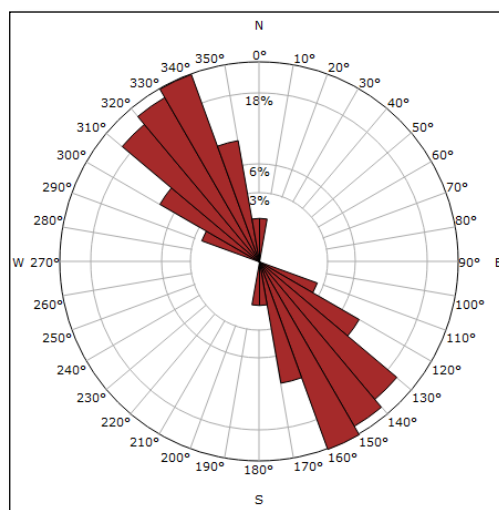


**Figura 65** - Diagramas estatísticos para micro fraturas: (A) Pólos e (B) Rosetas.

## 7.6 Fraturas Induzidas pela operação

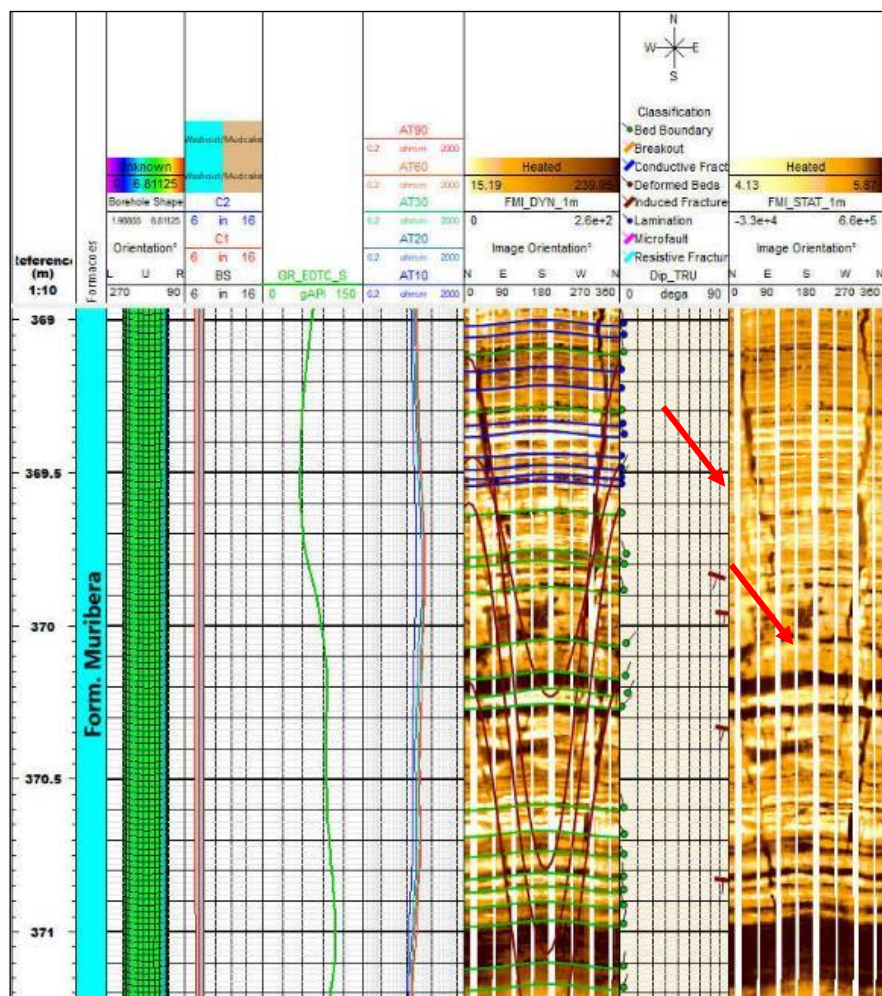
As fraturas induzidas são observadas principalmente no intervalo da Formação Maceió, Membro Tabuleiro dos Martins e Evaporitos Paripueira (**Figura 66**). São feições formadas pelo excesso de peso sobre broca na unidade litológica, sendo, portanto, geradas durante o processo de recorte/testemunhagem.

Foram encontradas fraturas induzidas nas formações Muribeca (**Figura 67**) e Maceió (Membro Tabuleiro dos Martins e Evaporitos Paripueira). Mostram *strike* preferencial NNW-SSE e inclinação das linhas observadas predominantemente vertical (variando entre 60° e 90°).



**Figura 66** - Diagramas de rosetas para fraturas induzidas pela operação.





**Figura 67** - Perfil integrado de sedimentos da Formação Muribeca mostrando fraturas induzidas pelo processo de recorte e testemunhagem (posição indicada pelas setas vermelhas).

### 7.7 ZVSP (Zero Vertical Seismic Profile)

Foram realizadas duas aquisições ZVSP pela *Schlumberger* para a Braskem, no poço PE-04. A primeira em setembro de 2020 ao final da primeira fase e a segunda em abril de 2021 ao final da segunda fase do projeto.

Os dados foram registrados usando uma ferramenta de fundo de poço VSI (*Versatile Seismic Imager*) de 4 níveis e 3 componentes com 15,24 m de separação de cabo e os sensores foram localizados de 334,58 m a 1233,72 m MD no poço. Também foi realizada outra aquisição ZVSP em setembro de 2020, ao final da primeira fase do projeto e os sensores foram localizados de 90,71 m a 426,01 m MD no poço PE-04. Como fonte foi utilizado *G-Gun* de 2x175cu.in com um deslocamento de 20,5 m, azimute de 159 ° e 31 m acima do nível médio do mar para ambas as execuções ZVSP.

Os objetivos da pesquisa foram obter uma relação de tempo/profundidade e uma imagem de alta qualidade da subsuperfície, para melhorar a imagem dos refletores vistos nos dados sísmicos de superfície atualmente disponíveis e também para obter uma melhor compreensão das estruturas geológicas na área.

Todos os resultados apresentados neste item são baseados nas aquisições obtidas entre a primeira e a segunda execuções do ZVSP.

