

**RELATÓRIO TÉCNICO**  
**Nº 165 453-205**  
**31 de março de 2022**  
**Braskem**

**ACOMPANHAMENTO DA PERFURAÇÃO E TESTEMUNHAGEM DA  
COLUNA SEDIMENTAR SOBREJACENTE AO DEPÓSITO DE SALGEMA  
DA BRASKEM EM MACEIÓ E EXECUÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAS**

**CLIENTE**  
**BRASKEM S/A**

**UNIDADES DE NEGÓCIOS RESPONSÁVEIS**  
**Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente – CIMA**  
**Seção de Obras Civis – SOC**

**Habitação e Edificações**  
**Laboratório de Materiais para Produtos de Construção - LMPC**

## **RESUMO**

Apresenta-se neste relatório as atividades desenvolvidas pelo IPT no contexto do acompanhamento técnico da perfuração e testemunhagem do poço estratigráfico PE-04, localizado no bairro do Pinheiro, Maceió/AL, bem como dos ensaios mecânicos, de caracterização, químicos e mineralógicos realizados nas amostras recuperadas. Os dados e resultados de ensaios para caracterização geomecânica de material rochoso correspondem ao objeto principal do documento, se estendendo até o Anexo A. São descritos ensaios de compressão uniaxial, compressão diametral, compressão confinada (triaxial), cisalhamento direto e fluência triaxial com temperatura, cujos resultados e dados dos corpos de prova são apresentados nas formas de tabelas, diagramas e através de documentação fotográfica. O processo de acompanhamento técnico da perfuração é apresentado na forma de outro relatório anexo (Anexo B) e os experimentos e resultados decorrentes da caracterização de solos e de análises químicas e mineralógicas encontram-se nos relatórios de ensaios introduzidos como Anexos C a E.

## **Palavras-chave**

poço estratigráfico PE-04; acompanhamento da perfuração; ensaios laboratoriais; ensaios químicos e mineralógicos; petrografia; ensaios de caracterização de solos; geomecânica; ensaios de mecânica de rochas; fluência triaxial com temperatura; compressão uniaxial; compressão triaxial; cisalhamento direto; compressão diametral; tração indireta;

## SUMÁRIO

	<b>P.</b>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 METODOLOGIA DE EXECUÇÃO DOS ENSAIOS.....	2
2.1. Compressão Uniaxial .....	2
2.2. Compressão Triaxial .....	6
2.3. Cisalhamento Direto .....	9
2.4. Diametral (Tração Indireta) .....	14
2.5. Fluência Triaxial com Temperatura.....	16
3 AMOSTRAS E ENSAIOS REALIZADOS.....	22
4 RESULTADOS.....	23
4.1. Compressão Uniaxial .....	23
4.2. Compressão Triaxial .....	32
4.3. Cisalhamento Direto .....	38
4.4. Compressão Diametral (Tração Indireta).....	46
4.5. Fluência Triaxial com Temperatura.....	50
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
ANEXO A ENSAIOS LABORATÓRIO DE MECÂNICA DE ROCHAS – TABELAS, DIAGRAMAS E FOTOS.....	54
ANEXO B RT Nº 165 434-205 - Acompanhamento técnico dos serviços de sondagem do poço estratigráfico PE-04 - Área de estudo da Braskem, bairro Pinheiro, Maceió - Alagoas. ....	189
ANEXO C RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 128 900-203 – LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS.....	232
ANEXO D RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 127 013-203 - LABORATÓRIO DE MATERIAIS PARA PRODUTOS DE CONSTRUÇÃO .....	265

ANEXO E	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 125 987-203 - LABORATÓRIO DE MATERIAIS PARA PRODUTOS DE CONSTRUÇÃO .....	288
---------	---	-----



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FOTOS

#### P.

Foto 1: Vista da Máquina Universal de Ensaio modelo UH-500kNI da Shimadzu.....	3
Foto 2: Extensômetros elétricos colados no corpo de prova .....	4
Foto 3: Instrumentação do corpo de prova com extensômetros axiais tipo “clip-gage” e “straingages” (a) e apenas “clip gage” em rochas mais porosas e friáveis (b). ....	4
Foto 4: Sistema de aquisição de sinais MX840A do fabricante HBM. ....	5
Foto 5: Detalhe da câmara triaxial e seus principais componentes: base, corpo principal, topo e membrana nitrílica. Vista frontal do corpo de prova inserido na câmara triaxial. ....	7
Foto 6: Máquina Universal de Ensaio (4000 kN, fabricante: Heckert). ....	8
Foto 7: Vista da Câmara triaxial posicionada entre os pratos da máquina universal de ensaios, com uso de extensômetros (lvdt) externos para registrar os deslocamentos axiais. ....	9
Foto 8: Adequação do corpo de prova, no torno rotativo, à geometria da caixa metálica. ....	11
Foto 9: Corpo de prova montado na caixa metálica inferior (a) e (b), operação de varredura para cálculo da área a ser cisalhada.....	11
Foto 10: Montagem e ajuste do equipamento para ensaio de cisalhamento direto.....	12
Foto 11 Equipamento para ensaio de cisalhamento direto. São utilizados 4 lvdt's para controle do deslocamento vertical e 2 lvdt's para o deslocamento horizontal. ....	13
Foto 12 Detalhe do corpo de prova sendo preparado em torno rotativo. ....	15
Foto 13 Corpo de prova entre os pratos da máquina Universal de Ensaio e dados geométricos e sentido de aplicação da força.....	15
Foto 14 Vista frontal de uma célula de ensaio do LMR (laboratório de Mec. de Rochas) ....	16
Foto 15 Vista frontal do sistema de aquisição de dados, MgC plus do fabricante HBM. ....	18
Foto 16 Esquema da montagem do ensaio com o revestimento térmico (a) e (b) vista da câmara triaxial envolvida pela resistência elétrica após ser recoberta pelo isolante térmico. Detalhe dos dois extensômetros elétricos, tipo lvdt, empregados para medidas dos deslocamentos axiais do corpo de prova. ....	19
Foto 17 Preparação do corpo de prova após redução do diâmetro da amostra do testemunho de sondagem. ....	19

## FIGURAS

	P.
Figura 1: Esquema do ensaio triaxial. ....	6
Figura 2: Esquema ilustrativo do ensaio de cisalhamento direto.....	10
Figura 3 (a) Elementos e sequência de montagem do ensaio triaxial: corpo de prova com a membrana elástica de viton, êmbulo de aplicação da carga vertical e a base da célula e (b) configuração geral do ensaio montado para execução.....	20
Figura 4: Esquema de operações do Ensaio de fluência triaxial com temperatura. A tensão confinante (Tconf.) para o conjunto de ensaios realizados foi mantida igual a 20 MPa. ....	21
Figura 5. Esquemas dos tipos de ruptura para ensaios de compressão uniaxial e triaxial. Tabelas 1 e 3, respectivamente. ....	23
Figura 6. (a) Diagrama no espaço tensão axial versus tensão confinante e a reta de regressão ( $R^2 = 0,95$ ) dos corpos de prova 3438, 3439 e 3440. Litotipo TMS. (b) Diagrama no espaço tensão axial versus tensão confinante e a reta de regressão ( $R^2 = 0,76$ ) dos corpos de prova 3443, 3445, 3445 e 3446. Litotipo PAR. ....	36
Figura 7. Diagrama dos círculos de Mohr e os respectivos ângulo de atrito e coesão dos corpos de prova da Figura 6a. Litotipo TMS. ....	36
Figura 8. Diagrama dos círculos de Mohr e o ângulo de atrito e a coesão dos corpos de prova da Figura 6b. Litotipo PAR.....	37
Figura 9: Diagrama tensão cisalhante <i>versus</i> tensão normal para os diferentes estágios dos ensaios. Rupturas in natura (a), 1AR (b) e 2AR (c). Os números no diagrama correspondem à identificação (id) dos corpos de prova. Litotipo TMS. ....	44
Figura 10. Diagrama tensão cisalhante <i>versus</i> tensão normal dos ensaios de cisalhamento direto, para a ruptura in natura, com ajuste linear para os ensaios com a exclusão dos corpos de prova 3454 e 3452. Os números no diagrama correspondem à identificação (id) dos corpos de prova. Litotipo TMS. ....	45
Figura 11. Diagrama no espaço tensão cisalhante <i>versus</i> tensão normal dos ensaios 1AR (a) e 2AR (b), respectivamente primeiro e segundo pós in natura, com suas respectivas retas de ajuste. Os números no diagrama correspondem à identificação (id) dos corpos de prova. Litotipo TMS. ....	45

## TABELAS

**P.**

- Tabela 1. Dados dos corpos de prova - ensaio de compressão uniaxial. Indicadas as amostras, o litotipo, a identificação/furo, as profundidades e a caixa, dos corpos de prova a identificação de cada um (nº), as profundidades, o diâmetro, a altura, área, a massa e força de ruptura e o modo de ruptura predominante.....25
- Tabela 2. Resultados dos ensaios – compressão uniaxial. Indicadas o furo/identificação da amostra e dos corpos de prova sua identificação (nº), a densidade, a velocidade de propagação das ondas compressivas, o módulo dinâmico e estático (secante e tangente), a tensão de ruptura e coeficiente de Poisson (secante e tangente).....30
- Tabela 3. Dados dos corpos de prova – Compressão triaxial. Indicadas o litotipo, o furo/identificação, caixa, e profundidade da amostra. Do corpo de prova indicadas a identificação (nº), profundidade, diâmetro, altura, força de ruptura e tipos de ruptura. ....33
- Tabela 4. Dados dos corpos de prova – compressão triaxial. São indicados dados da amostra, o furo/identificação e do furo, a identificação do corpo de prova (nº), diâmetro, altura, área, massa, densidade obtida a partir da massa e geometria, a velocidade de propagação das ondas compressivas, o módulo dinâmico e as tensões de confinamento e de ruptura.....34
- Tabela 5. Resultados ensaios compressão triaxial e do módulo de deformabilidade secante calculado com 50% da tensão de ruptura. São indicados dados do furo, a identificação do corpo de prova, diâmetro, altura, massa, densidade obtida a partir da massa e geometria, a velocidade de propagação das ondas compressivas, o módulo estático (Young) e o dinâmico, as tensões de confinamento e de ruptura..35
- Tabela 6. Resultados das envoltórias de Mohr-Coulomb dos corpos de prova do litotipo TMS e PAR. Estão indicados litotipo da amostra e do corpo de prova sua identificação (nº), o módulo dinâmico, força axial, as tensões axial e confinante e o os valores para a coesão e o ângulo de atrito de pico.....37
- Tabela 7. Ensaio de cisalhamento direto. Estão indicadas as amostras, o furo/identificação, a caixa e as profundidades do corpo de prova, sua identificação, as profundidades, a área de cisalhamento e observações sobre as etapas realizadas (inicial: in natura , primeiro após ruptura in natura (1AR) e segunda ruptura após o in natura (2AR)).....39
- Tabela 8. Valores da tensão normal para as diferentes situações ensaiadas. Situação Inicial corresponde ao corpo de prova intacto, 1AR a primeira ruptura subsequente, e 2AR a segunda ruptura subsequente à 1AR. ....40
- Tabela 9. Valores obtidos para a tensão cisalhante, caracterizando a perda de resistência no plano cisalhado nos ensaios de cisalhamento direto. Indicadas da amostra o furo/identificação, e do corpo de prova sua a identificação (nº), a área, a tensão normal, a tensão cisalhante.....41

Tabela 10. Valores obtidos para a tensão cisalhante, caracterizando a perda de resistência no plano cisalhado nos ensaios de cisalhamento direto. Indicadas da amostra o furo/identificação, e do corpo de prova sua identificação (nº), a área, a tensão normal, a tensão cisalhante. ....	42
Tabela 11. Valores obtidos para a tensão cisalhante, caracterizando a perda de resistência no plano cisalhado nos ensaios de cisalhamento direto. Indicadas da amostra o furo/identificação, e do corpo de prova sua identificação (nº), a área, a tensão normal, a tensão cisalhante. ....	43
Tabela 12. Litotipo TMS. Indicados ajustes lineares utilizados para traçar a envoltória de ruptura para os 3 estágios de ensaio - Ruptura in natura ou de pico, 1AR e 2AR. Dos ajustes não constam os corpos de prova 3252 e 3254, e estão indicados os respectivos ângulo de atrito, coesão, o coeficiente de ajuste linear ( $R^2$ ) e a equação resultante.....	46
Tabela 13. Dados dos ensaios de compressão diametral (Tração indireta ou método Brasileiro). Indicadas da amostra o litotipo, furo/identificação, caixa (nº), e profundidades e do corpo de prova sua identificação (nº), profundidades, diâmetro, altura, massa, densidade, força e tensão de tração na ruptura e observações quanto a validade do ensaio.....	47
Tabela 14: Dados dos corpos de prova – Ensaios de fluência. Da amostra são apresentados o litotipo, furo/identificação, caixa, e profundidades. Do corpo de prova sua identificação (nº), a profundidade de topo e base, o diâmetro, altura, área, densidade, velocidade de propagação das ondas compressivas, o módulo dinâmico, a temperatura de ensaio, as tensões axiais da fase I e fase II quando empregadas e a tensão confinante. ....	50
Tabela 15. Taxa de deformação para a fluência estacionária. Indicadas o litotipo da amostra, a identificação do corpo de prova, sua profundidade, a densidade, a velocidade de propagação das ondas compressivas, o módulo de Young dinâmico, a tensão axial nas duas fases quando aplicadas, a tensão de confinamento e a taxa de deformação para a fluência estacionária para as fases. ....	50

## EQUAÇÕES

	<b>P.</b>
(Equação 1) .....	16
(Equação 2) .....	22
(Equação 3) .....	44

## 1 INTRODUÇÃO

Em conformidade com o primeiro termo aditivo do contrato N° 4600022941 e de acordo com a Proposta Técnica IPT 60440/21 apresenta-se neste relatório o conjunto de atividades desenvolvidas a serviço da contratante, Braskem S/A, no âmbito da perfuração e caracterização de amostras extraídas do poço estratigráfico PE-04, localizado no bairro do Pinheiro, Maceió-AL. Compõem este documento análises realizadas por duas Unidades de Negócios (HE - Habitação e Edificações e CIMA - Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente) deste Instituto de Pesquisa, bem como alguns de seus respectivos laboratórios e seções.

O escopo principal corresponde à campanha de ensaios laboratoriais realizados pelo Laboratório de Mecânica de Rochas (Seção de Obras Civas - SOC), cujos resultados encontram-se dispostos ao longo do texto e no Anexo A. Já as outras atividades desenvolvidas pelo IPT: acompanhamento técnico de serviços de sondagem do poço estratigráfico PE-04; ensaios de caracterização no laboratório de solos e análises químicas, mineralógicas e petrográficas integram os Anexos B a E, contendo respectivamente: RT nº 165 434-205 (“Acompanhamento técnico dos serviços de sondagem do poço estratigráfico PE-04 - Área de estudo da Braskem, bairro Pinheiro, Maceió – Alagoas”), Relatório de Ensaios nº 1 128 900-203, Relatório de Ensaios nº 1 127 013-203 e Relatório de Ensaios nº 1 125 987-203

Desta forma apresenta-se no corpo do texto a metodologia de ensaio adotada para os corpos de prova preparados a partir dos testemunhos (amostras) de rocha enviados ao IPT, na sequência encontram-se os resultados obtidos (complementados pelo Anexo A) e por fim são tecidas as considerações finais. Esta mesma estrutura textual se repete no relatório de acompanhamento (Anexo B) e de forma mais sintética nos relatórios de ensaios nos anexos C a E.

## 2 METODOLOGIA DE EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

Realizada a caracterização geológica, por parte do Cliente, a identificação dos litotipos extraídos do poço estratigráfico e a seleção dos testemunhos contendo trechos de material adequados à realização de ensaios geomecânicos, como descreve o Anexo B, as amostras seguiram ao Laboratório de Mecânica de Rochas. Os testemunhos enviados passaram novamente pelo processo de seleção, agora realizado pelo corpo técnico do LMR, para que pudessem ser preparados corpos de prova com as dimensões adequadas a cada um dos ensaios mecânicos.

Após a adequação geométrica das amostras em corpos de prova foram medidas suas dimensões, massa e a velocidade de propagação das ondas compressivas (onda p) através de um medidor de pulsos ultrassônicos (Pundit – Proceq) previamente à execução da matriz de ensaios solicitada pelo cliente, que consistiu em ensaios de resistência à compressão uniaxial, à compressão confinada ou triaxial, cisalhamento direto, compressão diametral (tração indireta) e fluência confinada ou triaxial com temperatura. Tais experimentos seguiram as normas internacionais vigentes e as práticas correntes do Laboratório de Mecânica das Rochas (LMR).

A seguir descreve-se o procedimento adotado em cada ensaio de mecânica das rochas realizado. Metodologias de execução dos demais ensaios estão detalhados nos anexos referentes a ensaios de caracterização dos solos, químicos e mineralógicos (C a E).

### 2.1. Compressão Uniaxial

Este ensaio é normalmente utilizado para obtenção da resistência máxima à compressão uniaxial de um corpo de prova cilíndrico bem como a determinação, através de instrumentação para medição das deformações axial e radial, de parâmetros elásticos como o módulo de deformabilidade (módulo de Young) e o coeficiente de Poisson. O carregamento da amostra pode ser realizado de forma contínua (monotônica) crescente ou em estágios de carga e descarga (cíclico), ambos até à ruína do corpo de prova.



A metodologia empregada para este procedimento segue as recomendações da norma ASTM (D7012 – 14), o respectivo “Suggested Method” da ISRM e as práticas laboratoriais do Laboratório de Mecânica de Rochas – LMR – SOC/IPT. A variável independente do ensaio é a força axial aplicada, de forma crescente tal que a ruptura ocorra entre dois e quinze minutos, através da máquina universal de ensaios da fabricante Shimadzu modelo UH-500kNI (

Foto 1), cuja máxima força é 500 kN.

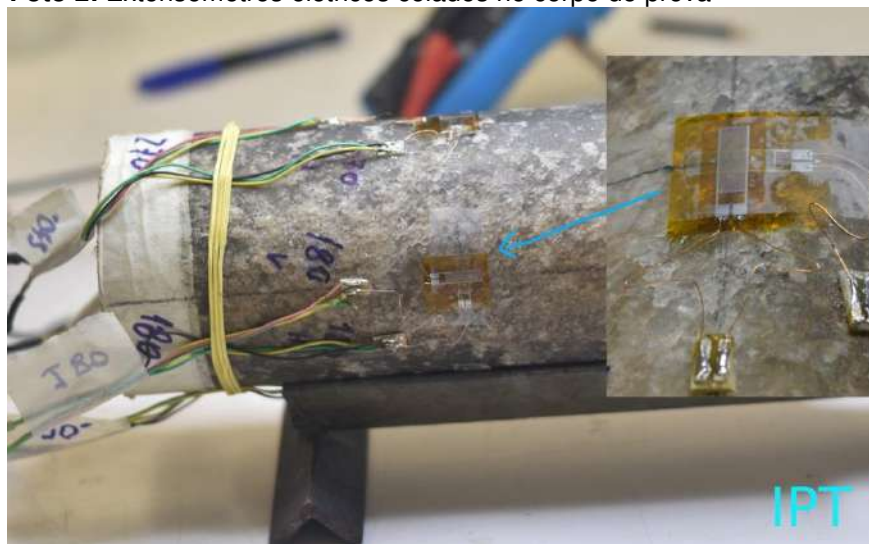
**Foto 1:** Vista da Máquina Universal de Ensaio modelo UH-500kNI da Shimadzu.



Para medição da deformação observada nos litotipos ao longo do ensaio cada corpo de prova é instrumentado preferencialmente com 4 rosetas biaxiais (tipo 90°), localizadas à meia altura, dispostas ao longo das geratrizes principais do cilindro de rocha e à 90° umas das outras. Alguns corpos de prova foram instrumentados com 2 rosetas. Cada roseta é composta por dois extensômetros elétricos tipo “straingages” ortogonais, com comprimento igual a 10 mm e fabricados pela empresa Excel Sensores Ind. Com. Exp. Ltda (Foto 2).

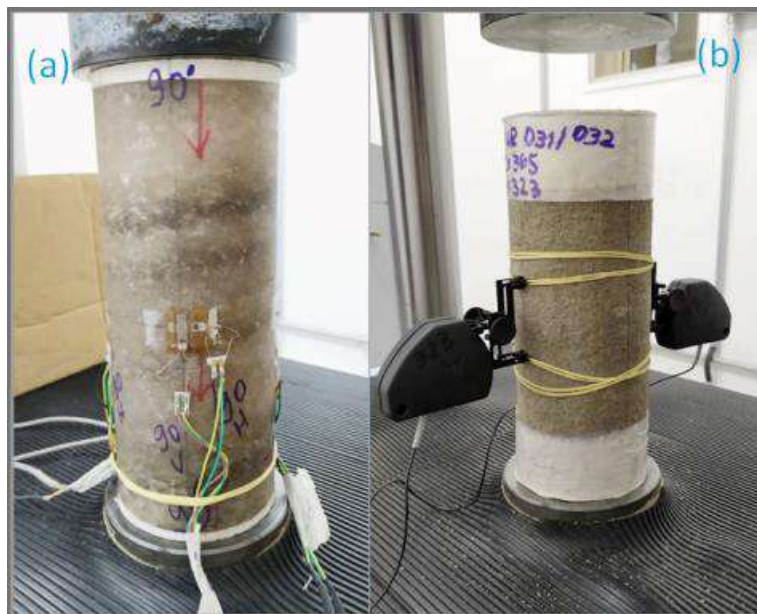


**Foto 2:** Extensômetros elétricos colados no corpo de prova



Para alguns ensaios em rochas mais friáveis e porosas foi necessário, contudo, utilizar outro tipo de sensor na instrumentação dos cilindros uma vez que os “straingages” dificilmente aderiam à superfície do litotipo. Optou-se então pela utilização de extensômetros tipo “clip-gage” do fabricante Instron (Foto 3) para acompanhamento da deformação axial.

**Foto 3:** Instrumentação do corpo de prova com extensômetros axiais tipo “straingages” (a) e apenas “clip gage” em rochas mais porosas e friáveis (b).



A aquisição das deformações observadas pelos extensômetros, sejam estas axiais ou radiais, é feita pelo equipamento da marca HBM, via software proprietário Catman, apresentado na Foto 4. Já o valor da força aplicada no corpo de prova vem diretamente da saída elétrica da máquina universal de ensaios.

**Foto 4:** Sistema de aquisição de sinais MX840A do fabricante HBM.



Utilizando do aparato descrito foram realizados inicialmente ensaios monotônicos em algumas amostras e posteriormente passou-se a empregar estágios de

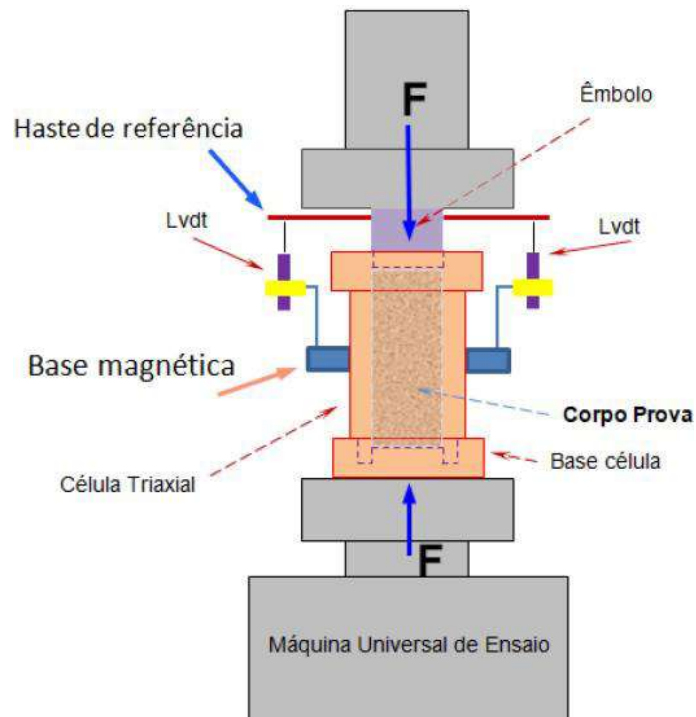
carregamento e descarregamento (cíclico) de valor máximo crescente na máquina de ensaio. A primeira etapa esteve sempre limitada à 30% da tensão prevista de ruptura, a segunda à 50%, a terceira à 70% e o último carregamento seguiu livremente até que fosse caracterizada a ruína ou ruptura do material.

## **2.2. Compressão Triaxial**

Este experimento laboratorial é utilizado para determinar a resistência à compressão confinada em corpos de prova cilíndricos acondicionados sob estado triaxial de tensões no interior da Célula de Hoek (Franklin & Hoek, 1970) e permite ainda a obtenção do módulo de elasticidade do material e a respectiva envoltória de resistência para o litotipo ensaiado. A metodologia adotada segue as recomendações e procedimentos da norma ASTM (D7012 - 14), do “Blue Book” da ISRM (ISRM, 2007) e práticas laboratoriais do Laboratório de Mecânica de Rochas-LMR-SOC/IPT. A variável independente do ensaio é a força axial, aplicada de forma crescente, tal que a ruptura ocorra no máximo em dez minutos.

A Figura 1 ilustra de forma simplificada os principais elementos deste tipo de ensaio.

**Figura 1:** Esquema do ensaio triaxial.



Preparado de maneira similar ao ensaio de compressão uniaxial o corpo de prova é envolvido em uma membrana elástica (nitrílica) e alojado no interior da câmara triaxial (Foto 5) para que sejam aplicadas as tensões axial e confinante. Enquanto a primeira é aplicada pela máquina universal de ensaios da fabricante Heckert (força nominal de 4000 kN) apresentada na Foto 6, a segunda é transmitida por meio de fluido pressurizado em contato com a superfície lateral do cilindro rochoso.

**Foto 5:** Detalhe da câmara triaxial e seus principais componentes: base, corpo principal, topo e membrana nitrílica (a), e vista frontal do corpo de prova inserido na câmara triaxial (b).



**Foto 6:** Máquina Universal de Ensaios (4000 kN, fabricante: Heckert).

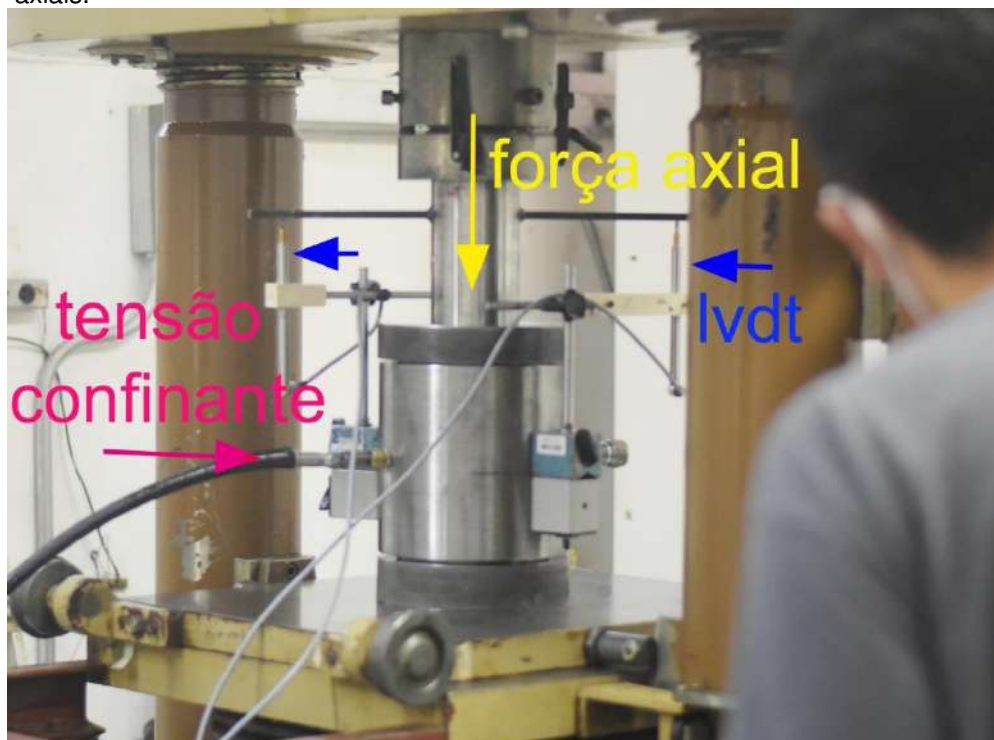


A Foto 7 apresenta o conjunto preparado com todos os elementos necessários à execução do ensaio triaxial, já descritos no texto acima, acrescidos apenas dos extensômetros tipo lvdt (“linear variable differential transformer”), utilizados para registro da deformação axial observada ao longo do teste. O início do ensaio se dá pela elevação quase que simultânea das tensões axial e confinante no corpo de prova através do carregamento em estágios de modo que cada um destes atinja estado isotrópico de tensões sendo as magnitudes da força e pressão aplicada cada vez mais próximas do valor do confinamento de interesse. Atingida a tensão confinante almejada esta é



mantida constante por equipamento servo-controlado enquanto aumenta-se o valor da tensão axial até a caracterização da perda de resistência do material pela queda brusca da força aplicada pela prensa.

**Foto 7:** Vista da Câmara triaxial posicionada entre os pratos da máquina universal de ensaios, com uso de extensômetros (lvdt) externos para registrar os deslocamentos axiais.



Neste ensaio a tensão axial corresponde à tensão principal maior ( $\sigma_1$ ) e as duas componentes ortogonais decorrentes do confinamento são iguais e correspondem à tensão principal menor ( $\sigma_3$ ) e tensão intermediária do tensor de tensões ( $\sigma_3$ ). Os parâmetros deste ensaio são registrados pelo mesmo sistema de aquisição apresentado para o ensaio de compressão uniaxial.

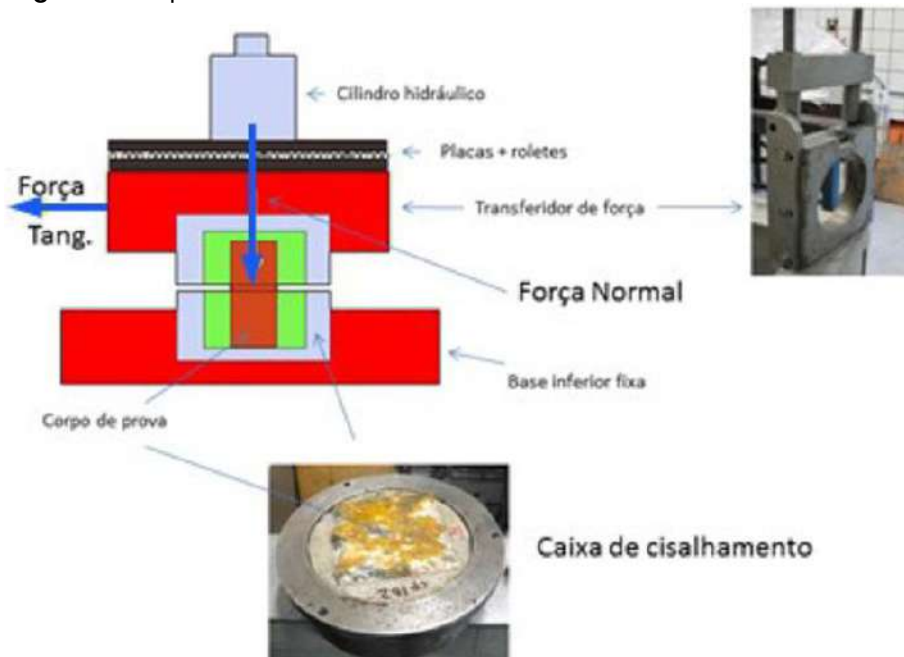
### 2.3. Cisalhamento Direto

Pretende determinar a resistência ao cisalhamento direto em uma direção de interesse de determinada amostra de rocha. Os valores obtidos podem corresponder a

parâmetros da rocha intacta ou de natureza residual para certo valor de tensão normal aplicada ao corpo de prova e caracterizar a resistência da matriz rochosa para litotipos isotrópicos ou de feições planares como estratificação, bandamento composicional, xistosidade, foliação e descontinuidades para materiais transversalmente isotrópicos ou ortotrópicos. Para tal o plano de deslizamento desejado deve coincidir aproximadamente com o plano médio entre as duas caixas metálicas do quadro de cisalhamento.

A Figura 2 figura abaixo esquematiza este tipo de ensaio realizado segundo as orientações da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM) constantes da publicação técnica “Suggested Methods” (ISRM, 2007), normas da ASTM International como a D5607-16 (“Standard test method for performing laboratory direct shear strength tests of rock specimens under constant normal force”) e procedimentos internos do laboratório. Observa-se que a variável independente é a força cisalhante ou tangencial mantendo-se a tensão normal constante.

**Figura 2:** Esquema ilustrativo do ensaio de cisalhamento direto.



Diferentemente do processo de preparação utilizado para ensaios de compressão (uniaxial ou triaxial) os corpos de prova, além de apresentarem dimensões inferiores (Foto 8), são fixados nas bases metálicas ilustradas na Figura 2 por meio de uma resina plástica após a realização de certos ajustes em sua geometria. Este processo é feito em

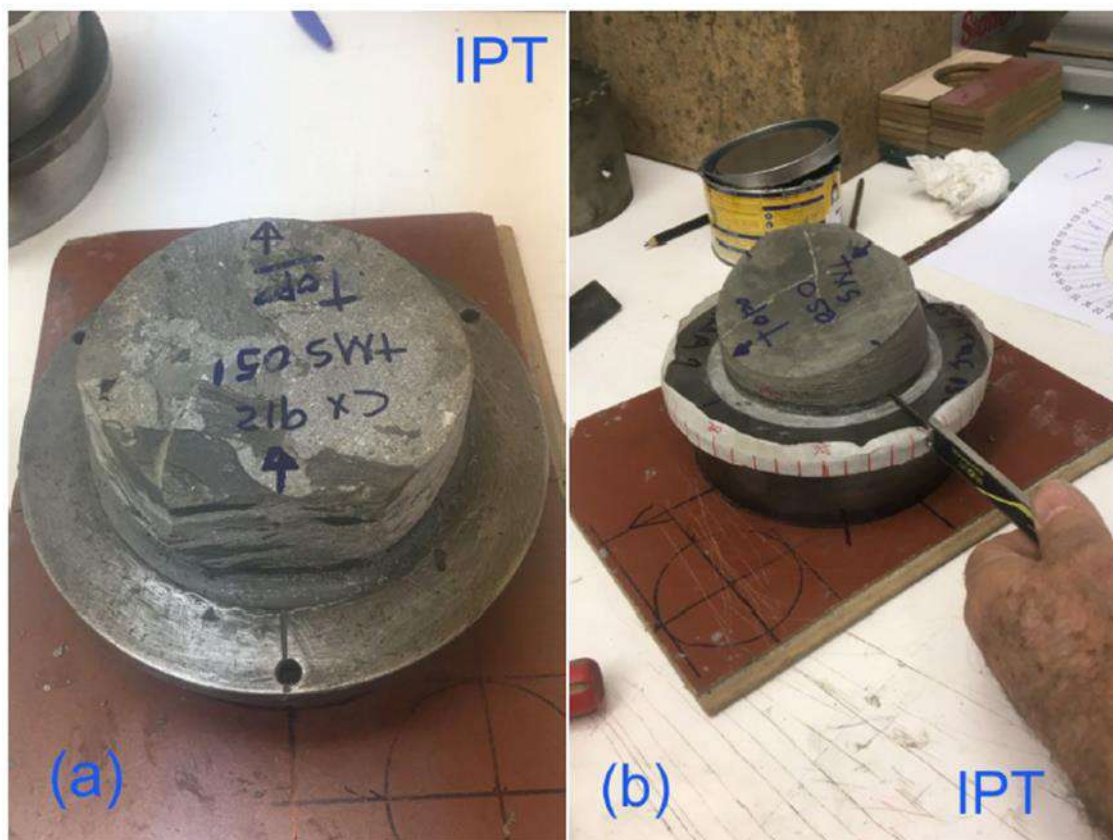
etapas: inicialmente o corpo de prova é fixado na base inferior que é então preenchida com resina sintética (Foto 9a) e após sua cura (o que ocorre em aproximadamente 24 horas) o processo é repetido para a fixação da caixa superior. Ao processo de preparação da amostra adiciona-se ainda uma varredura da superfície a ser cisalhada entre as bases metálicas (Foto 9b) para o correto cálculo da área submetida à força normal constante durante o ensaio.

**Foto 8:** Adequação do corpo de prova, no torno rotativo, à geometria da caixa metálica.



**Foto 9:** Corpo de prova montado na caixa metálica inferior (a) e operação de varredura para cálculo da área a ser cisalhada (b).



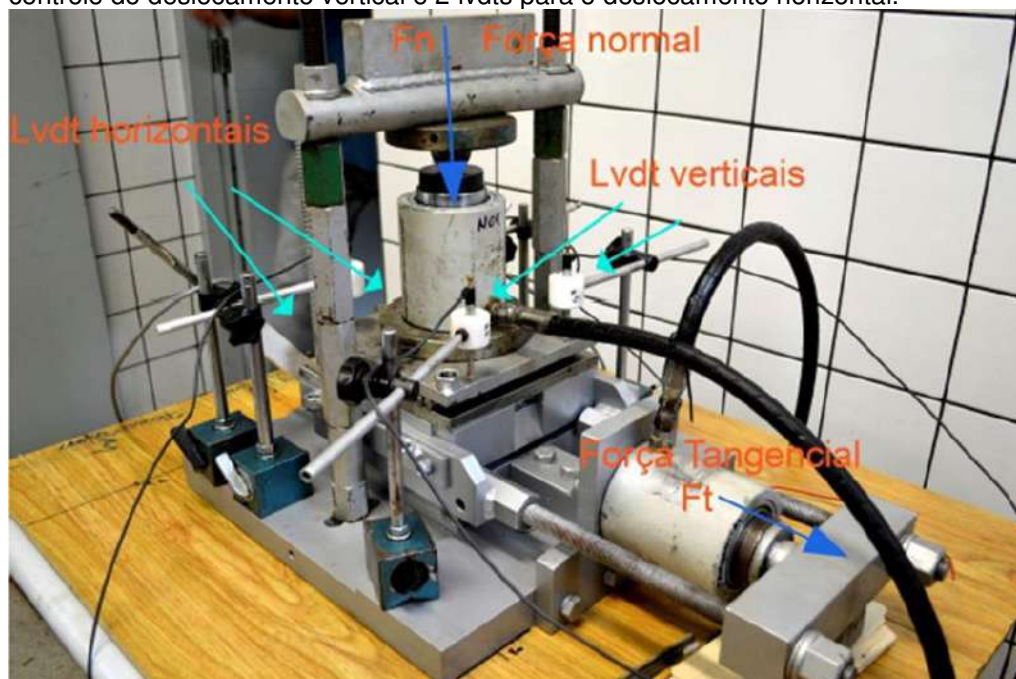


Uma vez preparado o corpo de prova realiza-se a montagem e ajuste do conjunto para execução do ensaio como ilustra a Foto 10. Além dos cilindros hidráulicos necessários à aplicação das cargas (com tensão normal e tangencial operada manualmente por uma válvula de ajuste fino) são adicionados ainda transdutores de deslocamento para registro das movimentações vertical e horizontal no decorrer do ensaio (Foto 11).

**Foto 10:** Montagem e ajuste do equipamento para ensaio de cisalhamento direto.



**Foto 11:** Equipamento para ensaio de cisalhamento direto. São utilizados 4 lvdts para controle do deslocamento vertical e 2 lvdts para o deslocamento horizontal.



Para início do ensaio aplica-se incrementos progressivos à tensão normal, realizados após estabilização dos deslocamentos verticais observados em cada estágio, até que se atinja o valor programado deste esforço. Com este constante parte-se à aplicação da força tangencial (ambas as tensões aplicadas são medidas através de transdutores de pressão acoplados a um sistema de aquisição de dados do fabricante HBM via software proprietário Catman) procurando-se manter a razão de deslocamentos horizontais entre 0,1 e 0,3 mm/min em cada incremento de carga. Nos estágios de cargas mais elevadas, quando a velocidade de deslocamentos horizontais tende a aumentar, deve-se reduzir o incremento da carga tangencial para um valor mínimo praticável de forma a manter estável a taxa de deslocamentos.