O processamento do ZVSP foi realizado na *Schlumberger D&I* - Centro de Computação A&I em Buenos Aires. Os resultados finais são todos referentes ao *SRD (Seismic Reference Datun)* que, neste projeto em particular, é o nível médio do mar.

O ZVSP forneceu resultados detalhados sobre a resposta sísmica das formações perfuradas e também abaixo do poço, permitindo um vínculo poço/sísmica mais robusto e uma relação de tempo para profundidade. Os *corridor stacks* obtidos possuem alta resolução, amplitude real, fase zero e são livres de múltiplos, sendo uma excelente referência para calibração de dados sísmicos de superfície.

#### 7.7.1 Objetivos

O *Zero Off-Set VSP* registrado no poço PE-04 teve os seguintes objetivos:

- Gerar um poço calibrado, finamente amostrado, uma função tempo-profundidade vertical para ondas diretas P de *SRD (Seismic Reference Datun)* para *TD (Total Depth)*, a fim de posicionar qualquer informação disponível em profundidade (*log's*, marcadores, pressões de teste etc.) em tempo bidirecional nos dados de sísmica de superfície com precisão.
- Gerar um *corridor stack Pp (Depth Phase)* ao longo da trajetória do poço para ajudar na interpretação da área.

#### 7.7.2 Unidades e Convenções de Polaridade

O sistema métrico foi usado para registrar, processar e produzir resultados após o processamento do centro de computação de dados. Os dados brutos ZVSP P estão em Polaridade Inversa *SEG (Society of Exploration Geophysicists)* "Um aumento da impedância com a profundidade é representado por uma amostra negativa na fita e uma calha branca nos visores.

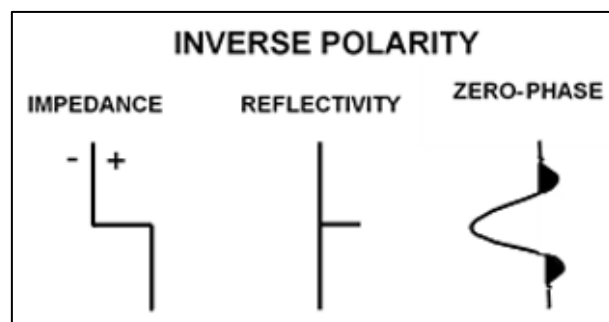
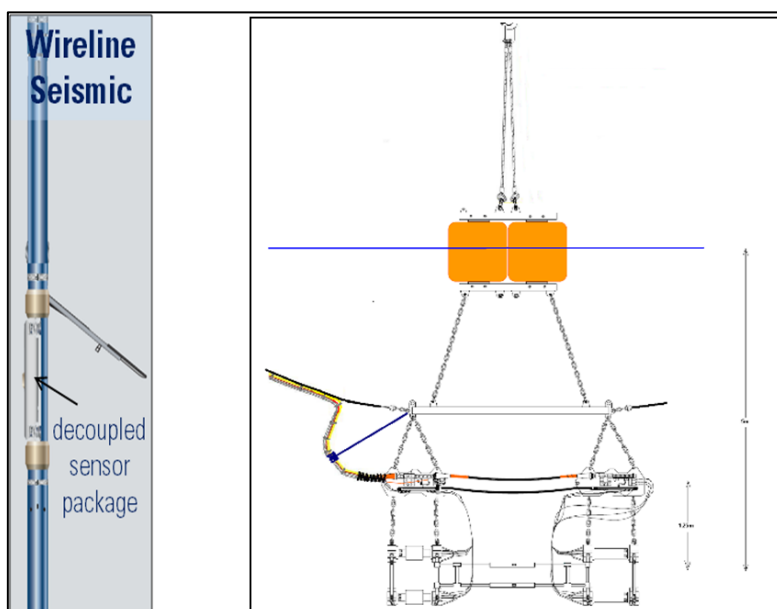


Figura 68 - Convenções de polaridade da Schlumberger.

### 7.7.3 Equipamento Utilizado

- Ferramenta sísmica: *VSI (Versatile Seismic Imager)*
- Número de transportadores: 4
- Tipo de sensor: acelerômetro *GAC-D (Geophone Accelerometer)*, 3 componentes, orientação fixa
- Resposta de frequência: Linear de 3 a 200 Hz
- Tipo de fonte: *G-Gun 2x250 cu.in.*
- Controlador de fonte: TRISOR



**Figura 69** - Equipamento de aquisição - Esquerda: Sensor *VSI (Versatile Seismic Imager)*. - À direita: configuração do *Air Gun*.

### 7.7.4 Parâmetros da Aquisição Sísmica

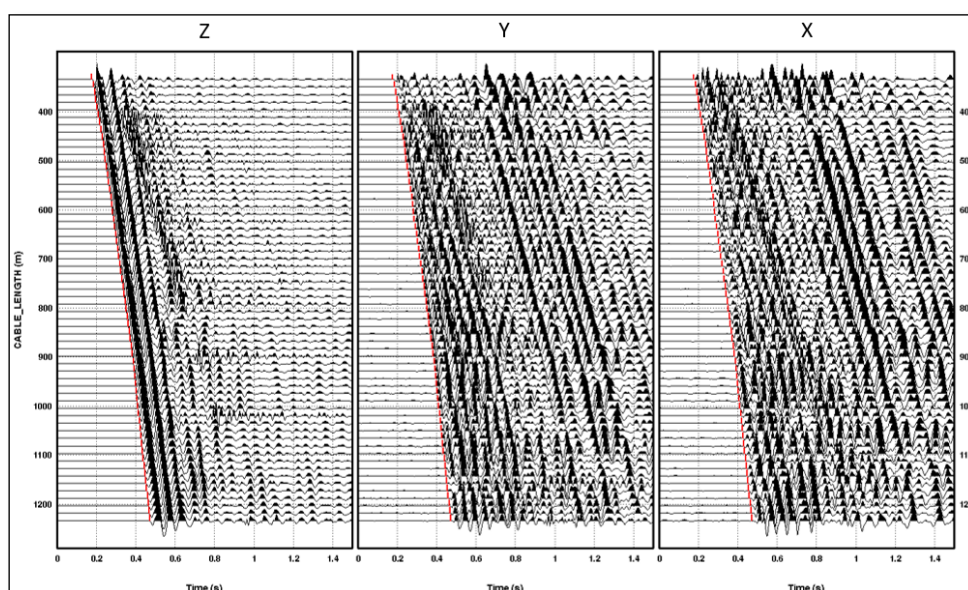
- Sistema de Aquisição: *MAXIS/MCM (Multitask Acquisition and Imaging System/Minimum Configuration Maxis)*
- Duração da gravação (fundo de poço): 5 s
- Taxa de amostragem (fundo de poço): 1 ms
- Número de tiros / nível *VSP*: 5 tiros bons e repetíveis