O pico de resistência é caracterizado ao se atingir a máxima força tangencial a partir da qual os deslocamentos tendem a crescer de forma instável. Neste instante procura-se manter o maior valor monitorável da carga tangencial mantendo estáveis os deslocamentos até totalizar cerca de 15 mm ou valor suficiente para caracterizar um “patamar” de mínima resistência do ensaio. A força tangencial é então reduzida gradativamente a zero.

Nesta campanha laboratorial cada corpo de prova passou por três etapas de cisalhamento: a primeira realizada na superfície cisalhante intacta (ensaio in natura) e as duas subsequentes na superfície gerada no ensaio imediatamente anterior (1AR e 2AR).

## **2.4. Compressão Diametral (Tração Indireta)**

Utilizado para determinar a resistência à tração indireta em corpos de prova cilíndricos comprimidos diametralmente. Para tal o corpo de prova é cortado e torneado (Foto 12) até atingir as dimensões e proporções adequadas colocado na prensa Shimadzu (

Foto 1) e comprimido até que seja caracterizada a perda de resistência do material pela queda brusca da força aplicada.

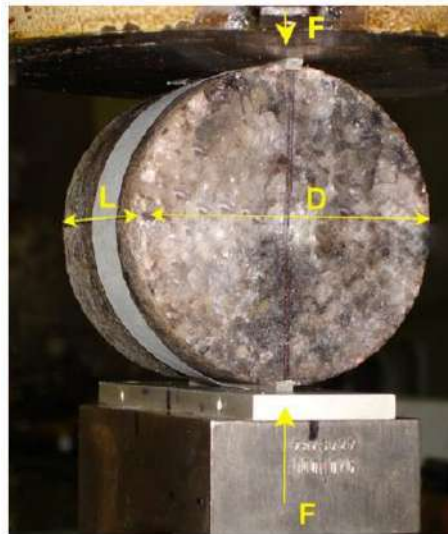
**Foto 12:** Detalhe do corpo de prova sendo preparado em torno rotativo.



Seguindo as recomendações ASTM (D3967- 16) e o respectivo “Suggested Method” da ISRM (ISRM, 2007) em que a variável independente é a força e sua transmissão se dá de forma crescente, veiculada pela máquina universal através de duas placas estreitas (“ripas”) feitas de papel cartonado pré-comprimido ou de madeira. Estas “ripas”, paralelas e diametralmente opostas, são apoiadas ao longo de duas geratrizes do cilindro de rocha como ilustra a Foto 13 e mantidas nesta posição ao longo de toda execução dos ensaios.

**Foto 13:** Corpo de prova entre os pratos da máquina Universal de Ensaio e dados geométricos e sentido de aplicação da força.





A equação (1) relaciona o valor da tração indireta com a máxima força aplicada e parâmetros geométricos do corpo de prova.

$$\sigma_t = 2.P/(\pi.L.D)$$

(Equação 1)

onde:

$\sigma_t$  = tensão de tração indireta (MPa)

P = máxima força vertical aplicada (N);

L = altura do corpo de prova cilíndrico (mm), e

D = diâmetro do corpo de prova (mm).

## 2.5. Fluência Triaxial com Temperatura

Tendo como base os procedimentos descritos na norma ASTM D7070-16, o capítulo “ISRM Suggested Methods for Determining the Creep Characteristics of Rock” do “Orange Book” (ISRM, 2014) e os procedimentos laboratoriais do LMR este ensaio é

conduzido com o objetivo de determinar a taxa de fluência estacionária (“steady-state creep”) de determinado litotipo quando submetido à estado triaxial de tensões e temperatura superior à ambiente.

O experimento é realizado em aparato desenvolvido pelo IPT (Foto 14) através do convênio IPT-FINEP 65.2000.0003.00 e de projetos subsequentes realizados conjuntamente com o CENPES/Petrobras. A unidade de ensaio é composta basicamente por uma célula triaxial onde é alojado o corpo de prova envolvido em membrana elástica, uma resistência elétrica para elevação e controle da temperatura e um conjunto de válvulas e bombas hidropneumáticas para controle das cargas axial e confinante.

**Foto 14:** Vista frontal de uma célula de ensaio do LMR (Laboratório de Mec.de Rochas)



Integram o conjunto/infraestrutura para execução do ensaio:

- a) Microcomputador e "no-break" independente dedicado ao sistema de aquisição de dados;
- b) Módulo HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik) MGC-plus para 36 canais independentes (Foto 15);
- c) Software Catman (HBM);
- d) Gerador elétrico de emergência. Tempo de reposição máximo: 5 segundos. Capacidade: 55/50 kVA 220V - 60 Hz;
- e) Compressor com acionamento automático;
- f) Sala climatizada (baixa umidade) para armazenamento de amostras e preparação de corpos-de-prova de materiais rochosos higroscópicos;
- g) Unidade de ensaio.

**Foto 15:** Vista frontal do sistema de aquisição de dados, MgC plus do fabricante HBM.



Cada unidade como a apresentada na Foto 14 é composta dos seguintes elementos e sensores de instrumentação durante a execução de um ensaio:

- a) célula triaxial feita de Aço Inox 4340 e com tratamento térmico (pressão máxima de trabalho 900 kgf/cm<sup>2</sup>), com dimensões de 122 mm para diâmetro interno, 196 mm para diâmetro externo e 535 mm de altura;
- b) quadro de reação para até 100 ton;
- c) cilindro hidráulico para aplicação da tensão axial;
- d) sistema de bombas hidropneumáticas servo controladas para aplicação e manutenção das tensões axial e confinante;
- e) “no-break” para manutenção do funcionamento das bombas hidropneumáticas (menor tempo de reação);
- f) dois transdutores de pressão (HBM) dedicados à tensão axial e confinante;
- g) resistência elétrica e estufa para elevação e manutenção da temperatura de forma automática (Foto 16a);
- h) termopar para acompanhamento da temperatura interna do corpo de prova;
- i) 2 sensores de deslocamento tipo lvdt com curso 100 mm (HBM) para medidas dos deslocamentos verticais observados pelo corpo de prova (Foto 16b);

**Foto 16:** Esquema da montagem do ensaio com o revestimento térmico (a) e (b) vista da câmara triaxial envolvida pela resistência elétrica após ser recoberta pelo isolante térmico. Detalhe dos dois extensômetros elétricos, tipo lvdt, empregados para medidas dos deslocamentos axiais do corpo de prova.





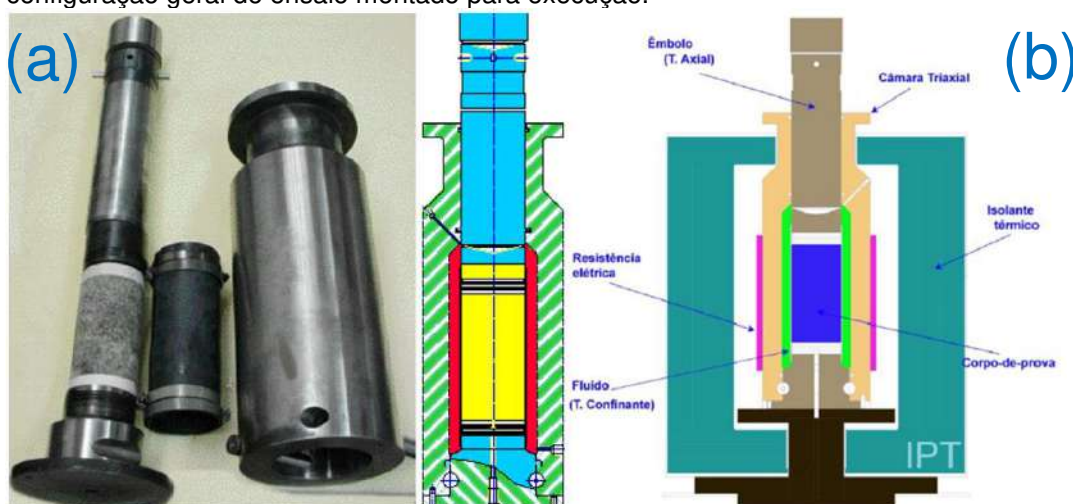
O início do ensaio ocorre com a preparação do corpo de prova a partir das amostras oriundas de sondagens rotativas, normalmente de diâmetro superior ao admitido pela câmara triaxial, implicando na necessidade de redução do diâmetro da amostra de interesse e posterior aplainamento das extremidades do cilindro (Foto 17) já que estas devem estar perfeitamente paralelas. Uma vez tomadas características intrínsecas ao corpo de prova como altura, diâmetro, massa e velocidade de propagação de ondas compressivas este é introduzido na célula triaxial.

**Foto 17:** Preparação do corpo de prova após redução do diâmetro da amostra do testemunho de sondagem.



Envolvida por uma membrana de viton com um termopar acoplado em sua base e sobreposta por um transferidor de carga (em contato com o cilindro hidráulico destinado à aplicação da carga axial) a amostra é inserida no interior da célula triaxial como ilustra a Figura 3a. A célula de Hoek é então envolvida pela resistência elétrica, posiciona-se a estufa em torno de todo conjunto e os transdutores de deslocamento são instalados como ilustrado na Figura 3b. Tendo atingido a configuração apresentada nesta ilustração procede-se então à aplicação das cargas e ao aumento da temperatura.

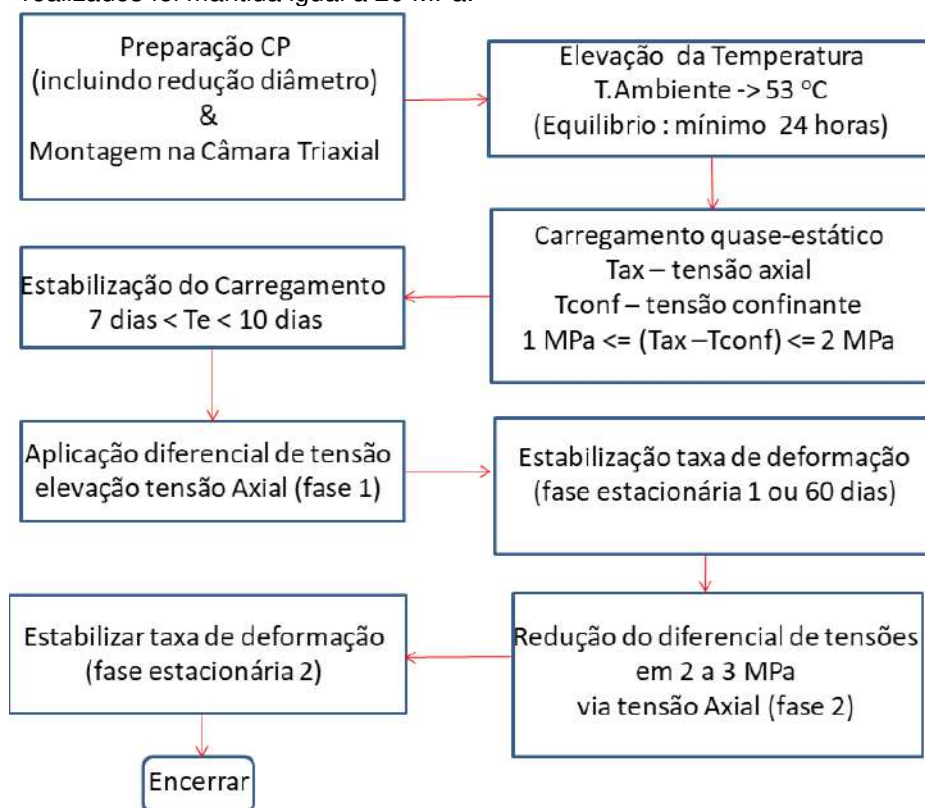
**Figura 3:**(a) Elementos e sequência de montagem do ensaio triaxial: corpo de prova com a membrana elástica de viton, êmbolo de aplicação da carga vertical e a base da célula e (b) configuração geral do ensaio montado para execução.



A sequência operacional do ensaio segue a experiência pretérita do LMR bem como sugestões e recomendações do cliente. Adotou-se como etapas do ensaio uma fase preliminar de consolidação da amostra sob estado isotrópico de tensões correspondente ao valor de confinamento desejado seguida do aumento da tensão axial até atingir-se o contraste de tensões de interesse (estágio 1).

Este valor é mantido até que se caracterize o estágio de fluência estacionária do material a partir do qual se reduz a tensão axial em 2/3 MPa (estágio 2) e aguarda-se que o material atinja novamente um valor constante para a taxa de deformação (“steady state creep”), mantendo as condições de ensaio por determinado período. A Figura 4 a seguir ilustra a série de operações descritas e adotadas pelo LMR durante a execução dos ensaios.

**Figura 4:** Esquema de operações do Ensaio de fluência triaxial com temperatura. A tensão confinante (Tconf.) para o conjunto de ensaios realizados foi mantida igual a 20 MPa.



Ao fim de cada fase do ensaio pode-se então definir o valor da taxa de fluência estacionária do material, que corresponde à inclinação da reta no diagrama deformação versus tempo, através da expressão:

$$v = \frac{(\delta_2 - \delta_1)}{L_i} \frac{(t_2 - t_1)}{(h^{-1})}$$

(Equação 2)

Onde:  $\delta_2$  : deformação (mm) no tempo  $t_2$  ( $t_2 > t_1$ )

$\delta_1$  : deformação (mm) no tempo  $t_1$  e

$L_i$  : comprimento (mm) inicial do corpo de prova

### 3 AMOSTRAS E ENSAIOS REALIZADOS

De todo registro estratigráfico do poço PE-04, localizado no bairro do Pinheiro, Maceió-AL a maior parte correspondeu a litotipos a partir dos quais foram confeccionados corpos de prova, segundo as normas técnicas citadas, para execução de ensaios no LMR. Apenas uma pequena porção do material recuperado, os primeiros metros com sedimentos inconsolidados da Formação Barreiras (Anexo B), foi destinada à realização de ensaios de caracterização (massa específica dos grãos, granulometria e limites de Atterberg) no Laboratório de Mecânica dos Solos e são objeto do Anexo C.

Devido ao grande número de ensaios executados pelo LMR nas amostras oriundas do PE-04, sua descrição foi adicionada ao item 1 do Anexo A. A descrição do litotipo e sua respectiva localização na estratigrafia foram informados pelo cliente após descrição dos testemunhos e definição de pacotes sedimentares para as caixas enviadas ao IPT e são apenas repetidas na tabela do anexo supracitado.

Fotos dos corpos de prova preparados podem ser encontradas na documentação fotográfica deste relatório (item 3 do Anexo A). Informações referentes à configuração de cada experimento (e.g. diferencial de tensões, tipo de carregamento, estágios, etc.) são apresentadas individualmente nos itens que se seguem (4.1 a 4.6) para cada tipo de ensaio.

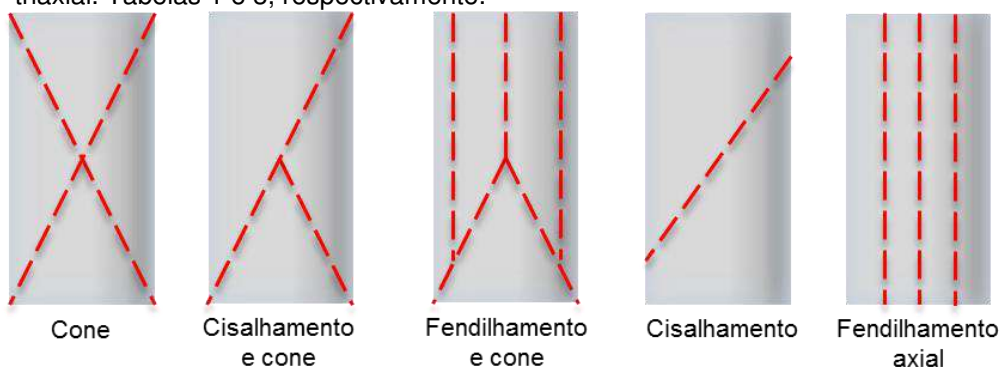
## 4 RESULTADOS

Os itens a seguir apresentam os resultados obtidos nos ensaios realizados no LMR. Estes produtos são apresentados predominantemente na forma de tabelas e gráficos resultantes do processamento dos valores obtidos enquanto as curvas decorrentes da execução dos ensaios são apresentadas para cada corpo de prova no Anexo A.

### 4.1. Compressão Uniaxial

A Tabela 1 apresenta a descrição das amostras ensaiadas bem como informações referentes à sua caracterização e de seus respectivos corpos de provas, as forças e modo de ruptura observados. Este último foi categorizado segundo tipo cone, cisalhamento e cone, fendilhamento e cone, cisalhamento ou fendilhamento axial (Figura 5) a depender do tipo de ruptura apresentado pelo material após o ensaio. A mesma classificação foi adotada para os ensaios de compressão triaxial apresentados no item seguinte.

**Figura 5.** Esquemas dos tipos de ruptura para ensaios de compressão uniaxial e triaxial. Tabelas 1 e 3, respectivamente.



Os corpos de prova 3374 a 3377 e 3384 a 3386 foram ensaiados segundo carregamento monotônico com duas rosetas e os demais segundo estágios de carregamento e descarregamento tal como descrito em 0, estes instrumentados com 4 rosetas. Já os corpos de prova 3427, 3428 e 3429, originados do litotipo classificado pelo cliente como Conglomerado Poção, continham clastos cujas dimensões ultrapassavam

o recomendado pelas normas, isto é, de diâmetro no mínimo 10 vezes inferior ao diâmetro do corpo de prova.

Partindo das curvas tensão X deformação apresentadas no Anexo A foram calculados módulo de Young e coeficiente de Poisson da amostra segundo duas metodologias: a primeira correspondeu ao módulo secante, usando-se 50% da tensão de ruptura observada e dentro da faixa linear da curva, em alguns casos esse valor foi tomado o mais próximo de 50% devido à perda de linearidade; e a segunda ao módulo tangente, usando-se um intervalo da tensão entre 40% a 60% do valor da ruptura e da mesma maneira adequando esse valor dentro da faixa linear da curva ou o mais próximo possível. Para o cálculo dos parâmetros elásticos em todos ensaios realizados de forma cíclica utilizou apenas o último estágio do carregamento.



**Tabela 1:** Dados dos corpos de prova - ensaio de compressão uniaxial. Indicadas as amostras, o litotipo, a identificação/furo, as profundidades e a caixa, dos corpos de prova a identificação de cada um (nº), as profundidades, o diâmetro, a altura, área, a massa e força de ruptura e o modo de ruptura predominante.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIMA / SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR													
ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL COM DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE DEFORMABILIDADE E DO COEFICIENTE DE POISSON													
AMOSTRA *					CORPO-DE-PROVA								
Litotipo	Furo / Identificação	Caixa nº	Profundidade		Nº	Profundidade		Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Massa (kg)	Força (kN)	Modo de Ruptura
			Topo (m)	Base (m)		Topo (m)	Base (m)						
halita impura	IGB - 013	1013	922,60	923,53	3384	922,60	922,90	9,657	25,248	73,246	3,976	145,24	cisalhamento
halita impura	IGB - 014	1013	922,60	923,53	3385	922,90	923,20	9,661	25,213	73,300	3,988	134,66	cisalhamento
halita impura	IGB - 015	1013	922,60	923,53	3386	923,20	923,50	9,729	25,230	74,339	4,025	135,60	cisalhamento e cone
sal impuro	IGB - 017	1014	923,54	924,47	3433	924,14	924,44	9,883	25,160	76,713	4,119	135,52	cisalhamento e cone
sal impuro	IGB - 030	1181	1067,27	1068,17	3437	1067,87	1068,17	10,084	25,304	79,865	4,329	281,74	Explosiva - cisalhamento e cone
sal amarelo	YGM - 016	1046	955,40	956,31	3375	955,40	955,70	9,854	24,166	76,263	3,885	122,97	cisalhamento
sal amarelo	YGM - 017	1046	955,40	956,31	3376	955,70	956,00	9,734	25,021	74,417	3,986	121,37	cisalhamento
sal amarelo	YGM - 018	1046	955,40	956,31	3377	956,00	956,30	9,822	25,263	75,765	4,035	93,98	cisalhamento
sal amarelo	YGM - 014	1026	938,56	939,46	3413	939,16	939,46	10,095	25,109	80,039	4,295	112,02	cisalhamento
sal amarelo	YGM - 024	1080	980,10	985,01	3417	980,70	981,00	10,078	25,335	79,765	4,328	189,22	Explosiva - cisalhamento
sal banda altern.	AB - 014	1012	921,66	922,58	3378	921,96	922,26	9,684	25,262	73,658	3,995	141,05	cisalhamento

\* Conforme informações do Cliente.

(continua)

(continuação da Tabela 1)

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIMA / SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR													
ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL COM DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE DEFORMABILIDADE E DO COEFICIENTE DE POISSON													
AMOSTRA *					CORPO-DE-PROVA								
Litotipo	Furo / Identificação	Caixa nº	Profundidade		Nº	Profundidade		Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Força (kN)	Modo de Ruptura
			Topo (m)	Base (m)		Topo (m)	Base (m)						
sal banda altern.	AB - 015	1012	921,66	922,58	3379	922,26	922,56	9,738	25,248	74,482	4,015	138,72	cisalhamento
sal banda altern.	AB - 027	1005	916,44	917,34	3380	917,04	917,34	9,569	25,593	71,911	3,959	125,11	cisalhamento
sal banda altern.	AB - 018	1041	951,43	952,32	3418	952,03	952,33	9,986	25,099	78,315	4,195	91,16	cisalhamento
sal banda altern.	AB - 026	1005	916,44	917,34	3420	917,04	917,34	10,060	25,366	79,480	4,329	241,62	Explosiva - cisalhamento e cone
sal bandado	BG - 013	1165	1053,90	1054,80	3387	1054,50	1054,80	10,033	25,267	79,054	4,317	260,35	Explosiva - cisalhamento e cone
sal bandado	BG - 017	1171	1058,86	1059,76	3388	1059,46	1059,76	10,030	25,360	79,015	4,301	261,98	cisalhamento
sal bandado	BG - 027	1212	1093,17	1094,06	3389	1093,77	1094,07	10,015	25,360	78,774	4,308	274,33	Explosiva - cone
sal bandado	BG - 016	1171	1058,86	1059,76	3430	1059,46	1059,76	10,047	25,321	79,285	4,322	252,58	Explosiva - cisalhamento e cone
sal bandado	BG - 028	1212	1093,17	1094,06	3431	1093,77	1094,07	10,033	25,275	79,064	4,287	282,07	Explosiva - cisalhamento
sal intercalado	SSI - 021	1214	1094,97	1095,48	3381	1095,17	1095,47	10,028	25,357	78,973	4,308	298,17	Explosiva - cisalhamento
sal intercalado	SSI - 027	1216	1096,78	1097,68	3382	1097,38	1097,68	10,042	25,243	79,201	4,307	266,28	Explosiva - fendilhamento e cone
sal intercalado	SSI - 032	1313	1178,25	1178,88	3383	1178,55	1178,85	10,053	25,257	79,380	4,320	247,61	fendilhamento e cone

\* Conforme informações do Cliente.

(continua)



(continuação da Tabela 1)

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIMA / SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR													
ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL COM DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE DEFORMABILIDADE E DO COEFICIENTE DE POISSON													
AMOSTRA *					CORPO-DE-PROVA								
Litotipo	Furo / Identificação	Caixa nº	Profundidade		Nº	Profundidade		Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Massa (kg)	Força (kN)	Modo de Ruptura
			Topo (m)	Base (m)		Topo (m)	Base (m)						
sal intercalado	SSI - 015	1215	1079,00	1079,56	3423	1079,60	1079,90	10,070	25,269	79,638	4,298	155,30	cisalhamento
sal intercalado	SSI - 040	1338	1197,66	1198,55	3426	1198,26	1198,56	10,067	25,318	79,591	4,321	171,56	Explosiva - cisalhamento
sal homogêneo	HG - 020	1209	1090,58	1091,39	3372	1090,88	1091,18	9,954	25,355	77,812	4,246	299,52	Explosiva - fendilhamento e cone
sal homogêneo	HG - 023	1218	1098,59	1099,49	3373	1098,89	1099,19	10,039	25,229	79,155	4,304	257,73	Explosiva - cisalhamento
sal homogêneo	HG - 027	1304	1170,59	1171,49	3374	1171,19	1171,49	10,019	25,359	78,833	4,284	116,08	fendilhamento e cone
sal homogêneo	HG - 025	1304	1170,59	1171,49	3411	1171,19	1171,49	9,983	25,239	78,273	4,239	109,65	cisalhamento
sal homogêneo	HG - 026	1304	1170,59	1171,49	3412	1171,19	1171,49	10,022	25,284	78,888	4,277	112,84	cisalhamento
interc de arenito, siltito, argilito, carbonato e folhelho, poção	PI - 004	536	548,21	548,71	3404	548,31	548,61	9,856	23,654	76,294	3,576	40,20	cisalhamento
interc de arenito, siltito, argilito, carbonato e folhelho, poção	PI - 005	536	548,21	548,71	3405	548,31	548,61	9,952	23,448	77,788	3,610	37,53	cisalhamento
interc de arenito, siltito, argilito, carbonato e folhelho, poção	PI - 037	548	558,78	559,29	3406	558,88	559,18	9,854	23,237	76,263	3,533	43,15	cisalhamento
interc de arenito, siltito, argilito, carbonato e folhelho, poção	PI - 038	548	558,78	559,29	3407	558,88	559,18	9,828	23,705	75,864	3,543	37,09	cisalhamento

\* Conforme informações do Cliente.

(continua)

(continuação da Tabela 1)

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIMA / SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR													
ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL COM DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE DEFORMABILIDADE E DO COEFICIENTE DE POISSON													
AMOSTRA *					CORPO-DE-PROVA								
Litotipo	Furo / Identificação	Caixa nº	Profundidade		Nº	Profundidade		Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Massa (kg)	Força (kN)	Modo de Ruptura
			Topo (m)	Base (m)		Topo (m)	Base (m)						
arenito poção	PAR - 031-032	365	400,40	401,04	3399	400,50	400,80	9,581	24,822	72,101	3,674	22,36	fendilhamento axial
arenito poção	PAR - 086	637	624,71	625,59	3400	624,81	625,11	10,062	24,558	79,517	4,112	34,57	fendilhamento axial
arenito poção	PAR - 088	638	625,80	626,24	3401	625,90	626,20	9,793	25,014	75,317	3,759	32,59	fendilhamento axial
arenito poção	PAR - 087	637	624,71	625,59	3402	624,81	625,11	10,081	25,212	79,823	4,213	35,25	fendilhamento axial
arenito poção	PAR - 89	536	626,24	626,69	3403	626,34	626,64	10,090	25,284	79,955	4,116	32,42	fendilhamento axial
Conglomerado Poção	PCGL - 064	674	654,69	655,11	3427	654,85	655,11	10,073	22,794	79,685	4,359	57,24	fendilhamento axial
Conglomerado Poção	PCGL - 065	671	655,25	655,64	3428	655,25	655,64	10,068	24,278	79,617	4,840	86,94	fendilhamento axial
Conglomerado Poção	PCGL - 061/062	673	653,78	654,26	3429	653,87	654,17	10,070	22,253	79,648	4,321	45,42	cisalhamento
Folhelho	TMS - 010	878	817,85	818,13	3390	818,45	818,75	9,983	25,158	78,278	4,175	140,09	fendilhamento axial
Folhelho	TMS - 031	902	836,36	836,67	3391	836,96	837,26	10,043	26,105	79,222	4,463	33,12	cisalhamento
Folhelho	TMS - 110	979	897,29	897,59	3392	897,89	898,19	10,076	25,325	79,743	4,469	32,89	cisalhamento
Folhelho	TMS - 009	878	817,42	817,62	3393	818,02	818,32	10,160	16,625	81,079	3,267	138,98	fendilhamento axial

\* Conforme informações do Cliente.

(continua)

(continuação da Tabela 1)

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIMA / SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR													
ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL COM DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE DEFORMABILIDADE E DO COEFICIENTE DE POISSON													
AMOSTRA *					CORPO-DE-PROVA								
Litotipo	Furo / Identificação	Caixa nº	Profundidade		Nº	Profundidade		Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Massa (kg)	Força (kN)	Modo de Ruptura
			Topo (m)	Base (m)		Topo (m)	Base (m)						
Folhelho paripueira	SHL - 001	1280	1150,94	1151,25	3394	1151,54	1151,84	9,879	25,015	76,645	4,804	203,66	cisalhamento
Folhelho paripueira	SHL - 002	1281	1151,72	1152,04	3395	1152,32	1152,62	9,996	24,988	78,472	4,868	255,53	cisalhamento
Folhelho paripueira	SHL - 003	1106	1004,99	1005,27	3396	1005,59	1005,89	10,006	24,892	78,639	4,000	39,41	cisalhamento
Folhelho paripueira	SHL - 004	1106	1005,27	1005,53	3397	1005,87	1006,17	9,900	24,780	76,972	4,277	70,71	cisalhamento
Folhelho paripueira	SHL - 002 - A	1281	1154,04	1152,22	3398	1154,64	1154,94	9,966	19,281	78,007	3,745	128,91	fendilhamento axial

\* Conforme informações do Cliente.

A Tabela 2 apresenta os valores dos parâmetros elásticos obtidos para cada corpo de prova.

**Tabela 2:** Resultados dos ensaios – compressão uniaxial. Indicadas o furo/identificação da amostra e dos corpos de prova sua identificação (nº), a densidade, a velocidade de propagação das ondas compressivas, o módulo dinâmico e estático (secante e tangente), a tensão de ruptura e coeficiente de Poisson (secante e tangente).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIMA / SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR									
ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL COM DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE DEFORMABILIDADE E DO COEFICIENTE DE POISSON									
AMOSTRA *	CORPO DE PROVA								
Furo / Identificação	Nº	Densidade (kg/m³)	VP (a) (m/s)	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo Dinâmico *** (GPa)	Módulo Estático		Coef. de Poisson, v	
						Secante (GPa)	Tangente (GPa)	(secante)	(tangente)
IGB - 013	3384	2150	4361	19,83	40,09	8,36	13,50	(b)	(b)
IGB - 014	3385	2158	4317	18,37	39,45	11,87	14,59	(b)	(b)
IGB - 015	3386	2146	4373	18,24	40,24	12,69	13,83	(b)	(b)
IGB - 017	3433	2134	4353	17,67	39,66	17,51	19,48	(b)	(b)
IGB - 030	3437	2142	4378	35,28	40,26	6,82	15,25	0,39	0,38
YGM - 016	3375	2108	3782	16,12	29,57	5,67	5,47	0,31	0,29
YGM - 017	3376	2141	3751	16,31	29,54	11,56	13,27	0,11	0,10
YGM - 018	3377	2108	4016	12,40	33,35	11,28	17,69	(b)	0,38
YGM - 014	3413	2137	4143	14,00	35,98	19,31	22,49	0,16	0,24
YGM - 024	3417	2142	4041	23,72	34,29	22,99	24,10	0,21	0,22
AB - 014	3378	2147	4061	19,15	34,73	10,13	13,15	(b)	(b)
AB - 015	3379	2135	4316	18,63	39,00	13,79	17,14	0,40	0,47
AB - 027	3380	2151	4420	17,40	41,21	9,14	12,73	(b)	(b)
AB - 018	3418	2134	3741	11,64	29,28	11,67	15,72	0,22	0,30
AB - 026	3420	2147	3826	30,40	30,83	6,56	17,99	0,29	(b)
BG - 013	3387	2161	4441	32,93	41,80	9,12	11,84	0,34	0,45
BG - 017	3388	2146	4365	33,16	40,10	8,31	11,74	0,36	0,47
BG - 027	3389	2156	4328	34,82	39,60	11,67	14,89	0,26	0,34
BG - 016	3430	2153	4366	31,86	40,24	9,56	12,58	0,32	0,45
BG - 028	3431	2145	4365	35,68	40,09	11,53	16,15	0,21	0,31
SSI - 021	3381	2151	4433	37,76	41,46	6,23	15,22	0,42	0,28
SSI - 027	3382	2154	4337	33,62	39,74	6,93	14,15	0,37	0,35
SSI - 032	3383	2155	4216	31,19	37,56	13,65	22,09	0,15	0,26
SSI - 015	3423	2136	3559	19,50	26,53	12,41	23,96	0,19	0,34

\* Conforme informações do Cliente;

\*\* Sem registro com o equipamento utilizado;

(a) Vp = velocidade de propagação das ondas compressivas no sentido longitudinal (m/s)

\*\*\* Valores obtidos na expressão:  $E_d = \rho \cdot V_p^2$

onde :  $\rho$  = densidade em kg/m³ e V velocidade de propagação das ondas p

(b) Valor do C.Poisson igual ou maior que 0,50, sem significado físico. (c) valor não determinado

(continua)

(continuação da Tabela 2)

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIMA / SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR

ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL COM DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE DEFORMABILIDADE E DO COEFICIENTE DE POISSON

AMOSTRA *	CORPO DE PROVA								
	Nº	Densidade (kg/m³)	VP (a) (m/s)	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo Dinâmico *** (GPa)	Módulo Elástico		Coef. de Poisson, v	
						Secante (GPa)	Tangente (GPa)	(secante)	(tangente)
SSI - 040	3426	2145	4117	21,55	35,64	11,12	18,35	0,19	0,40
HG - 020	3372	2152	4464	38,49	42,06	12,54	16,15	0,29	0,32
HG - 023	3373	2155	4283	32,56	38,78	9,52	14,24	0,25	0,34
HG - 027	3374	2143	4553	14,72	43,56	13,48	14,99	0,45	(b)
HG - 025	3411	2146	4515	14,01	42,90	10,87	10,84	0,26	0,43
HG - 026	3412	2144	4547	14,30	43,49	17,54	34,60	(b)	(b)
PI - 004	3404	1982	**	5,27	**	7,76	5,04	(c)	(c)
PI - 005	3405	1979	**	4,82	**	7,34	5,48	(c)	(c)
PI - 037	3406	1993	**	5,66	**	9,74	6,10	(c)	(c)
PI - 038	3407	1970	**	4,89	**	7,60	5,22	(c)	(c)
PAR - 031-032	3399	2053	**	3,10	**	5,17	3,38	(c)	(c)
PAR - 086	3400	2106	**	4,35	**	7,29	5,11	(c)	(c)
PAR - 088	3401	1995	**	4,33	**	9,65	6,15	(c)	(c)
PAR - 087	3402	2093	**	4,42	**	8,10	5,32	(c)	(c)
PAR - 89	3403	2036	**	4,05	**	6,46	4,37	(c)	(c)
PCGL - 064	3427	2400	881	7,18	1,83	23,49	20,18	(c)	(c)
PCGL - 065	3428	2504	2737	10,92	18,40	54,78	26,80	(c)	(c)
PCGL - 061/062	3429	2438	**	5,70	**	15,38	13,34	(c)	(c)
TMS - 010	3390	2120	2222	17,90	10,27	5,20	4,91	0,13	0,14
TMS - 031	3391	2158	1085	4,18	2,49	4,99	3,82	0,09	0,11
TMS - 110	3392	2213	1199	4,12	3,12	2,13	1,72	0,12	0,21
TMS - 009	3393	2423	3719	17,14	32,87	29,59	27,32	0,19	0,19
SHL - 001	3394	2506	4738	26,57	55,16	13,13	12,73	0,34	(b)
SHL - 002	3395	2483	5217	32,56	66,26	15,45	12,59	0,39	(b)
SHL - 003	3396	2044	1654	5,01	5,48	1,45	1,31	0,24	0,25
SHL - 004	3397	2243	1853	9,19	7,55	2,12	2,44	0,32	0,48
SHL - 002 - A	3398	2490	4680	16,53	53,47	10,96	10,18	0,28	0,35

\* Conforme informações do Cliente;

\*\* Sem registro com o equipamento utilizado;

(a) Vp = velocidade de propagação das ondas compressivas no sentido longitudinal (m/s)

\*\*\* Valores obtidos na expressão:  $E_d = \rho \cdot v_p^2$

onde:  $\rho$  = densidade em kg/m³ e V velocidade de propagação das ondas p

(b) Valor do C.Poisson igual ou maior que 0,50, sem significado físico. (c) valor não determinado

## 4.2. Compressão Triaxial

As características dos corpos de prova para determinação da resistência à compressão confinada estão descritos na Tabela 3. As forças de ruptura dos corpos de prova 3408, 3409 e 3410, litotipo sal homogêneo, e os corpos de prova 3441, 3445, litotipo arenito poção e o corpo de prova 3440, argilito/folhelho com arenito e calcário não foram caracterizadas (corpo de prova não rompeu) nos ensaios devido à deformação excessiva, ultrapassando o limite dos deslocamentos dos extensômetros utilizados. Nos demais a ruptura foi caracterizada de maneira usual com o uso de lvdts de 100 mm.



Tabela 3: Dados dos corpos de prova – Compressão triaxial. Indicadas o litotipo, o furo/identificação, caixa, e profundidade da amostra. Do corpo de prova indicadas a identificação (nº), profundidade, diâmetro, altura, força de ruptura e tipos de ruptura.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE / SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR											
ENSAIO DE COMPRESSÃO TRIAXIAL											
Amostra					CORPO DE PROVA						
Litotipo *	Furo / Identificação	Caixa nº	Profundidade		Nº	Profundidade		Diâmetro	Altura	Força Ruptura	Tipo de Ruptura
			Topo (m)	Base (m)		Topo (m)	Base (m)				
arenito poção	PAR 001-002	259	375,65	375,94	<b>3441</b>	375,67	375,92	9,913	25,249	nihil	não ocorreu ruptura. Interrompido por deslocamento máximo
arenito poção	PAR 017-018	350	388,84	389,12	<b>3442</b>	388,86	389,11	9,899	25,202	14,17	fendilhamento axial
arenito poção	PAR 043-044	396	426,00	426,29	<b>3443</b>	426,02	426,27	10,073	25,295	137,07	cisalhamento
arenito poção	PAR 063-064	627	617,57	617,86	<b>3444</b>	617,59	617,84	10,083	25,390	152,80	cisalhamento
arenito poção	PAR 091	641	628,97	629,28	<b>3445</b>	629,29	629,54	10,068	24,863	nihil	não ocorreu ruptura. Interrompido por deslocamento máximo
arenito poção	PAR 090	641	628,97	629,28	<b>3446</b>	628,99	629,24	10,065	25,118	90,12	cisalhamento
arenito com fol. e calc.	TMS017	881	820,10	820,65	<b>3438</b>	820,38	820,63	10,111	25,356	667,73	cisalhamento
folhelho com calcário	TMS069	922	852,89	853,40	<b>3439</b>	853,13	853,38	10,013	25,344	403,19	cisalhamento
argil./fol. com aren. e calc.	TMS114	983	900,11	900,66	<b>3440</b>	900,37	900,62	9,985	25,214	nihil	não ocorreu ruptura. Interrompido por deslocamento máximo
sal homogêneo	HG013	1137	1030,13	1031,04	<b>3408</b>	1030,15	1030,40	9,947	25,218	nihil	não ocorreu ruptura. Interrompido por deslocamento máximo
sal homogêneo	HG015	1137	1030,13	1031,04	<b>3409</b>	1030,75	1031,00	9,958	25,176	nihil	não ocorreu ruptura. Interrompido por deslocamento máximo
sal homogêneo	HG019	1209	1090,58	1091,39	<b>3410</b>	1090,60	1090,85	9,924	25,241	nihil	não ocorreu ruptura. Interrompido por deslocamento máximo
sal homogêneo	BG029	1249	1124,71	1125,61	<b>3432</b>	1124,73	1124,98	10,022	25,269	760,56	fendilhamento axial
sal banda altern.	AB024	1188	1072,74	1073,66	<b>3419</b>	1073,06	1073,31	10,060	25,251	613,50	cisalhamento
sal banda altern.	AB029	1117	1013,93	1014,63	<b>3421</b>	1013,95	1014,20	9,837	25,436	746,09	cisalhamento
sal banda altern.	AB030	1117	1013,93	1014,63	<b>3422</b>	1014,27	1014,52	9,837	25,300	703,61	cisalhamento
sal bandado	BG014	1165	1053,90	1054,80	<b>3448</b>	1054,22	1054,47	10,058	25,224	500,10	cisalhamento
sal bandado	BG015	1165	1053,90	1054,80	<b>3449</b>	1054,49	1054,74	10,069	25,409	507,80	cisalhamento e cone

\* Conforme informações do Cliente

Para o confinamento adotado em cada ensaio apresenta-se abaixo a tensão axial de ruptura do material ou o valor máximo atingido quando da interrupção do ensaio por deslocamento excessivo. Encontram-se também na Tabela 4 os valores de módulo dinâmico.