## 7.7.5 Processamento do ZVSP

### 7.7.5.1 *Stacking* Vertical

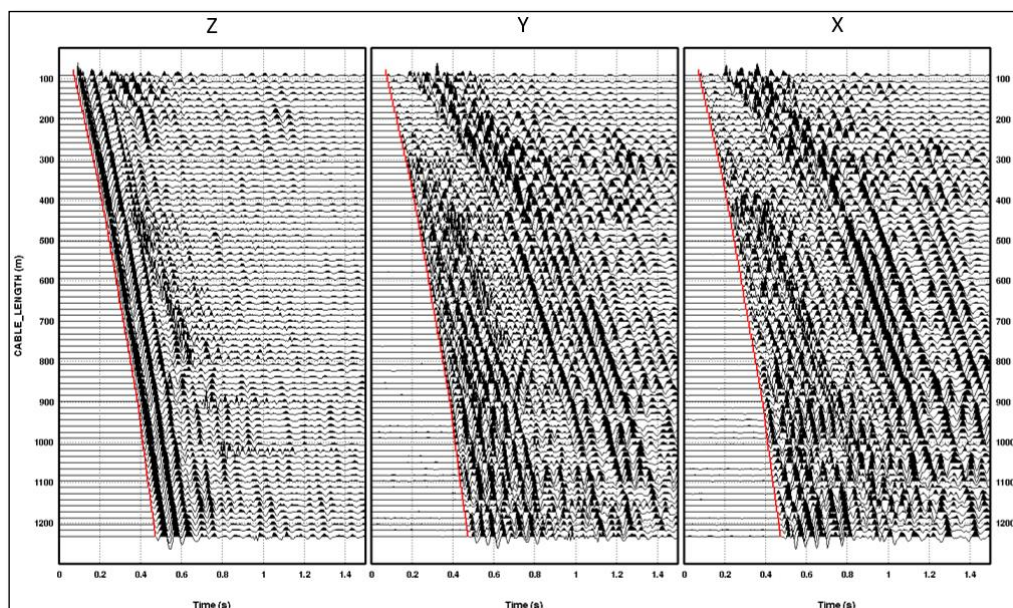
A primeira etapa na sequência de processamento foi o carregamento e a edição dos dados. Os dados de campo brutos foram carregados e os cabeçalhos de rastreamento foram atualizados com a fonte e a posição do receptor para construir o levantamento geométrico. Um mínimo de cinco boas fotos foi adquirido durante a pesquisa VSP para cada nível, a fim de garantir a qualidade destes. Fotos com baixa relação sinal-ruído foram eliminadas durante a edição e foram utilizadas apenas as fotos de boa qualidade. Os *stacks* foram geradas usando o método *median*.

Para a coleta de tempo de trânsito foi usado o componente vertical Z para todos os níveis com boa qualidade de dados. O *stacking* vertical para a segunda execução ZVSP foi concluído componente por componente (**Figura 70**). Os dados *stacks* compilados são apresentados na **Figura 71**.