**Tabela 4:** Dados dos corpos de prova – compressão triaxial. São indicados dados da amostra, o furo/identificação e do furo, a identificação do corpo de prova (nº), diâmetro, altura, área, massa, densidade obtida a partir da massa e geometria, a velocidade de propagação das ondas compressivas, o módulo dinâmico e as tensões de confinamento e de ruptura.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE / SOC / LMR												
ENSAIO DE COMPRESSÃO TRIAXIAL COM MÓDULO DE DEFORMABILIDADE												
AMOSTRA *	CORPO DE PROVA											
Furo / Identificação	Nº	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Massa (kg)	Densidade (kg/m³)	Vel. de Onda P ** (m/s)	Módulo Def. Dinâmico*** (GPa)	Força (kN)	Tensão		
										CONF $\sigma_3$ (kgf/cm²)	Confin. $\sigma_3$ (MPa)	Axial, $\sigma_1$ (MPa)
PAR 001-002	3441	9,913	25,249	77,174	3,804	1952	(a)	nihil	(b)	71,38	7,00	nihil
PAR 017-018	3442	9,899	25,202	76,956	3,660	1887	(a)	nihil	14,17	101,97	10,00	1,8
PAR 043-044	3443	10,073	25,295	79,696	3,890	1930	1204	2,75	137,07	20,39	2,00	17,2
PAR 063-064	3444	10,083	25,390	79,844	3,808	1878	1285	3,04	152,80	30,59	3,00	19,1
PAR 091	3445	10,068	24,863	79,606	3,717	1878	1536	4,34	(b)	50,99	5,00	nihil
PAR 090	3446	10,065	25,118	79,569	3,767	1885	1043	2,01	90,12	10,20	1,00	11,3
TMS017	3438	10,111	25,356	80,293	4,977	2445	3819	34,96	667,73	152,96	15,0	83,2
TMS069	3439	10,013	25,344	78,749	4,661	2336	2444	13,68	403,19	101,97	10,0	51,2
TMS114	3440	9,985	25,214	78,310	4,331	2193	1859	7,44	(b)	50,99	5,0	nihil
HG013	3408	9,947	25,218	77,710	4,205	2146	4289	38,70	(b)	203,94	20,0	nihil
HG015	3409	9,958	25,176	77,887	4,203	2143	4203	37,13	(b)	50,99	5,0	nihil
HG019	3410	9,924	25,241	77,356	4,196	2149	4467	42,06	(b)	50,99	5,0	nihil
BG029	3432	10,022	25,269	78,886	4,272	2143	4334	39,48	760,56	203,94	20,0	96,4
AB024	3419	10,060	25,251	79,485	4,330	2158	4216	37,60	613,50	101,97	10,0	77,2
AB029	3421	9,837	25,436	76,000	4,153	2148	4401	40,80	746,09	203,94	20,0	98,2
AB030	3422	9,837	25,300	76,000	4,133	2149	4370	40,24	703,61	152,96	15,0	92,6
BG014	3448	10,058	25,224	79,459	4,303	2147	3782	30,11	500,10	101,97	10,0	62,9
BG015	3449	10,069	25,409	79,633	4,341	2146	4138	36,03	507,80	152,96	15,0	63,8

\* Conforme informações do Cliente \*\* Velocidade de propagação ondas compressivas p

(a) Não houve resposta do equipamento (b) ensaio abortado por deslocamento máximo

\*\*\* Valores obtidos na expressão  $E_d = \rho \cdot v_p^2$

onde :  $\rho$  = densidade em kg/m³ e V velocidade de propagação das ondas p

A partir dos diagramas tensão diferencial X deformação específica apresentados no Anexo A foram calculados, quando possível, valores para o módulo de deformabilidade secante do litotipo (Tabela 5). A determinação deste parâmetro deteve-se aos experimentos onde foi possível caracterizar um intervalo de deformação elástica linear do material previamente à perda de resistência e ignorou

os ensaios realizados em litotipos evaporíticos uma vez que a compressão triaxial das rochas salinas apresentou predominantemente contribuição do mecanismo de deformação por fluência (comportamento dúctil) e em geral não atingiram a ruptura.

**Tabela 5:** Resultados ensaios compressão triaxial e do módulo de deformabilidade secante calculado com 50% da tensão de ruptura. São indicados dados do furo, a identificação do corpo de prova, diâmetro, altura, massa, densidade obtida a partir da massa e geometria, a velocidade de propagação das ondas compressivas, o módulo estático (Young) e o dinâmico, as tensões de confinamento e de ruptura.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE / SOC / LMR										
ENSAIO DE COMPRESSÃO TRIAXIAL COM MÓDULO DE DEFORMABILIDADE										
AMOSTRA *	CORPO DE PROVA									
Furo / Identificação	Nº	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (kg)	Densidade (kg/m³)	Vel. de Onda P (m/s)	Módulo Deformabilidade **** (GPa)	Módulo Dinâmico *** (GPa)	Tensão	
									Confin. $\sigma_3$ (MPa)	Axial, $\sigma_1$ (MPa)
TMS017	3438	10,111	25,356	4,977	2445	3819	15,50	34,96	15,0	83,2
TMS069	3439	10,013	25,344	4,661	2336	2444	3,25	13,68	10,0	51,2
TMS114	3440	9,985	25,214	4,331	2193	1859	1,92	7,44	5,0	37,0
PAR 001-002	3441	9,913	25,249	3,804	1952	**	1,60	nihil	7,00	18,1
PAR 043-044	3443	10,073	25,295	3,890	1930	1204	1,31	2,75	2,00	17,2
PAR 063-064	3444	10,083	25,390	3,808	1878	1285	1,29	3,04	3,00	19,1
PAR 091	3445	10,068	24,863	3,717	1878	1536	2,22	4,34	5,00	20,4
PAR 090	3446	10,065	25,118	3,767	1885	1043	4,35	2,01	1,00	11,3

\* Conforme informações do Cliente

\*\* Sem registro com o equipamento utilizado;

\*\*\* Valores obtidos na expressão:

$$E_d = \rho \cdot v^2$$

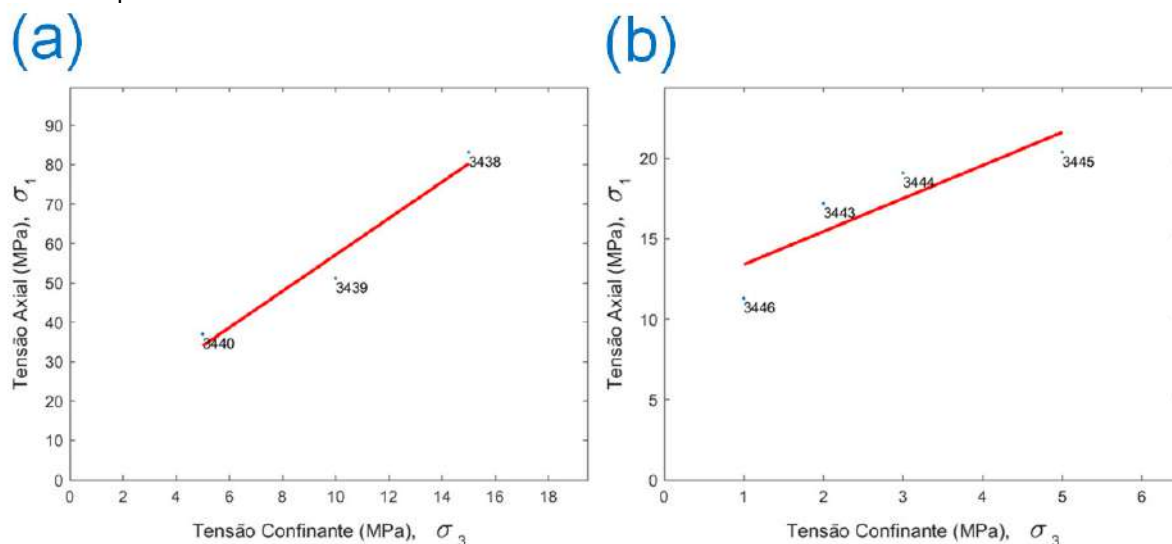
onde:

$\rho$  = densidade calculada da massa e volume;  $v$  = velocidade propagação ondas compressivas em m/s.

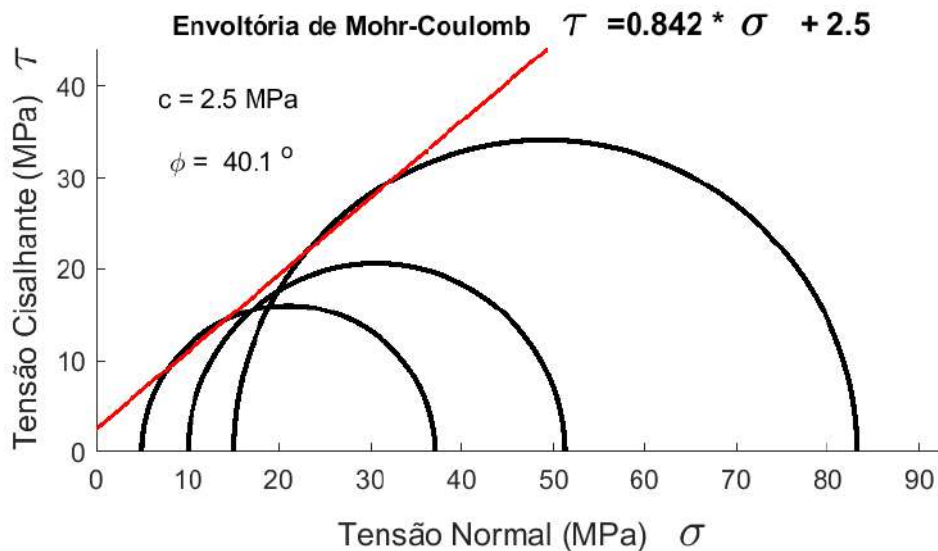
\*\*\*\* Módulo de deformabilidade secante (50% da tensão de ruptura)

Para os corpos de prova tipo TMS e PAR onde foi caracterizada a ruptura para diferentes contrastes de tensões (Figura 6) apresenta-se nas figuras Figura 7 e Figura 8 os círculos de Mohr e envoltórias correspondentes para determinação de valores de coesão e ângulo de atrito interno do material.

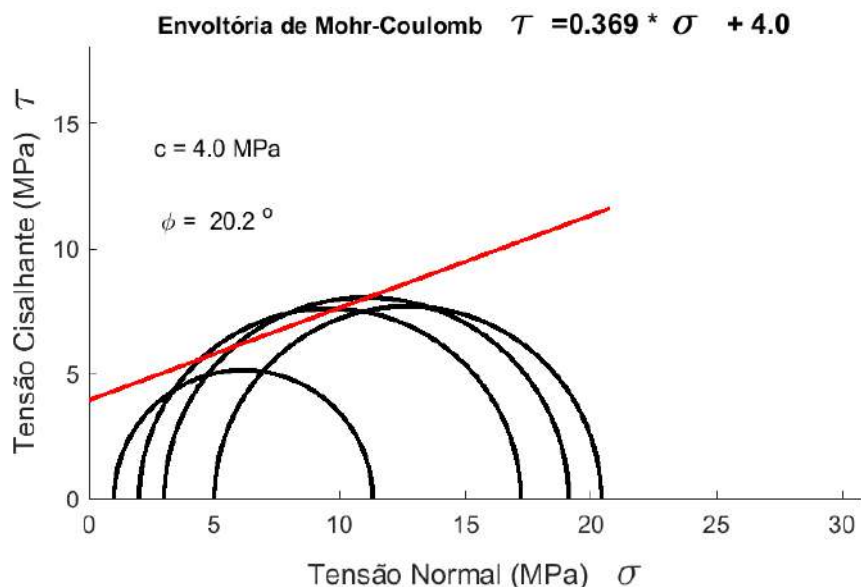
**Figura 6:** (a) Diagrama no espaço tensão axial versus tensão confinante e a reta de regressão ( $R^2 = 0,95$ ) dos corpos de prova 3438, 3439 e 3440. Litotipo TMS. (b) Diagrama no espaço tensão axial versus tensão confinante e a reta de regressão ( $R^2 = 0,76$ ) dos corpos de prova 3443, 3445, 3445 e 3446. Litotipo PAR.



**Figura 7:** Diagrama dos círculos de Mohr e os respectivos ângulo de atrito e coesão dos corpos de prova da Figura 6a. Litotipo TMS.



**Figura 8:** Diagrama dos círculos de Mohr e o ângulo de atrito e a coesão dos corpos de prova da Figura 6b. Litotipo PAR.



Os valores obtidos para os parâmetros de resistência do critério Mohr-Coulomb estão sintetizados na Tabela 6, a seguir.

**Tabela 6:** Resultados das envoltórias de Mohr-Coulomb dos corpos de prova do litotipo TMS e PAR. Estão indicados litotipo da amostra e do corpo de prova sua identificação (nº), o módulo dinâmico, força axial, as tensões axial e confinante e o os valores para a coesão e o ângulo de atrito de pico.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE / SOC / LMR							
ENSAIO DE COMPRESSÃO TRIAXIAL							
AMOSTRA	CORPO DE PROVA						
Litotipo *	Nº	Módulo Def. Dinâmico (GPa)	Força (kN)	Tensão		$\Phi$ PICO (°) Médio	Coesão (MPa)
				Confin. $\sigma_3$ (MPa)	Axial, $\sigma_1$ (MPa)		
arenito com fol. e calc.	3438	31,76	667,73	15,0	83,2	40,1	2,5
folhelho com calcário	3439	28,43	403,19	10,0	51,2		
argil./fol. com aren. e calc.	3440	24,93	289,64	5,0	37,0		
arenito poção	3443	19,64	137,07	2,00	17,2	20,2	4,0
arenito poção	3444	18,65	152,80	3,00	19,1		
arenito poção	3445	18,59	162,40	5,00	20,4		
arenito poção	3446	18,71	90,12	1,00	11,3		

### 4.3. Cisalhamento Direto

Foram realizados ensaios de cisalhamento direto em amostras que preferencialmente dispusessem de planos de fraqueza tal como acamamento sedimentar ou outras feições capazes de proporcionar anisotropia de resistência ao material. Desta forma os experimentos detiveram-se a amostras do litotipo denominado TMS, cujas caixas de origem e descrição encontram-se apresentadas abaixo.



**Tabela 7:** Ensaio de cisalhamento direto. Estão indicadas as amostras, o furo/identificação, a caixa e as profundidades do corpo de prova, sua identificação, as profundidades, a área de cisalhamento e observações sobre as etapas realizadas (inicial: in natura , primeiro após ruptura in natura (1AR) e segunda ruptura após o in natura (2AR))

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIMA / SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR											
ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO											
Amostra					CORPO DE PROVA						
Litotipo *	Furo / identificação	Caixa nº	Profundidade		Nº	Profundidade		Área  (cm²)	Observação na Ruptura ***		
			Topo  (m)	Base  (m)		Topo  (m)	Base  (m)		in natura	1º Ar	2º Ar
folhelho com intercalações finas de calcário	TMS - 050	912	844,56	844,92	3452	844,73	844,88	73,157	**	movimento lento	
folhelho com intercalações finas de calcário	TMS - 051	912	844,92	845,24	3453	879,46	879,57	80,154	movimento lento		
folhelho com intercalações finas de calcário	TMS - 100	979	879,46	879,83	3454	879,46	879,57	75,679	movimento lento		
folhelho com intercalações finas de calcário	TMS - 050	912	844,56	844,92	3455	844,57	844,72	74,527	movimento lento		
arenito com intercalações de folhelho e calcário	TMS - 016	881	820,10	820,65	3457	820,10	820,20	67,414	movimento lento		
arenito com intercalações de folhelho e calcário	TMS - 016	881	820,10	820,65	3458	820,21	820,31	78,250	movimento lento		
folhelho com intercalações finas de calcário	TMS - 068	922	852,89	853,40	3459	852,90	853,03	66,372	movimento repentino	movimento lento	
argilito/folhelho com níveis de arenito e brechas de calcário	TMS - 113	983	900,11	900,66	3460	900,21	900,31	79,232	movimento repentino	movimento lento	

\* Conforme informações do Cliente

\*\*\* in natura - ruptura do corpo de prova não perturbado;

\*\*\* 1º AR - primeira ruptura após o in natura;

\*\* Não ensaiado, ruptura ocorreu na montagem;

\*\*\* 2º AR - segunda ruptura após o in natura;

Os corpos de prova foram submetidos a distintos valores de tensão normal e em diferentes etapas de cisalhamento, ou seja, primeiro escorregamento ou in natura (pico) e os residuais: o segundo escorregamento após o in natura (1AR) e o terceiro escorregamento (2AR), identificados na matriz de ensaios apresentada abaixo (Tabela 8). Já os resultados de tensão cisalhante máxima atingida para cada etapa do experimento e o tipo de ruptura observado sob atuação do respectivo esforço normal são mostrados nas tabelas 9 a 11.

**Tabela 8:** Valores da tensão normal para as diferentes situações ensaiadas. Situação Inicial corresponde ao corpo de prova intacto, 1AR a primeira ruptura subsequente, e 2AR a segunda ruptura subsequente à 1AR.

Corpo de prova (Nº)	Tensão Normal (MPa)	Tensão Normal (MPa)	Tensão Normal (MPa)
	In natura	1AR	2AR
3452	(a)	7,0	10,0
3453	13,0	13,0	16,0
3454	16,0	16,0	18,0
3455	10,0	10,0	13,0
3457	2,0	2,0	4,0
3458	1,0	1,0	2,0
3459	4,0	4,0	7,0
3460	0,5	0,5	1,0

(a) Na montagem do ensaio houve ruptura do plano que seria cisalhado (deslocamento da amostra), assim foram executados apenas os ensaios 1AR e 2AR

**Tabela 9:** Valores obtidos para a tensão cisalhante, caracterizando a perda de resistência no plano cisalhado nos ensaios de cisalhamento direto. Indicadas da amostra o furo/identificação, e do corpo de prova sua identificação (nº), a área, a tensão normal, a tensão cisalhante.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIMA / SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR				
ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO - Ruptura In natura **				
Amostra *	Corpo de Prova			
Furo / Identificação	Nº	Área	Tensão	
			Normal, $\sigma_1$ (MPa)	Cisalhante, $\tau$ (MPa)
TMS - 050	<b>3452</b>	73,157	***	
TMS - 051	<b>3453</b>	80,154	7,0	13,8
TMS - 100	<b>3454</b>	75,679	16,0	9,0
TMS - 050	<b>3455</b>	74,527	10,0	9,2
TMS - 016	<b>3457</b>	67,414	2,0	3,6
TMS - 016	<b>3458</b>	78,250	1,0	6,2
TMS - 068	<b>3459</b>	66,372	4,0	6,0
TMS - 113	<b>3460</b>	79,232	5,0	2,3

\* Conforme informações do Cliente

\*\* R. In natura - ruptura do corpo de prova não perturbado;

\*\*\* Não ensaiado, ruptura ocorreu na montagem;

**Tabela 10:** Valores obtidos para a tensão cisalhante, caracterizando a perda de resistência no plano cisalhado nos ensaios de cisalhamento direto. Indicadas da amostra o furo/identificação, e do corpo de prova sua identificação (nº), a área, a tensão normal, a tensão cisalhante.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIMA / SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR				
ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO - 1º Ar **				
Amostra *	Corpo de Prova			
Furo / Identificação	Nº	Área	Tensão	
			Normal, $\sigma_1$ (MPa)	Cisalhante, $\tau$ (MPa)
TMS - 050	3452	73,157	7,0	3,9
TMS - 051	3453	80,154	13,0	8,1
TMS - 100	3454	75,679	16,0	4,6
TMS - 050	3455	74,527	10,0	5,0
TMS - 016	3457	67,414	2,0	1,7
TMS - 016	3458	78,250	1,0	1,2
TMS - 068	3459	66,372	4,0	2,8
TMS - 113	3460	79,232	0,5	0,9

\* Conforme informações do Cliente

\*\* 1º Ar - primeira ruptura após o in natura ou ruptura Inicial;

**Tabela 11:** Valores obtidos para a tensão cisalhante, caracterizando a perda de resistência no plano cisalhado nos ensaios de cisalhamento direto. Indicadas da amostra o furo/identificação, e do corpo de prova sua identificação (nº), a área, a tensão normal, a tensão cisalhante.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIMA / SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR				
ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO - 2º Ar **				
Amostra *	Corpo de Prova			
Furo / Identificação	Nº	Área	Tensão	
			Normal, $\sigma_1$ (MPa)	Cisalhante, $\tau$ (MPa)
TMS - 050	3452	73,157	10,0	3,6
TMS - 051	3453	80,154	16,0	9,6
TMS - 100	3454	75,679	18,0	4,6
TMS - 050	3455	74,527	13,0	6,1
TMS - 016	3457	67,414	4,0	3,3
TMS - 016	3458	78,250	2,0	2,1
TMS - 068	3459	66,372	7,0	5,5
TMS - 113	3460	79,232	1,0	1,4

\* Conforme informações do Cliente

\*\* 2º Ar - segunda ruptura após o in natura ou ruptura Inicial;

A partir dos pares tensão normal X cisalhante de ruptura apresentados acima e ilustrados na Figura 9 ajustou-se envoltórias de resistência segundo o critério de Mohr-Coulomb (Equação 3) para este litotipo.

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c$$

(Equação 3)

Onde,

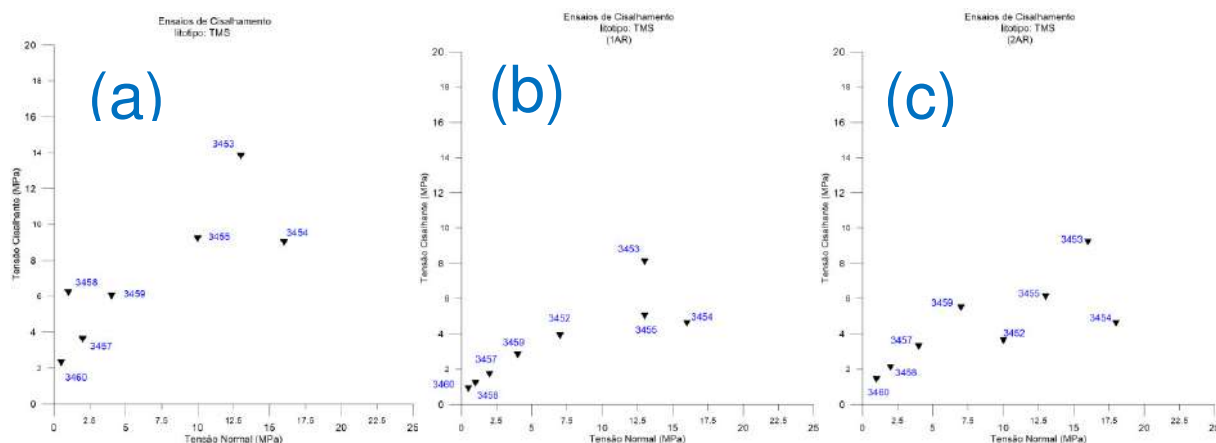
$\tau$ : tensão de cisalhamento

$\sigma$ : tensão normal

$\varphi$ : ângulo de atrito interno

$c$ : coesão

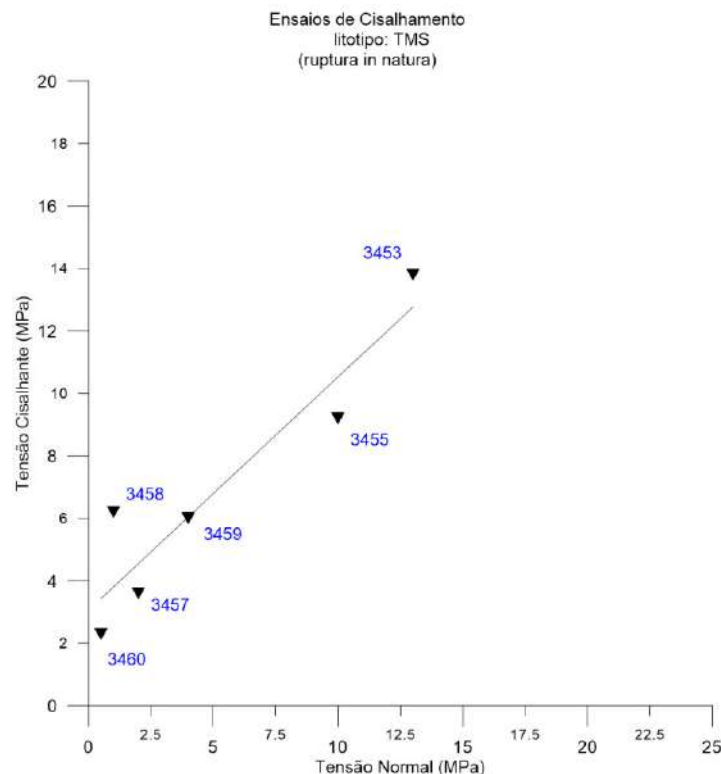
**Figura 9:** Diagrama tensão cisalhante *versus* tensão normal para os diferentes estágios dos ensaios. Rupturas in natura (a), 1AR (b) e 2AR (c). Os números no diagrama correspondem à identificação (id) dos corpos de prova. Litotipo TMS.





Como ilustra a Figura 10 o ajuste da reta aos dados referentes à ruptura in natura do litotipo não considerou os corpos de prova 3454 e o 3452. A retirada do primeiro corpo de prova deveu-se à difícil caracterização visual da magnitude de cisalhamento quando da ruptura ou cedência da amostra e a do segundo pela ausência da ruptura in natura, comprometendo assim a realização dos arrastes subsequentes.

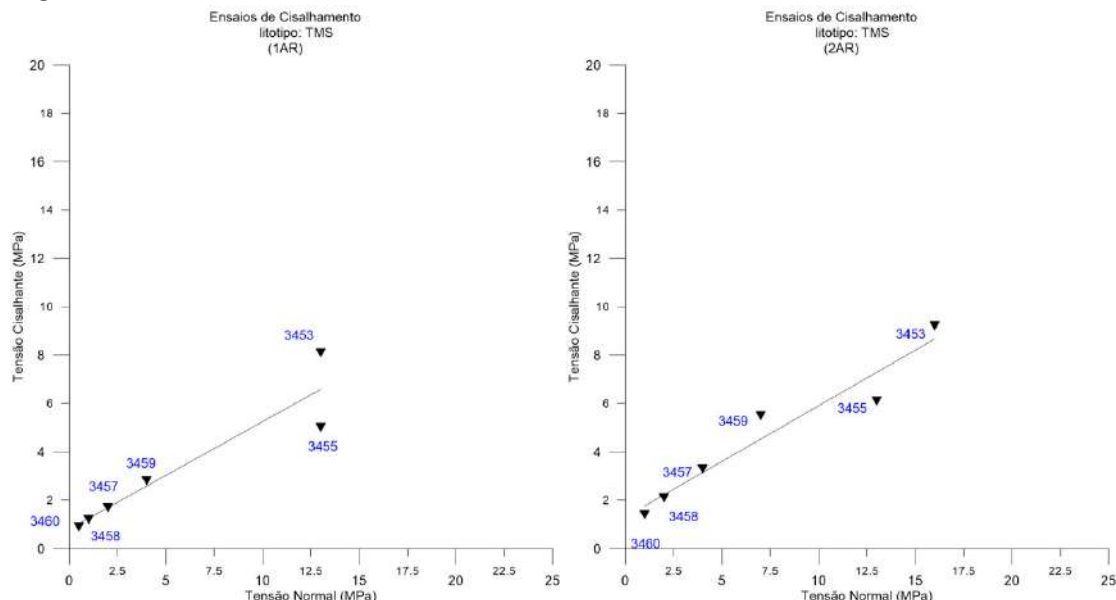
**Figura 10:** Diagrama tensão cisalhante *versus* tensão normal dos ensaios de cisalhamento direto, para a ruptura in natura, com ajuste linear para os ensaios com a exclusão dos corpos de prova 3454 e 3452. Os números no diagrama correspondem à identificação (id) dos corpos de prova. Litotipo TMS.



Para as demais situações, 1AR e 2AR (primeiro e segundo cisalhamento após a ruptura inicial ou in natura), são também apresentados ajustes desconsiderando os corpos de prova 3454 e 3452 (Figura 11). A Tabela 12 sumariza os resultados obtidos.

**Figura 11:** Diagrama no espaço tensão cisalhante *versus* tensão normal dos ensaios 1AR (a) e 2AR (b), respectivamente primeiro e segundo pós in natura, com suas respectivas retas de

ajuste. Os números no diagrama correspondem à identificação (id) dos corpos de prova. Litotipo TMS.



**Tabela 12:** Litotipo TMS. Indicados ajustes lineares utilizados para traçar a envoltória de ruptura para os 3 estágios de ensaio - Ruptura in natura ou de pico, 1AR e 2AR. Dos ajustes não constam os corpos de prova 3252 e 3254, e estão indicados os respectivos ângulo de atrito, coesão, o coeficiente de ajuste linear ( $R^2$ ) e a equação resultante.

Estágio	$\varphi$ (graus)	C (MPa)	$R^2$	Equação
In natura (pico)	36,9	3,0	0,87	$\tau = 0,75 \sigma + 3,0$
1AR	23,7	0,8	0,87	$\tau = 0,44 \sigma + 0,8$
2AR	24,7	1,3	0,93	$\tau = 0,46 \sigma + 1,3$

#### 4.4. Compressão Diametral (Tração Indireta)

Seguindo a metodologia apresentada em 2.4 apresenta-se os valores de resistência à tração indireta calculados a partir da Equação 1 para os corpos de prova submetidos à compressão diametral, bem como outras características inerentes a cada amostra. Com base nas normas técnicas vigentes e na fundamentação teórica que baliza a obtenção da resistência à tração de forma indireta as rupturas observadas foram ainda classificadas como válidas ou não (Tabela 13).

**Tabela 13:** Dados dos ensaios de compressão diametral (Tração indireta ou método Brasileiro). Indicadas da amostra o litotipo, furo/identificação, caixa (nº), e profundidades e do corpo de prova sua identificação (nº), profundidades, diâmetro, altura, massa, densidade, força e tensão de tração na ruptura e observações quanto a validade do ensaio.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE/SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR

ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL (TRAÇÃO INDIRETA MÉTODO BRASILEIRO)

AMOSTRA					CORPO-DE-PROVA									
Litotipo <sup>(1)</sup>	Furo / Identificação	Caixa Nº	Profundidade		Nº	Profundidade		Diâmetro	Altura	Massa	Densidade	Força de Ruptura	Tensão de Ruptura	Tipo de Ruptura
			Topo	Base		Topo	Base							
			(m)	(m)		(m)	(m)	(cm)	(cm)	(g)	(kg/m³)	(kN)	(MPa)	
Arenito/Marituba	MAR - 011	62	126,18	126,38	3520	126,22	126,27	9,749	5,130	735,37	1920	0,95	0,12	válida
Arenito/Marituba	MAR - 011 (2)	62	126,18	126,38	3521	126,27	126,32	9,800	5,209	755,44	1923	1,03	0,13	válida
Arenito/Marituba	MAR - 018	76	137,64	137,90	3522	137,80	137,85	9,412	5,123	667,31	1872	1,22	0,16	válida
Arenito/Marituba	MAR - 034	71	120,82	121,17	3523	120,83	120,88	9,818	5,163	754,21	1930	0,87	0,11	válida
Arenito/Marituba	MAR - 036	334	158,13	158,27	3524	158,15	158,20	9,584	5,086	773,16	2107	1,02	0,13	válida
Argilito/Marituba	MAG - 012	200	134,18	134,50	3525	134,35	134,40	9,822	5,152	778,78	1995	1,64	0,21	válida
Argilito/Marituba	MAG - 013	83	142,88	143,48	3526	143,09	143,14	9,791	5,107	773,43	2012	1,47	0,19	válida
Argilito/Marituba	MAG - 012 (2)	200	134,18	134,50	3527	134,44	134,49	9,729	5,033	762,33	2037	1,55	0,20	válida
Arenito	MRT - 021	235	284,24	284,52	3528	284,25	284,30	10,277	5,039	873,87	2091	0,93	0,11	válida
Arenito	MRT - 023	235	301,49	301,73	3529	301,59	301,64	10,000	4,962	884,09	2269	3,90	nihil	inválida
Calcarenito	IBU - 010	334	375,13	375,58	3508	375,45	375,50	10,013	5,104	829,89	2065	4,20	0,52	válida
Calcarenito	IBU - 019	326	368,36	368,53	3509	368,44	368,49	10,074	4,971	833,68	2104	16,54	2,10	válida

(1) Conforme informações do Cliente

(continua)

(continuação da Tabela 13)

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE/SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR

**ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL (TRAÇÃO INDIRETA MÉTODO BRASILEIRO)**

AMOSTRA					CORPO-DE-PROVA									
Litotipo <sup>(1)</sup>	Furo / Identificação	Caixa Nº	Profundidade		Nº	Profundidade		Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)	Densidade (kg/m³)	Força de Ruptura (kN)	Tensão de Ruptura (MPa)	Tipo de Ruptura
			Topo (m)	Base (m)		Topo (m)	Base (m)							
Folhelho	TMS - 020	878	822,88	823,11	3504	823,04	823,09	10,104	5,120	1025,29	2497	42,21	nihil	inválida
Folhelho	TMS - 051	912	844,92	845,24	3505	845,03	845,08	10,067	5,157	884,03	2154	25,67	3,15	válida
Folhelho	TMS - 051	912	844,92	845,24	3506	845,11	845,16	9,890	5,016	851,53	2210	27,25	3,50	válida
Folhelho	TMS - 051	912	844,92	845,24	3507	845,18	845,23	9,953	5,024	836,45	2140	29,36	3,74	válida
Folhelho	TMS - 029	900	834,60	834,90	3510	834,66	834,71	10,057	5,045	968,96	2418	17,57	nihil	inválida
Folhelho	TMS - 029 (2)	900	834,60	834,90	3511	834,73	834,78	10,070	5,082	994,20	2457	22,67	2,82	válida
Folhelho	TMS - 075	926	856,29	856,68	3512	856,48	856,53	10,054	4,805	907,65	2379	11,25	1,48	válida
Folhelho	TMS - 075 (2)	926	856,29	856,68	3513	856,55	856,60	10,063	5,029	927,43	2319	14,15	1,78	válida
Argilito	SHL - 004	1106	1004,99	1005,99	3514	1005,24	1005,29	9,979	5,163	803,72	1990	3,60	nihil	inválida
Argilito	SHL - 004 (2)	1106	1004,99	1005,99	3515	1005,49	1005,54	9,923	5,080	779,33	1984	5,60	0,71	válida
Argilito	SHL - 007	1293	1161,20	1161,65	3516	1161,20	1161,25	10,016	5,084	799,30	1995	7,16	nihil	inválida
Argilito	SHL - 008	1321	1184,67	1185,42	3517	1184,74	1184,79	10,028	5,017	785,99	1983	11,75	1,49	válida
Argilito	SHL - 011	1310	1176,34	1176,41	3518	1176,34	1176,39	9,988	5,020	930,82	2366	13,72	1,74	válida
Argilito	SHL - 014	1311	1176,88	1177,38	3519	1177,31	1177,36	10,016	5,039	869,81	2191	11,30	1,43	válida

(1) Conforme informações do Cliente

(continua)

(continuação da Tabela 13)

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE/SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR

**ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL (TRAÇÃO INDIRETA MÉTODO BRASILEIRO)**

AMOSTRA					CORPO-DE-PROVA									
Litotipo <sup>(1)</sup>	Furo / Identificação	Caixa Nº	Profundidade		Nº	Profundidade		Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)	Densidade (kg/m³)	Força de Ruptura (kN)	Tensão de Ruptura (MPa)	Tipo de Ruptura
			Topo (m)	Base (m)		Topo (m)	Base (m)							
Poção folhelho	PF - 006	344	448,83	449,15	3534	448,87	448,92	9,974	5,136	749,72	1869	6,63	0,82	válida
Poção folhelho	PF - 006 (2)	344	448,83	449,15	3535	448,93	448,98	9,944	5,172	793,97	1977	4,73	0,59	válida
Poção folhelho	PF - 029	227	514,38	514,54	3537	514,41	514,46	10,049	5,105	766,77	1894	14,98	1,86	válida
Poção folhelho	PF - 036	550	517,05	517,30	3538	517,09	517,14	10,065	5,118	818,15	2009	15,36	1,90	válida
Poção folhelho	PF - 036 (2)	550	517,05	517,30	3539	517,16	517,21	10,048	5,153	837,42	2050	16,75	2,06	válida
Poção folhelho	PF - 042	508	518,88	519,08	3540	518,97	519,02	10,067	5,130	852,54	2088	17,10	2,11	válida
Calcilutito/calcarenito	MOS - 006	200	198,50	198,70	3541	198,55	198,60	9,920	4,893	693,79	1835	2,62	0,34	válida
Calcilutito/calcarenito	MOS - 004	83	197,84	198,03	3542	197,93	197,98	9,710	5,098	611,43	1620	3,64	0,47	válida
Calcilutito/argila	MOS - 012	741	218,49	218,69	3543	218,55	218,60	9,954	5,072	958,61	2429	12,27	1,55	válida
Calcarenito	MOS - 015	185	234,41	234,66	3544	234,50	234,55	9,982	5,133	800,71	1993	3,84	0,48	válida
Calcarenito	MOS - 016	185	234,66	234,94	3545	234,73	234,78	9,929	5,174	708,11	1768	1,91	nihil	inválida
Calcilutito/calcarenito	MOS - 019	738	240,46	240,65	3546	240,51	240,56	9,905	5,053	697,17	1791	2,04	0,26	válida
Calcilutito/calcarenito	MOS - 019 (2)	738	240,46	240,65	3547	240,57	240,62	9,853	5,032	645,54	1683	1,50	0,19	válida

(1) Conforme informações do Cliente

## 4.5. Fluência Triaxial com Temperatura

Por solicitação do cliente, as diferentes amostras de sal extraídas do poço estratigráficos foram submetidas à matriz de ensaios indicadas na tabela 14. Já os valores de taxa de fluência estacionária obtidos são apresentados na Tabela 15.

**Tabela 14:** Dados dos corpos de prova – Ensaios de fluência. Da amostra são apresentados o litotipo, furo/identificação, caixa, e profundidades. Do corpo de prova sua identificação (nº), a profundidade de topo e base, o diâmetro, altura, área, densidade, velocidade de propagação das ondas compressivas, o módulo dinâmico, a temperatura de ensaio, as tensões axiais da fase I e fase II quando empregadas e a tensão confinante.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIMA / SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR																	
ENSAIO DE FLUÊNCIA EM ROCHA SALINA																	
AMOSTRA *				CORPO DE PROVA										Ensaio			
Litotipo	Furo / Identific.	Caixa nº	Profundidade		Nº	Profundidade		Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Densidade (kg/m³)	V <sub>p</sub> (a) (m/s)	Módulo Dinâmico ** (GPa)	Temper. (°C)	Tensão Axial, σ <sub>1</sub>		Tensão Confin. σ <sub>3</sub> (MPa)
			Topo (m)	Base (m)		Topo (m)	Base (m)								Fase 1 (MPa)	Fase 2 (MPa)	
sal-gema cinza homogêneo	HG 014	1137	1030,13	1031,04	3360	1030,50	1030,68	8,93	17,97	62,62	2145	3025	19,2	53	40,0	37,0	20,0
sal-gema cinza homogêneo	HG 024	1218	1098,59	1099,49	3361	1098,95	1099,13	8,94	17,96	62,72	2141	3075	19,9	53	37,0	34,0	20,0
sal-gema amar. acinz. mosq.	YGM 015	1026	938,56	939,46	3362	939,16	939,46	8,95	17,97	62,90	2153	4362	40,2	53	32,0	30,0	20,0
sal-gema amar. acinz. mosq.	YGM 023	1080	984,10	985,01	3363	984,30	984,58	8,94	17,86	62,81	2150	3207	21,7	53	32,0	nihil	20,0
sal-gema bandas altern diferentes cores	AB 020	1156	1046,15	1047,07	3364	1046,45	1046,75	8,90	18,03	62,26	2157	4365	40,3	53	37,0	34,0	20,0
sal-gema bandas altern diferentes cores	AB 023	1026	1072,74	1073,66	3365	1072,74	1073,03	8,95	17,90	62,95	2159	3646	28,2	53	37,0	nihil	20,0

\* Conforme informações do Cliente;

(a) V<sub>p</sub> = velocidade de propagação das ondas compressivas no sentido longitudinal (m/s).