**Figura 70** – Componentes *stacks* brutos do ZVSP.

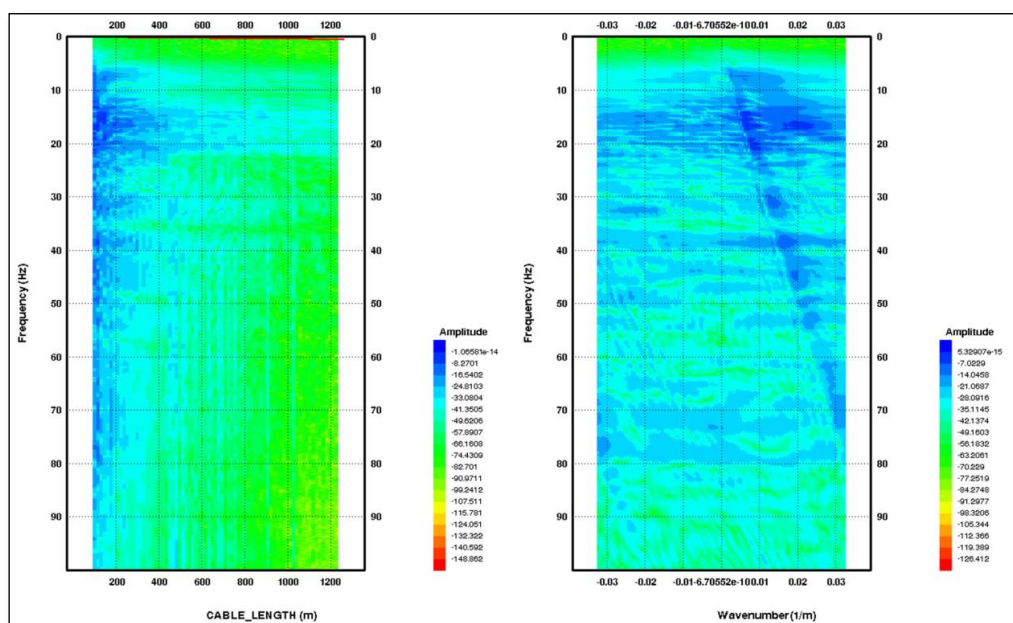




**Figura 71** – Componentes *stacks* brutos compilados do ZVSP.

#### 7.7.5.2 Análises de Frequência

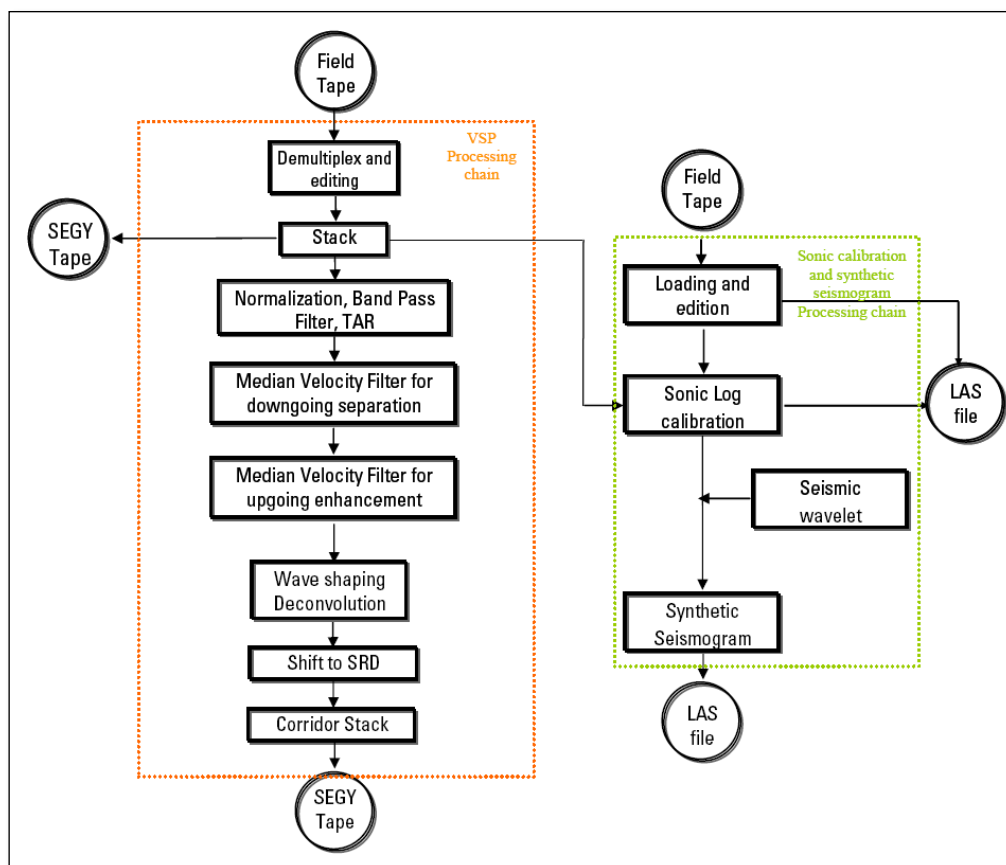
O conteúdo de frequência dos traços de fundo de poço do geofone é de aproximadamente 6-70 Hz.



**Figura 72** - Análise de Frequência ZVSP – Esquerda: Profundidade Vs Espectro de Frequência – Direita: Número de Ondas Vs Espectro de Frequência.

### 7.7.6 Cadeia de Processamento do ZVSP

O processamento de ZVSP foi realizado usando o componente vertical Z. A sequência de processamento usada para obter o *corridor stack* foi:



**Figura 73** - Fluxograma de trabalho do processamento do ZVSP.

- 1) Carregamento de dados e edição de dados de campo.
- 2) Classificação de dados, exibição e seleção de traços.
- 3) *Stacking* vertical por algoritmo de amplitude mediana.
- 4) Dados mesclados com a execução do ZVSP anterior.
- 5) Escolha do tempo de trânsito.
- 6) Filtro passa-banda 3 -70 Hz.
- 7) Normalização de amplitude *RMS* (*root mean square*).
- 8) *True Amplitude Recovery* (*TAR*) usando uma função do tempo de propagação  $T^K$  (divergência esférica, perdas de transmissão, absorção), um expoente  $K = 1,7$  foi usado.

9) Separação do primeiro campo de onda por filtragem de velocidade média baseada em tempos de trânsito e geometria (*Fitch e Dillon, 1983a*), com comprimento de filtro de 11 níveis. O campo de ondas P descendente é aprimorado.

10) Filtro *band-pass* 3 -70 Hz.