\*\* Valores obtidos na expressão:  $E_d = \rho \cdot v_p^2$  onde:  $\rho$  = densidade em kg/m³ e V velocidade das ondas p.

**Tabela 15:** Taxa de deformação para a fluência estacionária. Indicadas o litotipo da amostra, a identificação do corpo de prova, sua profundidade, a densidade, a velocidade de propagação das ondas compressivas, o módulo de Young dinâmico, a tensão axial nas duas fases quando aplicadas, a tensão de confinamento e a taxa de deformação para a fluência estacionária para as fases.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CIMA / SEÇÃO DE OBRAS CIVIS / LMR											
ENSAIO DE FLUÊNCIA EM ROCHA SALINA											
AMOSTRA *		CORPO DE PROVA					Ensaio				
Litotipo	Nº	Profundidade		Densidade	V <sub>p</sub> (a)	Módulo Dinâmico **	Tensão Axial, σ <sub>1</sub>		Tensão Confin. σ <sub>3</sub>	Taxa de deformação	
		Topo	Base				Fase 1	Fase 2		Fase 1	Fase 2
		(m)	(m)	(kg/m³)	(m/s)	(GPa)			(MPa)		
		sal-gema cinza homogêneo	3360	1030,50	1030,68	2145	3025	19,2	40,0	37,0	20,0
sal-gema cinza homogêneo	3361	1098,95	1099,13	2141	3075	19,9	37,0	34,0	20,0	9,51E-05	1,35E-05
sal-gema amar. acinz. mosq.	3362	939,16	939,46	2153	4362	40,2	32,0	30,0	20,0	nihil	nihil
sal-gema amar. acinz. mosq.	3363	984,30	984,58	2150	3207	21,7	32,0	nihil	20,0	9,16E-06	nihil
sal-gema bandas altern diferentes cores	3364	1046,45	1046,75	2157	4365	40,3	37,0	34,0	20,0	nihil	nihil
sal-gema bandas altern diferentes cores	3365	1072,74	1073,03	2159	3646	28,2	37,0	nihil	20,0	5,28E-05	nihil

\* Conforme informações do Cliente;

(a) V<sub>p</sub> = velocidade de propagação das ondas compressivas no sentido longitudinal (em m/s).

\*\* Valores obtidos na expressão:

$$E_d = \rho \cdot v_p^2$$

onde:  $\rho$  = densidade em kg/m³ e V velocidade das ondas p.

nihil : valores não obtidos



Os corpos de prova 3362 e 3364, ainda durante a fase 1, sofreram rupturas no interior da célula triaxial não sendo portanto caracterizada a fluência estacionária em nenhuma fase. Os corpos de prova 3363 e 3365 foram encerrados antes de se alcançar a estabilidade para a fase 2. No entanto durante a fase 1 foi possível obter-se a taxa de fluência estacionária.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Observa-se que os parâmetros obtidos na escala de laboratório constituem-se em aproximações do comportamento real. A existência de descontinuidades, tanto na escala microscópica (microfissuras) como macroscópica, bem como de heterogeneidades locais, pode ter como consequência variações no comportamento e no valor das propriedades mecânicas do material ensaiado, influenciando na forma de propagação durante o processo e no modo final de ruptura do material rochoso.

Os resultados apresentados neste Relatório têm validade apenas para as amostras e corpos de prova ensaiados, não sendo da responsabilidade do IPT quaisquer tipos de extrapolação desses resultados para aplicação em outros tipos de amostras ou em trabalhos de campo.

São Paulo, 29 de março de 2022.

CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE  
Seção de Obras Cívicas  
Eng. Civil Diego Lapolli Bressan  
**Assinado Digitalmente**  
Gerente Técnico  
CREA 170028342-1 – RE 08733

CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE  
Sofia Julia Alves Macedo Campos, Ma  
**Assinado Digitalmente**  
Diretora Técnica em exercício  
CREASP Nº 05060946440 – RE 8450

## **EQUIPE TÉCNICA**

### **CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE**

#### **Seção de Obras Civas**

Diego Lapoli Bressan – Engenheiro Civil – Gerente Técnico

Lúcio Flávio Maia Coelho – Engenheiro de Minas - Pesquisador

Luiz Carlos Agostini - Técnico

Thiago Souza e Silva – Engenheiro Civil - Técnico

Fabio Henrique Nogueira Belo – Técnico

João Pedro Silva Pereira – Geólogo – Pesquisador (FIPT)

#### **Apoio Administrativo**

Silmara Frari Landim – Técnica Administrativa

Ludmila Souto Lima Parisi – Secretária (FIPT)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3967-16**: Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens. [S. L.]: Astm, 2016. 5 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5607-16**: Standard Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens Under Constant Normal Force. [S. L.]: Astm, 2016. 9 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D7012-14E01**: Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures. [S. L.]: Astm, 2014. 9 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D7070-16**: Standard Test Methods for Creep of Rock Core Under Constant Stress and Temperature [S. L.]: Astm, 2016. 7 p.

FRANKLIN, J.A. Franklin; HOEK, E. Developments in triaxial testing technique, **Rock Mechanics and Engineering Geology**. v. 2.4, p. 223-228, 1970.

ULUSAY, R. (ed). The ISRM Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 2007–2014. **ISRM**, 293 p., Cham (Switzerland), Springer. 2015.

ULUSAY, R; HUDSON, J. A. (eds). The complete ISRM Suggested Methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. **ISRM**, 628 p., Ankara, ISRM Turkish National Group. 628p. 2007.

**ANEXO A**  
**ENSAIOS LABORATÓRIO DE MECÂNICA DE ROCHAS –**  
**TABELAS, DIAGRAMAS E FOTOS**

## SUMÁRIO

P.

1	AMOSTRAS E ENSAIOS REALIZADOS .....	64
2	DIAGRAMAS TENSÃO X DEFORMAÇÃO .....	72
2.1.	Compressão Uniaxial .....	72
2.1.1.	CORPO DE PROVA 3372 .....	72
2.1.2.	CORPO DE PROVA 3373 .....	73
2.1.3.	CORPO DE PROVA 3374 .....	73
2.1.4.	CORPO DE PROVA 3375 .....	74
2.1.5.	CORPO DE PROVA 3376 .....	74
2.1.6.	CORPO DE PROVA 3377 .....	75
2.1.7.	CORPO DE PROVA 3378 .....	75
2.1.8.	CORPO DE PROVA 3379 .....	76
2.1.9.	CORPO DE PROVA 3380 .....	76
2.1.10.	CORPO DE PROVA 3381 .....	77
2.1.11.	CORPO DE PROVA 3382 .....	77
2.1.12.	CORPO DE PROVA 3383 .....	78
2.1.13.	CORPO DE PROVA 3384 .....	78
2.1.14.	CORPO DE PROVA 3385 .....	79
2.1.15.	CORPO DE PROVA 3386 .....	79
2.1.16.	CORPO DE PROVA 3387 .....	80
2.1.17.	CORPO DE PROVA 3388 .....	80
2.1.18.	CORPO DE PROVA 3389 .....	81

2.1.19.	CORPO DE PROVA 3390 .....	81
2.1.20.	CORPO DE PROVA 3391 .....	82
2.1.21.	CORPO DE PROVA 3392 .....	82
2.1.22.	CORPO DE PROVA 3393 .....	83
2.1.23.	CORPO DE PROVA 3394 .....	83
2.1.24.	CORPO DE PROVA 3395 .....	84
2.1.25.	CORPO DE PROVA 3396 .....	84
2.1.26.	CORPO DE PROVA 3397 .....	85
2.1.27.	CORPO DE PROVA 3398 .....	85
2.1.28.	CORPO DE PROVA 3399 .....	86
2.1.29.	CORPO DE PROVA 3400 .....	86
2.1.30.	CORPO DE PROVA 3401 .....	87
2.1.31.	CORPO DE PROVA 3402 .....	87
2.1.32.	CORPO DE PROVA 3403 .....	88
2.1.33.	CORPO DE PROVA 3404 .....	88
2.1.34.	CORPO DE PROVA 3405 .....	89
2.1.35.	CORPO DE PROVA 3406 .....	89
2.1.36.	CORPO DE PROVA 3407 .....	90
2.1.37.	CORPO DE PROVA 3411 .....	90
2.1.38.	CORPO DE PROVA 3412 .....	91
2.1.39.	CORPO DE PROVA 3413 .....	91
2.1.40.	CORPO DE PROVA 3417 .....	92
2.1.41.	CORPO DE PROVA 3418 .....	92
2.1.42.	CORPO DE PROVA 3420 .....	93
2.1.43.	CORPO DE PROVA 3423 .....	93

2.1.44.	CORPO DE PROVA 3426 .....	94
2.1.45.	CORPO DE PROVA 3427 .....	94
2.1.46.	CORPO DE PROVA 3428 .....	95
2.1.47.	CORPO DE PROVA 3429 .....	95
2.1.48.	CORPO DE PROVA 3430 .....	96
2.1.49.	CORPO DE PROVA 3431 .....	96
2.1.50.	CORPO DE PROVA 3433 .....	97
2.1.51.	CORPO DE PROVA 3437 .....	97
2.2.	Compressão Triaxial .....	98
2.2.1.	CORPO DE PROVA 3408 .....	98
2.2.2.	CORPO DE PROVA 3409 .....	98
2.2.3.	CORPO DE PROVA 3410 .....	99
2.2.4.	CORPO DE PROVA 3419 .....	99
2.2.5.	CORPO DE PROVA 3421 .....	100
2.2.6.	CORPO DE PROVA 3422 .....	100
2.2.7.	CORPO DE PROVA 3432 .....	101
2.2.8.	CORPO DE PROVA 3448 .....	101
2.2.9.	CORPO DE PROVA 3449 .....	102
2.2.10.	CORPO DE PROVA 3438 .....	102
2.2.11.	CORPO DE PROVA 3439 .....	103
2.2.12.	CORPO DE PROVA 3440 .....	103
2.2.13.	CORPO DE PROVA 3441 .....	104
2.2.14.	CORPO DE PROVA 3443 .....	104
2.2.15.	CORPO DE PROVA 3444 .....	105
2.2.16.	CORPO DE PROVA 3445 .....	105



2.2.17.	CORPO DE PROVA 3446 .....	106
2.3.	Cisalhamento Direto .....	107
2.3.1.	CORPO DE PROVA 3452 .....	107
2.3.2.	CORPO DE PROVA 3453 .....	108
2.3.3.	CORPO DE PROVA 3454 .....	109
2.3.4.	CORPO DE PROVA 3455 .....	111
2.3.5.	CORPO DE PROVA 3457 .....	112
2.3.6.	CORPO DE PROVA 3458 .....	114
2.3.7.	CORPO DE PROVA 3459 .....	115
2.3.8.	CORPO DE PROVA 3460 .....	117
2.4.	Fluência Triaxial com Temperatura.....	119
2.4.1.	CORPO DE PROVA 3360 .....	119
2.4.2.	CORPO DE PROVA 3361 .....	121
2.4.3.	CORPO DE PROVA 3362 .....	122
2.4.4.	CORPO DE PROVA 3363 .....	123
2.4.5.	CORPO DE PROVA 3364 .....	124
2.4.6.	CORPO DE PROVA 3365 .....	124
3	DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA DOS CORPOS DE PROVA.....	126
3.1.	Compressão Uniaxial .....	126
3.1.1.	CORPO DE PROVA 3372 .....	126
3.1.2.	CORPO DE PROVA 3373 .....	127
3.1.3.	CORPO DE PROVA 3374 .....	127
3.1.4.	CORPO DE PROVA 3375 .....	128
3.1.5.	CORPO DE PROVA 3376 .....	128
3.1.6.	CORPO DE PROVA 3377 .....	129

3.1.7.	CORPO DE PROVA 3378 .....	129
3.1.8.	CORPO DE PROVA 3379 .....	130
3.1.9.	CORPO DE PROVA 3380 .....	130
3.1.10.	CORPO DE PROVA 3381 .....	131
3.1.11.	CORPO DE PROVA 3382 .....	131
3.1.12.	CORPO DE PROVA 3383 .....	132
3.1.13.	CORPO DE PROVA 3384 .....	132
3.1.14.	CORPO DE PROVA 3385 .....	133
3.1.15.	CORPO DE PROVA 3386 .....	133
3.1.16.	CORPO DE PROVA 3387 .....	134
3.1.17.	CORPO DE PROVA 3388 .....	134
3.1.18.	CORPO DE PROVA 3389 .....	135
3.1.19.	CORPO DE PROVA 3390 .....	135
3.1.20.	CORPO DE PROVA 3391 .....	136
3.1.21.	CORPO DE PROVA 3392 .....	136
3.1.22.	CORPO DE PROVA 3393 .....	137
3.1.23.	CORPO DE PROVA 3394 .....	137
3.1.24.	CORPO DE PROVA 3395 .....	138
3.1.25.	CORPO DE PROVA 3396 .....	138
3.1.26.	CORPO DE PROVA 3397 .....	139
3.1.27.	CORPO DE PROVA 3398 .....	139
3.1.28.	CORPO DE PROVA 3399 .....	140
3.1.29.	CORPO DE PROVA 3400 .....	140
3.1.30.	CORPO DE PROVA 3401 .....	141
3.1.31.	CORPO DE PROVA 3402 .....	141

3.1.32.	CORPO DE PROVA 3403 .....	142
3.1.33.	CORPO DE PROVA 3404 .....	142
3.1.34.	CORPO DE PROVA 3405 .....	143
3.1.35.	CORPO DE PROVA 3406 .....	143
3.1.36.	CORPO DE PROVA 3407 .....	144
3.1.37.	CORPO DE PROVA 3411 .....	144
3.1.38.	CORPO DE PROVA 3412 .....	145
3.1.39.	CORPO DE PROVA 3413 .....	145
3.1.40.	CORPO DE PROVA 3417 .....	146
3.1.41.	CORPO DE PROVA 3418 .....	146
3.1.42.	CORPO DE PROVA 3420 .....	147
3.1.43.	CORPO DE PROVA 3423 .....	147
3.1.44.	CORPO DE PROVA 3426 .....	148
3.1.45.	CORPO DE PROVA 3427 .....	148
3.1.46.	CORPO DE PROVA 3428 .....	149
3.1.47.	CORPO DE PROVA 3429 .....	149
3.1.48.	CORPO DE PROVA 3430 .....	150
3.1.49.	CORPO DE PROVA 3431 .....	150
3.1.50.	CORPO DE PROVA 3433 .....	151
3.1.51.	CORPO DE PROVA 3437 .....	151
3.2.	Compressão Triaxial .....	152
3.2.1.	CORPO DE PROVA 3408 .....	152
3.2.2.	CORPO DE PROVA 3409 .....	152
3.2.3.	CORPO DE PROVA 3410 .....	153
3.2.4.	CORPO DE PROVA 3419 .....	153

3.2.5.	CORPO DE PROVA 3421 .....	154
3.2.6.	CORPO DE PROVA 3422 .....	154
3.2.7.	CORPO DE PROVA 3432 .....	155
3.2.8.	CORPO DE PROVA 3438 .....	155
3.2.9.	CORPO DE PROVA 3439 .....	156
3.2.10.	CORPO DE PROVA 3440 .....	156
3.2.11.	CORPO DE PROVA 3441 .....	157
3.2.12.	CORPO DE PROVA 3442 .....	157
3.2.13.	CORPO DE PROVA 3443 .....	158
3.2.14.	CORPO DE PROVA 3444 .....	158
3.2.15.	CORPO DE PROVA 3445 .....	159
3.2.16.	CORPO DE PROVA 3446 .....	159
3.2.17.	CORPO DE PROVA 3448 .....	160
3.2.18.	CORPO DE PROVA 3449 .....	160
3.3.	Cisalhamento Direto .....	161
3.3.1.	CORPO DE PROVA 3452 .....	161
3.3.2.	CORPO DE PROVA 3453 .....	161
3.3.3.	CORPO DE PROVA 3454 .....	162
3.3.4.	CORPO DE PROVA 3455 .....	162
3.3.5.	CORPO DE PROVA 3457 .....	163
3.3.6.	CORPO DE PROVA 3458 .....	163
3.3.7.	CORPO DE PROVA 3459 .....	164
3.3.8.	CORPO DE PROVA 3460 .....	164
3.4.	Diametral (Tração Indireta) .....	165
3.4.1.	CORPO DE PROVA 3504 .....	165

3.4.2.	CORPO DE PROVA 3505 .....	165
3.4.3.	CORPO DE PROVA 3506 .....	166
3.4.4.	CORPO DE PROVA 3507 .....	166
3.4.5.	CORPO DE PROVA 3508 .....	167
3.4.6.	CORPO DE PROVA 3509 .....	167
3.4.7.	CORPO DE PROVA 3510 .....	168
3.4.8.	CORPO DE PROVA 3511 .....	168
3.4.9.	CORPO DE PROVA 3512 .....	169
3.4.10.	CORPO DE PROVA 3513 .....	169
3.4.11.	CORPO DE PROVA 3514 .....	170
3.4.12.	CORPO DE PROVA 3515 .....	170
3.4.13.	CORPO DE PROVA 3516 .....	171
3.4.14.	CORPO DE PROVA 3517 .....	171
3.4.15.	CORPO DE PROVA 3518 .....	172
3.4.16.	CORPO DE PROVA 3519 .....	172
3.4.17.	CORPO DE PROVA 3520 .....	173
3.4.18.	CORPO DE PROVA 3521 .....	173
3.4.19.	CORPO DE PROVA 3522 .....	174
3.4.20.	CORPO DE PROVA 3523 .....	174
3.4.21.	CORPO DE PROVA 3524 .....	175
3.4.22.	CORPO DE PROVA 3525 .....	175
3.4.23.	CORPO DE PROVA 3526 .....	176
3.4.24.	CORPO DE PROVA 3527 .....	176
3.4.25.	CORPO DE PROVA 3528 .....	177
3.4.26.	CORPO DE PROVA 3529 .....	177

3.4.27.	CORPO DE PROVA 3534 .....	178
3.4.28.	CORPO DE PROVA 3535 .....	178
3.4.29.	CORPO DE PROVA 3537 .....	179
3.4.30.	CORPO DE PROVA 3538 .....	179
3.4.31.	CORPO DE PROVA 3539 .....	180
3.4.32.	CORPO DE PROVA 3540 .....	180
3.4.33.	CORPO DE PROVA 3541 .....	181
3.4.34.	CORPO DE PROVA 3542 .....	181
3.4.35.	CORPO DE PROVA 3543 .....	182
3.4.36.	CORPO DE PROVA 3544 .....	182
3.4.37.	CORPO DE PROVA 3545 .....	183
3.4.38.	. CORPO DE PROVA 3546 .....	183
3.4.39.	CORPO DE PROVA 3547 .....	184
3.5.	Fluência Triaxial com Temperatura.....	185
3.5.1.	CORPO DE PROVA 3360 .....	185
3.5.2.	CORPO DE PROVA 3361 .....	185
3.5.3.	CORPO DE PROVA 3362 .....	186
3.5.4.	CORPO DE PROVA 3363 .....	186
3.5.5.	CORPO DE PROVA 3364 .....	187
3.5.6.	CORPO DE PROVA 3365 .....	187