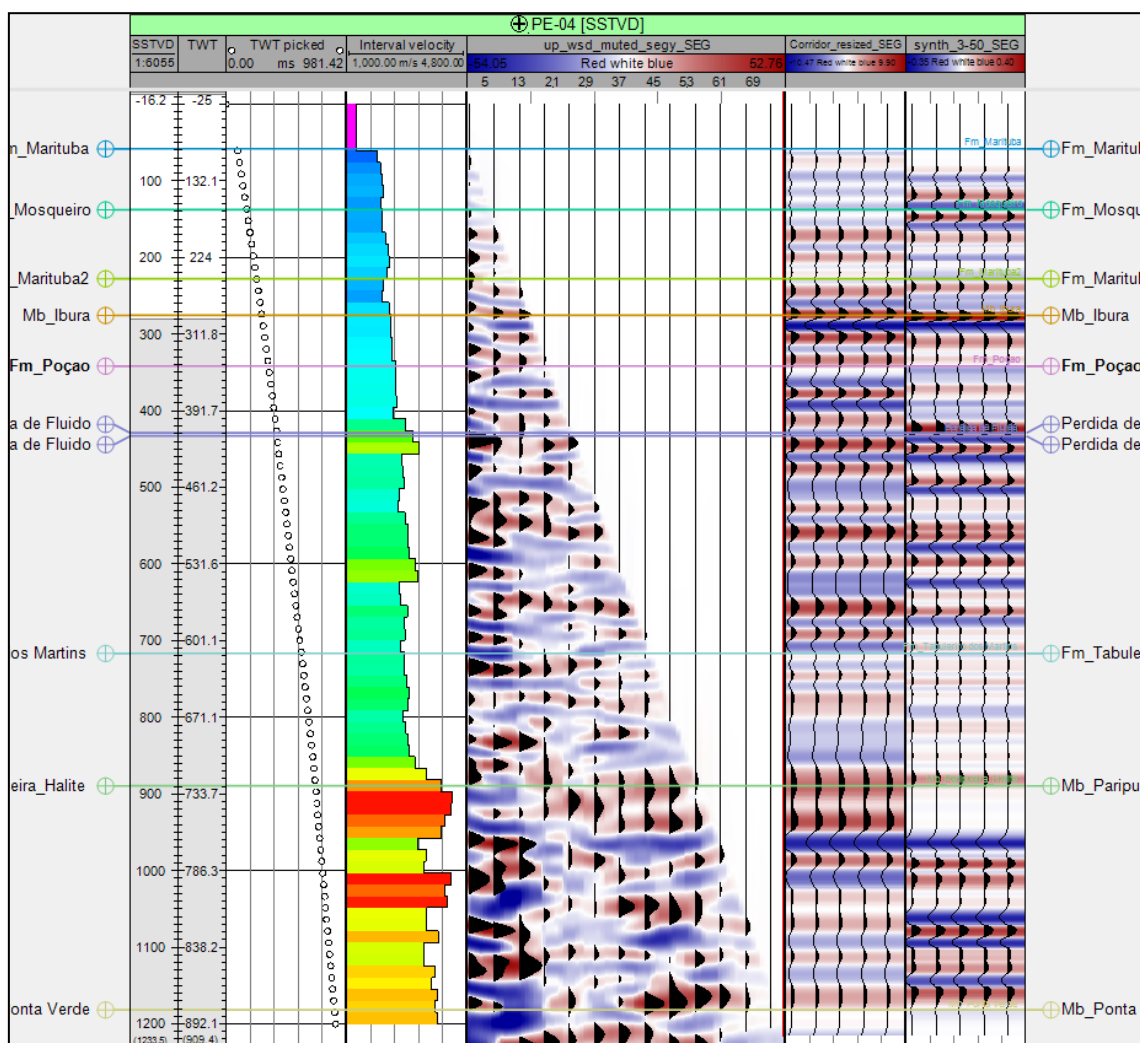
11) Filtro de velocidade mediana com comprimento de filtro de 11 níveis, para realçar as ondas P refletidas (componente vertical).

12) Filtro *band-pass* 3 -70 Hz.

13) Deconvolução de forma de onda de fase zero, com o operador estimado traço a traço ao longo das ondas P descendentes e aplicado às ondas P ascendentes (*Anstey, 1980; Fitch e Dillon, 1983b*). O comprimento da janela do operador é de 0,5 seg, com nível de ruído branco: 10,0%. *Wavelet* desejada com largura de banda de 3-70 Hz.

14) Mudança de tempo para SRD (*Seismic Reference Datun*)

15) *Corridor stack* (*corridor stack, Hardage 1985*) usando o campo de onda ascendente em SRD (*Seismic Reference Datun*), usando uma janela de tempo variável de 100 msec e mantendo os 8 níveis mais profundos. Também foram gerados corredores adicionais com os seguintes filtros BPF (*Bandpass Filter*) de fase zero: 3-30Hz, 3-50Hz e 8-70Hz.

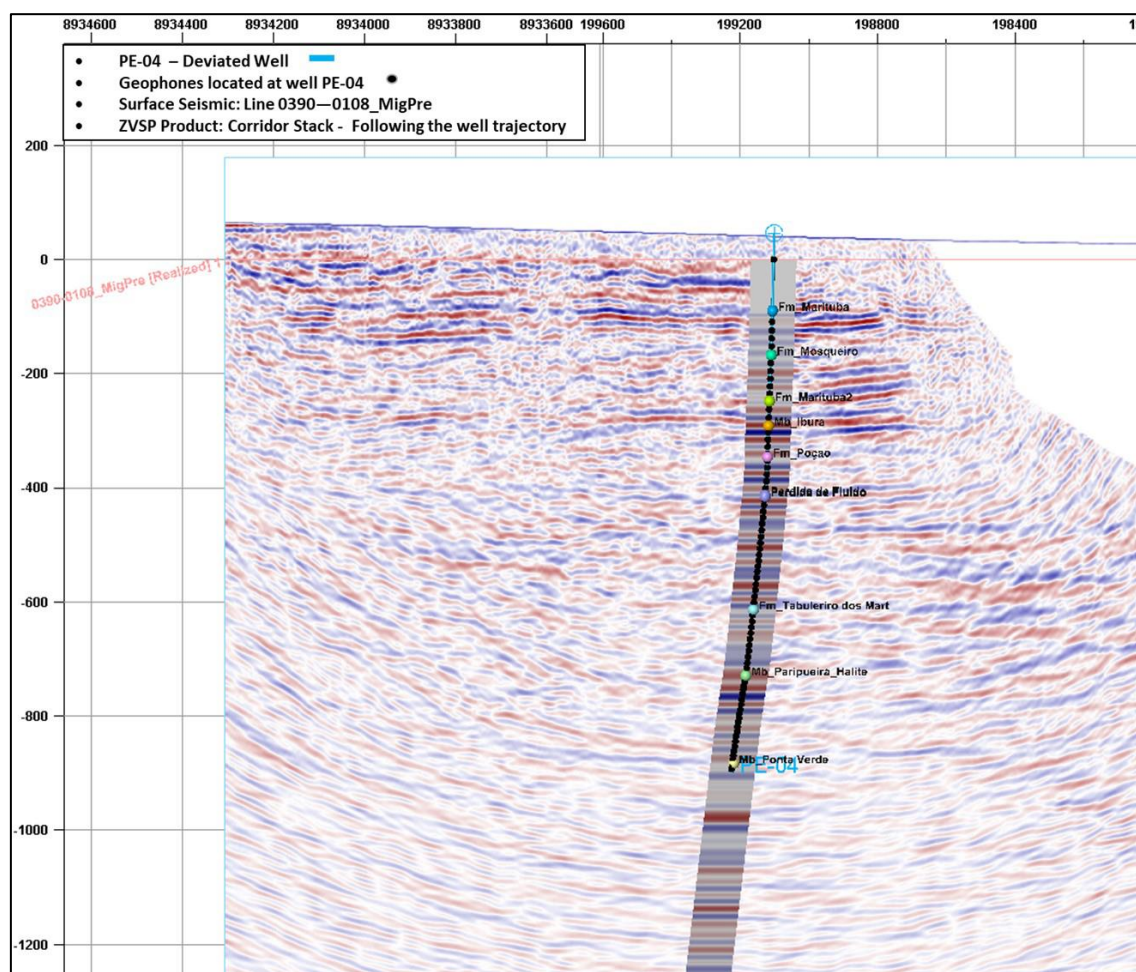


**Figura 74** – Produtos ZVSP - *Tracks* da esquerda para a direita: Tempo escolhido, velocidades de intervalo de VSP, ondas ascendentes, *corridor stack* e sismograma sintético BPF (*Bandpass Filter*) -3-50Hz.

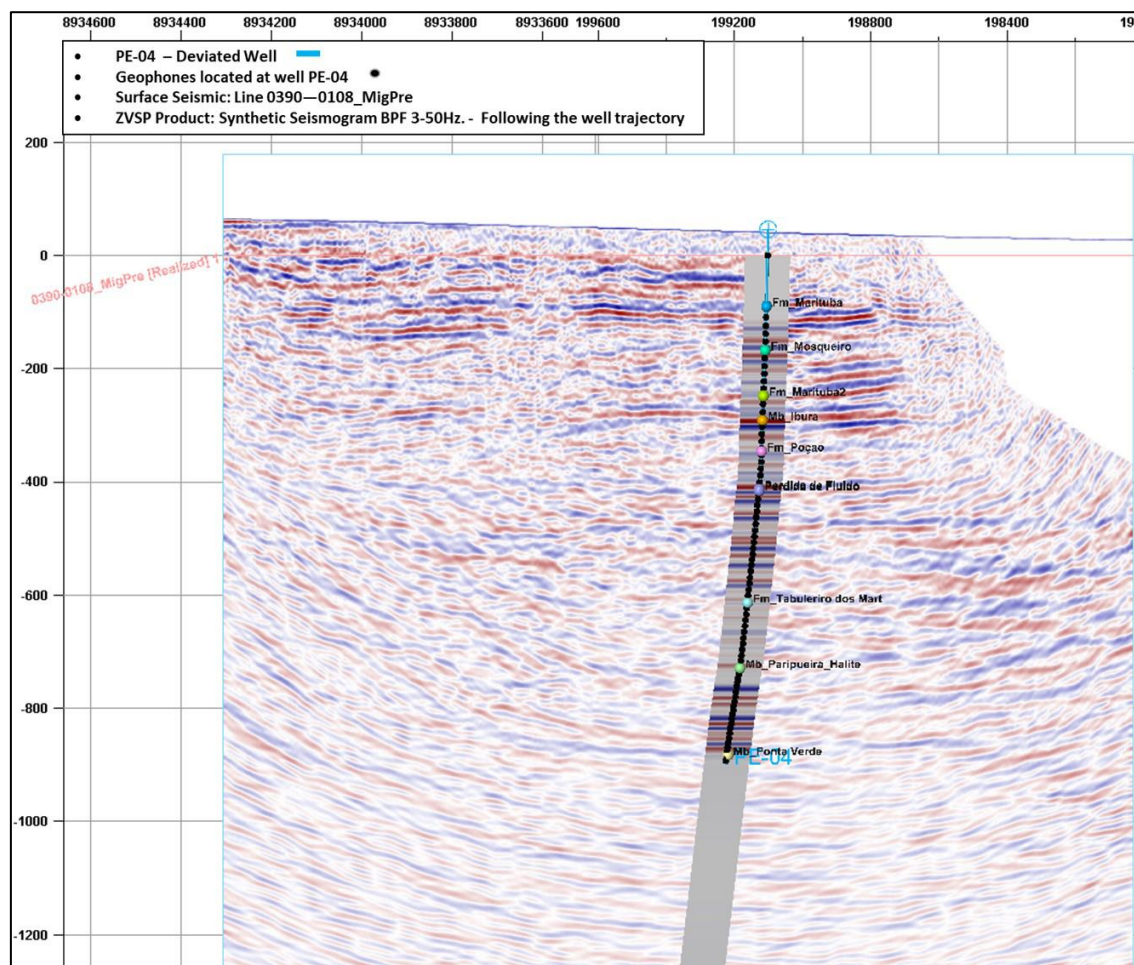
### 7.7.7 Tie-in

Este capítulo apresenta o resultado da conexão entre sísmica de superfície no tempo (390-0118\_MigPre) e o *corridor stack*, sismograma sintético do processamento ZVSP e os topos de formação do *masterlog*. As imagens a seguir mostram uma vista lateral com o poço PE-04, o *corridor stack* seguindo a trajetória do poço, a sísmica de superfície e também o sismograma sintético BPF (*Bandpass Filter*) 3-50 Hz. obtidos durante o processamento. É perceptível que a correspondência entre os produtos ZVSP e a sísmica de superfície é de boa qualidade.





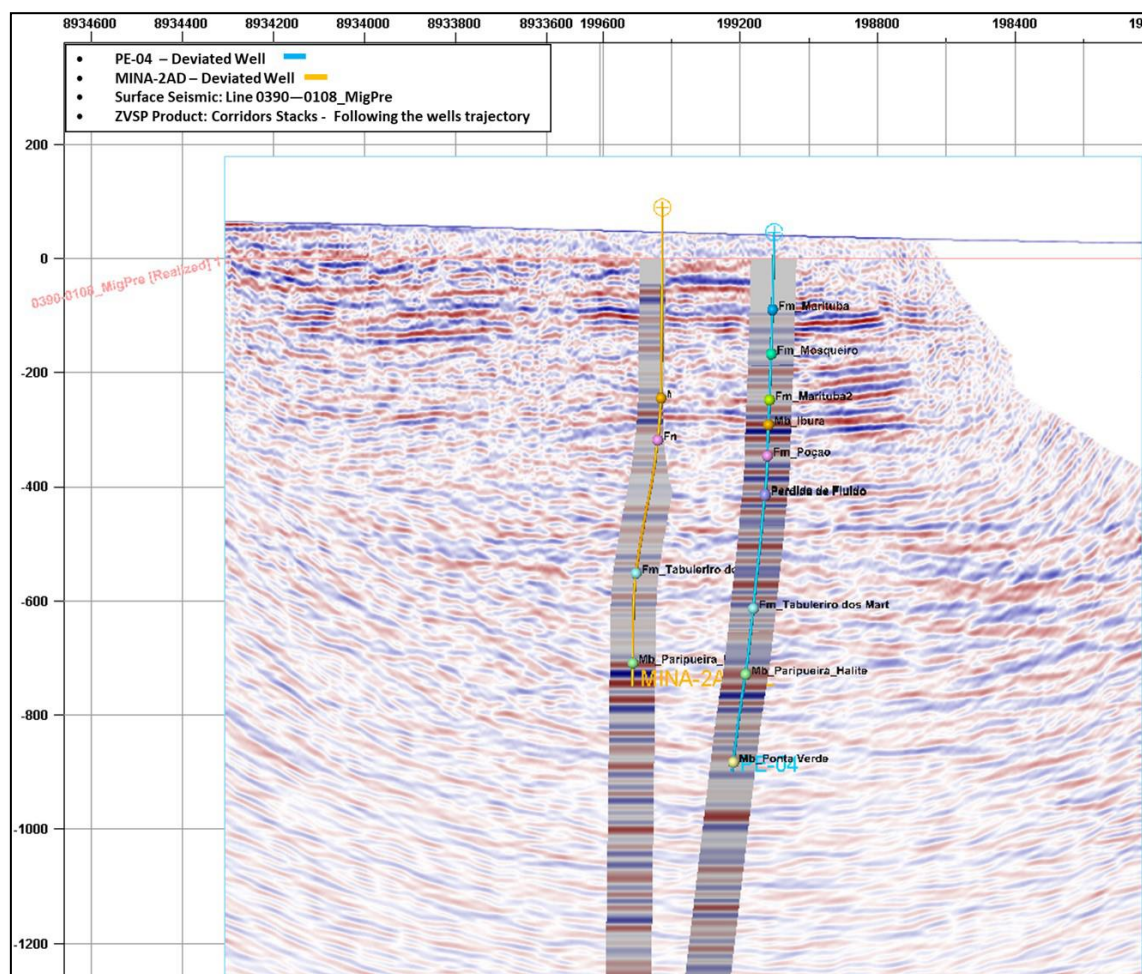
**Figura 75** - Vista em seção: *corridor stack* e superfície sísmica deslocada 20 ms.



**Figura 76** – Vista em seção: Sismograma sintético *BPF (Bandpass Filter)* 3-50 Hz e sísmica de superfície deslocada 20 ms.

#### 7.7.8 Tie-in com Poços Vizinhos

Nas fotos a seguir estão os *corridor stacks* para os poços PE-04 e MINA-02AD, a fim de entender a continuidade lateral dos diferentes horizontes. A correlação entre o *corridor stack* e a sísmica de superfície é de muito boa qualidade.



**Figura 77** – Vista em seção: *corridors stack* para os poços PE-04 e MINA-02AD e sísmica de superfície 390-0118\_MigPre deslocado 20ms.

### 7.7.9 Conclusões

- Os dados do ZVSP têm boa qualidade na maioria dos níveis.
- Foi realizada uma compilação com os dados anteriores do ZVSP (setembro de 2020).
- Foi obtida um *corridor stack* de alta resolução. A combinação entre o *corridor stack* e o sismograma sintético e também com a sísmica de superfície é muito boa.
- Correlação muito boa entre a sísmica de superfície e o *corridor stack* para os poços vizinhos.



## 8. ESTUDOS EM ANDAMENTO

### 8.1 Ensaios Geomecânicos

Encerrada a perfuração do PE-04 foi dado início à realização de ensaios laboratoriais geomecânicos com os testemunhos de sondagem, com o objetivo de obter o melhor conhecimento sobre as propriedades de resistência e deformabilidade dos materiais.

Tendo em vista as informações apresentadas pelo *Institut für Gebirgsmechanik* (“IfG”) acima e com base na evolução, aprofundamento do conhecimento e entendimento do fenômeno, da condição geológica e estrutural do maciço rochoso da região, novos modelos numéricos foram propostos, os quais adotam modelos constitutivos mais sofisticados e realistas para as rochas que o modelo elastoplástico tipo *Moh-Coulomb* anteriormente proposto. Para isto, alguns ensaios laboratoriais adicionais serão necessários, que são os seguintes:

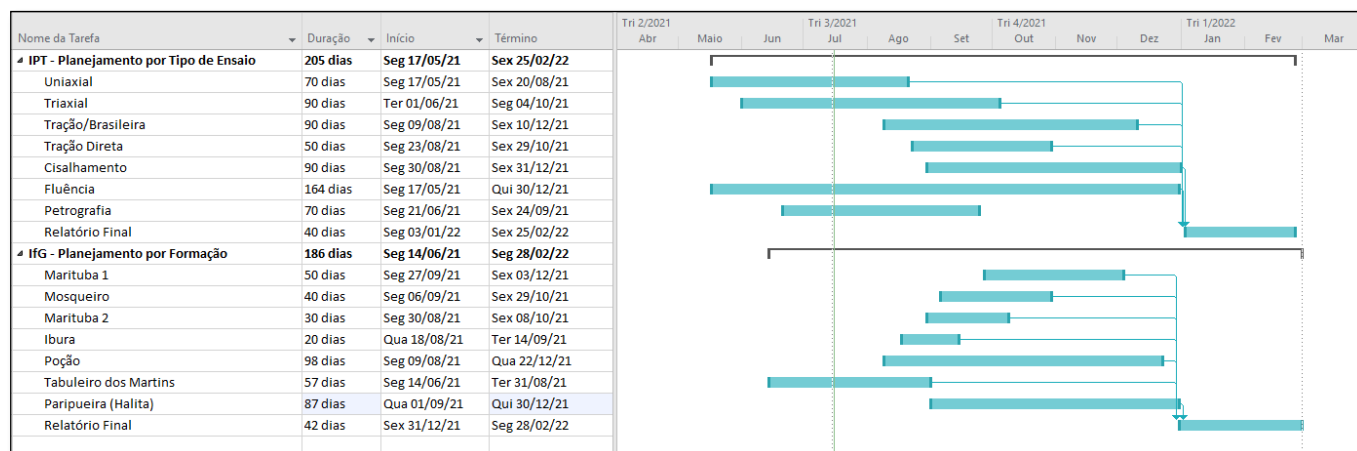
- Compressão triaxial servo-controlado com medição de deformação volumétrica, axial e radial.
- Compressão uniaxial com medições de deformação axial e radial;
- Cisalhamento direto servo-controlado.
- Compressão diametral (ensaio brasileiro).
- Permeabilidade durante ensaios triaxiais
- Fluência (*creep test*), apenas para o sal
- Tração direta para o sal com intercalações de folhelho

Neste sentido, estudos adicionais serão realizados pelo *IfG*, de forma complementar, sendo realizados, em paralelo e com redundância parcial aos do IPT.

Por essa razão, parte dos testemunhos foi enviado para o laboratório do *IfG*, em Leipzig, na Alemanha, para a execução dos referidos ensaios, sem prejuízo dos materiais que vem sendo utilizados pelo IPT em seus ensaios.

Os ensaios encontram-se em andamento em ambas as instituições. O IPT sugeriu a execução da sequência por tipo de ensaio, priorizando o uso do equipamento enquanto o *IfG* sugeriu sequenciar pela formação, priorizando a caracterização completa por geologia. Desta forma, e assim que estejam concluídos, os resultados serão apresentados em relatórios complementares à parte, cuja previsão é para o mês de fevereiro 2022. A sequência dos ensaios bem como o tempo estimado para cada etapa pode ser visualizada na **Tabela 12** e no **Anexo 6**.





**Tabela 12:** Cronograma de conclusão dos ensaios geomecânicos.


## 8.2 Petrografia

Foram selecionadas sete amostras que foram enviadas ao IPT para confecção de lâminas petrográficas e seus respectivos laudos. Essas amostras são representativas de cada unidade geológica interceptada até atingir o topo da camada de sal-gema no PE-04.

Na Formação Poção serão feitas duas lâminas pois esta apresenta duas fácies representativas (arenito e conglomerado) e nas demais uma lâmina por unidade.

A apresentação dos laudos petrográficos está prevista para a segunda quinzena do mês de setembro de 2021.

Maceió, 12 de agosto de 2021

DocuSigned by:  
  
 CF00A2C5670942D...

**Ricardo José Queiroz dos Santos**  
 Geólogo – CREA 180064201-6

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arienti, L.M. 1996. Análise estratigráfica, estudos de fluxos gravitacionais e geometria dos depósitos “rifte” da Formação Maceió e Formação Poção, bacia de Alagoas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado.
- Barton, N., R. Lien and J. Lunde (1974): *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics and Rock Engineering* 6(4): 189-236.
- Bieniawski, Z. T. 1989. *Engineering rock mass classifications*. 1ª. s.l.: Wiley Interscience, 1989. pp. 51-72. ISBN 0-471-6
- Campos Neto, O.P.A.; Souza-Lima, W. & Cruz, F.E.G. 2007. Bacia de Sergipe-Alagoas. Boletim de Geociências da PETROBRAS, 15(2).
- Deere, D.U. (1963): *Technical description of rock cores for engineering purposes. Felsmechanik und Ingenieurgeologie* 1: 16-22.
- DEINFRA-SC, 1994. Instruções Normativas para Execução de Sondagens (IN 01/94).
- Dias, J.L., 2004. Tectônica, estratigrafia e sedimentação no Andar Aptiano da margem leste brasileira. Bol. Geocienc. Petrobras 13 (1).
- Feijó, F.J. 1995. Bacias de Sergipe e Alagoas. Boletim de Geociências da PETROBRAS, 8 (11) [para o ano de 1994].
- Florêncio, C.P. 1996. Geologia dos Evaporitos Paripueira na porção alagoana da bacia de Sergipe-Alagoas. Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado.
- Jardim de Sá, E. F., Medeiros, W. E., Antunes, A. F., Lins, F. A. (2008). Revisão Geológica e Reavaliação dos Sistemas Petrolíferos da Bacia Sergipe-Alagoas. Natal: Agência Nacional do Petróleo.
- Koutsoukos, E.A.M. 1989. *Mid to late cretaceous microbiostratigraphy, paleo-ecology and paleogeography of the Sergipe basin, northeastern Brasil. Plymouth University*, Tese de Doutorado, 645 p.
- Mendes, J.M.C. 1994. Análise estratigráfica da seção neo-Aptiana/Eocenomaniana (Fm. Riachuelo) na área do Alto de Aracajú e adjacências – bacia de Sergipe/Alagoas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 166 p.
- Mohriak, W.U., Rabelo, J.H.L., Matos, R.D. & Barros, M.C. 1995. *Deep seismic reflection profiling of sedimentary basins offshore Brasil: geological objectives and preliminar results in the Sergipe basin. Journal of Geodynamics*, 20(4):515-539.
- Schaller, H. 1970. Revisão estratigráfica da Bacia de Sergipe/Alagoas. Boletim Técnico da PETROBRAS, 12 (1) [para 1969].
- Schlumberger, 2021. *Technical Proposal: Formation Stress Test Analysis Interpretation*.
- Schlumberger, 2021. *Borehole Seismic Processing Services ZVSP Processing (2nd run)*.

Silva Filho, F.M.A., Santana, A.C. & Bonfim, L.F.C. 1978. Evolução tectono-sedimentar do Grupo Estância: suas correlações. In: Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia. SBG, Recife, 685-699.

*Using the Q-system – Rock mass classification and support design. NGI, Norwegian Geotechnical Institute, 2015.*

Wagner Souza-Lima; C. P.; C. M. F. & B. O. S. Revisão Litoestratigráfica da Seção Cretácea Aflorante no Norte do Estado de Alagoas, Bacia de Sergipe-Alagoas, Brasil. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 42 - 3 / 2019 p. 432-448.