## 1 AMOSTRAS E ENSAIOS REALIZADOS

Ensaio	Litotipo	Furo / Identificação	Nº Caixa	Nº Corpo Prova	Topo (m)	Base (m)
<b>Compressão Uniaxial</b>	sal homogêneo	HG – 020	1209	3372	1090,88	1091,18
	sal homogêneo	HG – 023	1218	3373	1098,89	1099,19
	sal homogêneo	HG – 027	1304	3374	1171,19	1171,49
	sal amarelo	YGM – 016	1046	3375	955,4	955,7
	sal amarelo	YGM – 017	1046	3376	955,7	956
	sal amarelo	YGM – 018	1046	3377	956	956,3
	sal banda altern.	AB – 014	1012	3378	921,96	922,26
	sal banda altern.	AB – 015	1012	3379	922,26	922,56
	sal banda altern.	AB – 027	1005	3380	917,04	917,34
	sal intercalado	SSI – 021	1214	3381	1095,17	1095,47
	sal intercalado	SSI – 027	1216	3382	1097,38	1097,68
	sal intercalado	SSI – 032	1313	3383	1178,55	1178,85
	halita impura	IGB – 013	1013	3384	922,6	922,9
	halita impura	IGB – 014	1013	3385	922,9	923,2
	halita impura	IGB – 015	1013	3386	923,2	923,5
	sal bandado	BG – 013	1165	3387	1054,5	1054,8
	sal bandado	BG – 017	1171	3388	1059,46	1059,76
	sal bandado	BG – 027	1212	3389	1093,77	1094,07
	folhelho	TMS – 010	878	3390	818,45	818,75

(continua)



(continuação)

Ensaio	Litotipo	Furo / Identificação	Nº Caixa	Nº Corpo Prova	Topo (m)	Base (m)
<b>Compressão Uniaxial</b>	folhelho	TMS – 031	902	3391	836,96	837,26
	folhelho	TMS – 110	979	3392	897,89	898,19
	folhelho	TMS – 009	878	3393	818,02	818,32
	folhelho Paripueira	SHL – 001	1280	3394	1151,54	1151,84
	folhelho Paripueira	SHL – 002	1281	3395	1152,32	1152,62
	folhelho Paripueira	SHL – 003	1106	3396	1005,59	1005,89
	folhelho Paripueira	SHL – 004	1106	3397	1005,87	1006,17
	folhelho Paripueira	SHL – 002 – A	1281	3398	1154,64	1154,94
	sal homogêneo	HG – 025	1304	3411	1171,19	1171,49
	sal homogêneo	HG – 026	1304	3412	1171,19	1171,49
	sal amarelo	YGM – 014	1026	3413	939,16	939,46
	sal amarelo	YGM – 024	1080	3417	980,7	981
	sal banda altern.	AB – 018	1041	3418	952,03	952,33
	sal banda altern.	AB – 026	1005	3420	917,04	917,34
	sal bandado	BG – 016	1171	3430	1059,46	1059,76
	sal bandado	BG – 028	1212	3431	1093,77	1094,07
	sal impuro	IGB – 017	1014	3433	924,14	924,44
	sal impuro	IGB – 030	1181	3437	1067,87	1068,17

(continua)

(continuação)

Ensaio	Litotipo	Furo / Identificação	Nº Caixa	Nº Corpo de Prova	Topo (m)	Base (m)
<b>Compressão Uniaxial</b>	sal intercalado	SSI – 015	1215	3423	1079,6	1079,9
	sal intercalado	SSI – 040	1338	3426	1198,26	1198,56
	arenito poção	PAR - 031-032	365	3399	400,5	400,8
	arenito poção	PAR – 086	637	3400	624,81	625,11
	arenito poção	PAR – 088	638	3401	625,9	626,2
	arenito poção	PAR – 087	637	3402	624,81	625,11
	arenito poção	PAR – 89	536	3403	626,34	626,64
	interc de arenito, siltito, argilito, carbonato e folhelho, poção	PI – 004	536	3404	548,31	548,61
	interc de arenito, siltito, argilito, carbonato e folhelho, poção	PI – 005	536	3405	548,31	548,61
	interc de arenito, siltito, argilito, carbonato e folhelho, poção	PI – 037	548	3406	558,88	559,18
	interc de arenito, siltito, argilito, carbonato e folhelho, poção	PI – 038	548	3407	558,88	559,18

(continua)

(continuação)

Ensaio	Litotipo	Furo / Identificação	Nº Caixa	Nº Corpo Prova	Topo (m)	Base (m)
<b>Compressão Uniaxial</b>	conglomerado Poção	PCGL – 064	674	3427	654,85	655,11
	conglomerado Poção	PCGL – 065	671	3428	655,25	655,64
	conglomerado Poção	PCGL - 061/062	673	3429	653,87	654,17
<b>Compressão Triaxial</b>	sal homogêneo	HG013	1137	3408	1030,15	1030,402
	sal homogêneo	HG015	1137	3409	1030,75	1031,002
	sal homogêneo	HG019	1209	3410	1090,6	1090,852
	sal banda altern.	AB024	1188	3419	1073,06	1073,313
	sal banda altern.	AB029	1117	3421	1013,95	1014,204
	sal banda altern.	AB030	1117	3422	1014,27	1014,523
	sal bandado	BG014	1165	3448	1054,22	1054,472
	sal bandado	BG015	1165	3449	1054,49	1054,744
	sal homogêneo	BG029	1249	3432	1124,73	1124,983
	arenito com fol. e calc.	TMS017	881	3438	820,3764	820,63
	folhelho com calcário	TMS069	922	3439	853,1266	853,38
	argil./fol. com aren. e calc.	TMS114	983	3440	900,37	900,6221
	arenito Poção	PAR 001-002	259	3441	375,67	375,92

(continua)

(continuação)

Ensaio	Litotipo	Furo / Identificação	Nº Caixa	Nº Corpo Prova	Topo (m)	Base (m)
<b>Compressão Triaxial</b>	arenito Poçoão	PAR 017-018	350	3442	388,86	389,11
	arenito Poçoão	PAR 043-044	396	3443	426,02	426,27
	arenito Poçoão	PAR 063-064	627	3444	617,59	617,84
	arenito Poçoão	PAR 091	641	3445	629,29	629,54
	arenito Poçoão	PAR 090	641	3446	628,99	629,24
<b>Cisalhamento Direto</b>	folhelho com intercalações finas de calcário	TMS - 050	912	3452	844,73	844,88
	folhelho com intercalações finas de calcário	TMS - 051	912	3453	879,46	879,57
	folhelho com intercalações finas de calcário	TMS - 100	979	3454	879,46	879,57
	folhelho com intercalações finas de calcário	TMS - 050	912	3455	844,57	844,72
	arenito com intercalações de folhelho e calcário	TMS - 016	881	3457	820,1	820,2

(continua)

(continuação)

Ensaio	Litotipo	Furo / Identificação	Nº Caixa	Nº Corpo Prova	Topo (m)	Base (m)
<b>Cisalhamento Direto</b>	arenito com intercalações de folhelho e calcário	TMS - 016	881	3458	820,21	820,31
	folhelho com intercalações finas de calcário	TMS - 068	922	3459	852,9	853,03
	argilito/folhelho com níveis de arenito e brechas de calcário	TMS - 113	983	3460	900,21	900,31
<b>Diametral (Tração Indireta)</b>	folhelho	TMS – 020	878	3504	823,04	823,09
	folhelho	TMS – 051	912	3505	845,03	845,08
	folhelho	TMS – 051	912	3506	845,11	845,16
	folhelho	TMS – 051	912	3507	845,18	845,23
	calcarenito	IBU – 010	334	3508	375,45	375,5
	calcarenito	IBU – 019	326	3509	368,44	368,49
	folhelho	TMS – 029	900	3510	834,66	834,71
	folhelho	TMS - 029 (2)	900	3511	834,73	834,78
	folhelho	TMS – 075	926	3512	856,48	856,53
	folhelho	TMS - 075 (2)	926	3513	856,55	856,6
	argilito	SHL – 004	1106	3514	1005,24	1005,29

(continua)

(continuação)

Ensaio	Litotipo	Furo / Identificação	Nº Caixa	Nº Corpo Prova	Topo (m)	Base (m)
<b>Diametral (Tração Indireta)</b>	argilito	SHL - 004 (2)	1106	3515	1005,49	1005,54
	argilito	SHL – 007	1293	3516	1161,2	1161,25
	argilito	SHL – 008	1321	3517	1184,74	1184,79
	argilito	SHL – 011	1310	3518	1176,34	1176,39
	argilito	SHL – 014	1311	3519	1177,31	1177,36
	arenito/Marituba	MAR – 011	62	3520	126,22	126,27
	arenito/Marituba	MAR - 011 (2)	62	3521	126,27	126,32
	arenito/Marituba	MAR – 018	76	3522	137,8	137,85
	arenito/Marituba	MAR – 034	71	3523	120,83	120,88
	arenito/Marituba	MAR – 036	334	3524	158,15	158,2
	argilito/Marituba	MAG – 012	200	3525	134,35	134,4
	argilito/Marituba	MAG – 013	83	3526	143,09	143,14
	argilito/Marituba	MAG - 012 (2)	200	3527	134,44	134,49
	arenito	MRT – 021	235	3528	284,25	284,3
	arenito	MRT – 023	235	3529	301,59	301,64
	Poção folhelho	PF – 006	344	3534	448,87	448,92
	Poção folhelho	PF - 006 (2)	344	3535	448,93	448,98
	Poção folhelho	PF – 029	227	3537	514,41	514,46
	Poção folhelho	PF – 036	550	3538	517,09	517,14
	Poção folhelho	PF - 036 (2)	550	3539	517,16	517,21
	Poção folhelho	PF – 042	508	3540	518,97	519,02

(continua)

(continuação)

Ensaio	Litotipo	Furo / Identificação	Nº Caixa	Nº Corpo Prova	Topo (m)	Base (m)
<b>Diametral (Tração Indireta)</b>	calcilutito/calcare nito	MOS – 006	200	3541	198,55	198,6
	calcilutito/calcare nito	MOS – 004	83	3542	197,93	197,98
	calcilutito/argila	MOS – 012	741	3543	218,55	218,6
	calcarenito	MOS – 015	185	3544	234,5	234,55
	calcarenito	MOS – 016	185	3545	234,73	234,78
	calcilutito/calcare nito	MOS – 019	738	3546	240,51	240,56
	calcilutito/calcare nito	MOS - 019 (2)	738	3547	240,57	240,62
<b>Fluência Triaxial com Temperatura</b>	sal-gema cinza homogêneo	HG 014	1137	3360	1030,495	1030,675
	sal-gema cinza homogêneo	HG 024	1218	3361	1098,95	1099,13
	sal-gema amar. acinz. mosq.	YGM 015	1026	3362	939,16	939,46
	sal-gema amar. acinz. mosq.	YGM 023	1080	3363	984,30	984,58
	sal-gema bandas altern. diferentes cores	AB 020	1156	3364	1046,45	1046,75
	sal-gema bandas altern. difer cores	AB 023	1026	3365	1072,74	1073,03



## 2 DIAGRAMAS TENSÃO X DEFORMAÇÃO

### 2.1. Compressão Uniaxial

#### 2.1.1. CORPO DE PROVA 3372

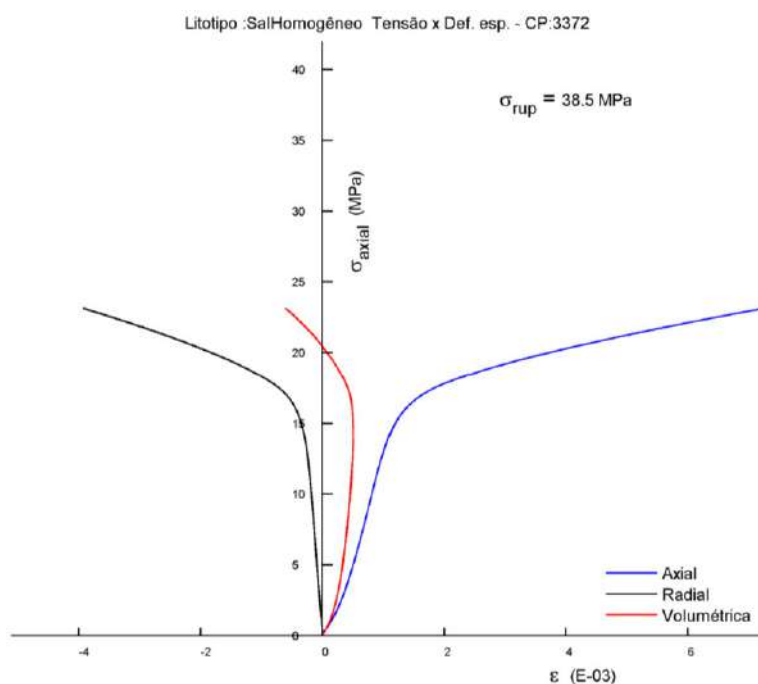


Diagrama no espaço tensão axial *versus* deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3372.

### 2.1.2. CORPO DE PROVA 3373

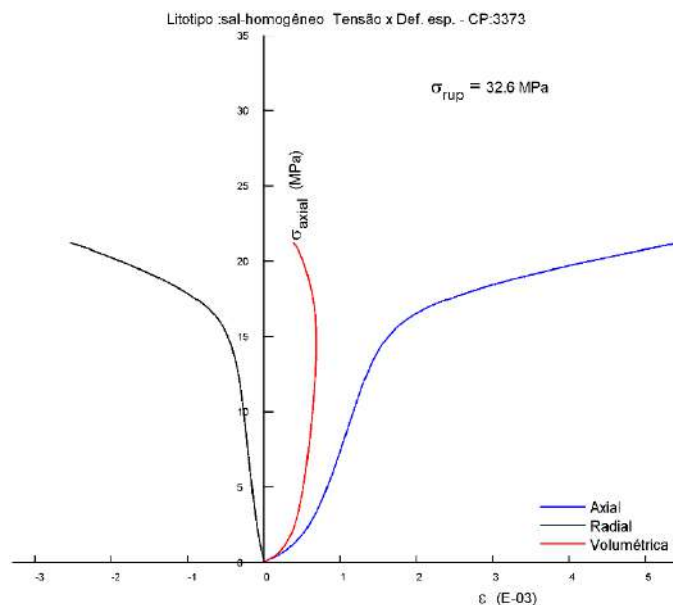


Diagrama no espaço tensão axial *versus* deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3373.

### 2.1.3. CORPO DE PROVA 3374

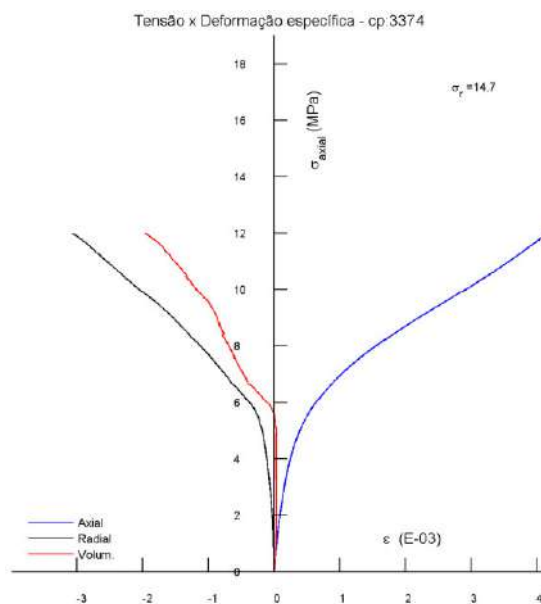


Diagrama no espaço tensão axial *versus* deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3374.

#### 2.1.4. CORPO DE PROVA 3375

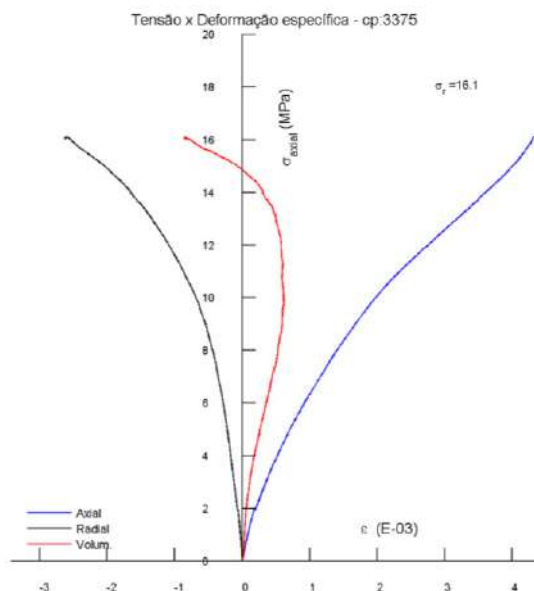


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3375.

#### 2.1.5. CORPO DE PROVA 3376

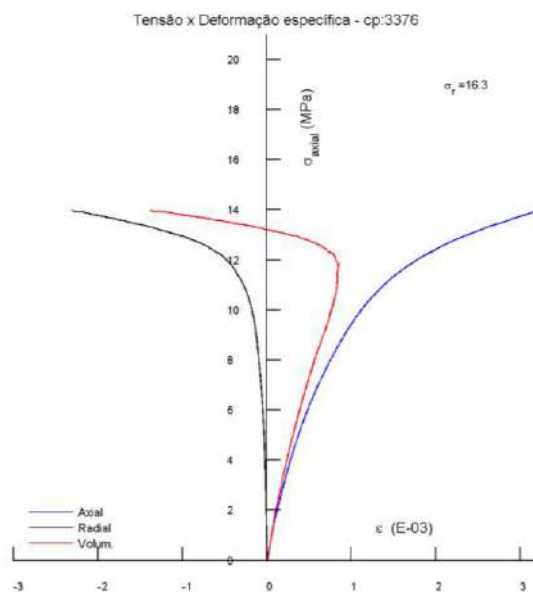


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3376.

### 2.1.6. CORPO DE PROVA 3377

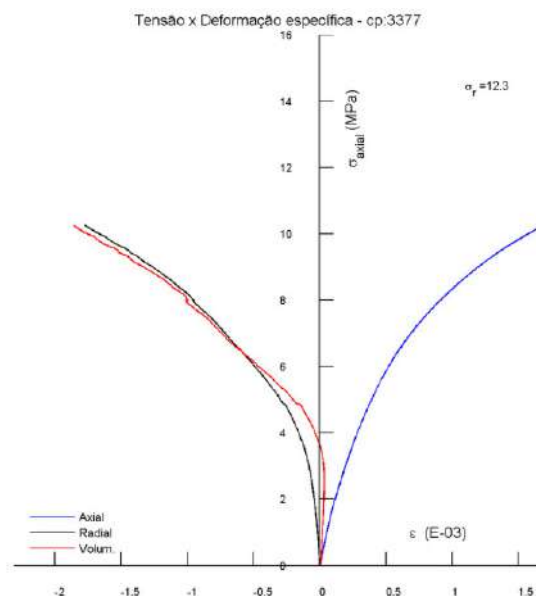


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3377.

### 2.1.7. CORPO DE PROVA 3378

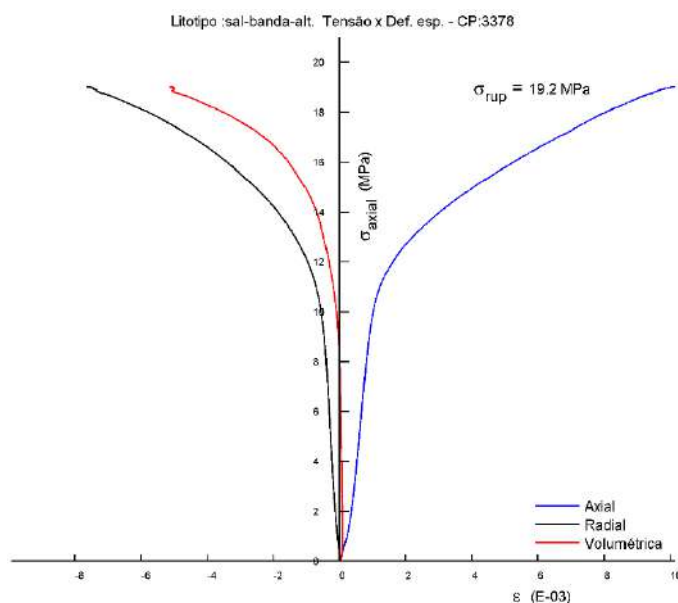


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3378

### 2.1.8. CORPO DE PROVA 3379

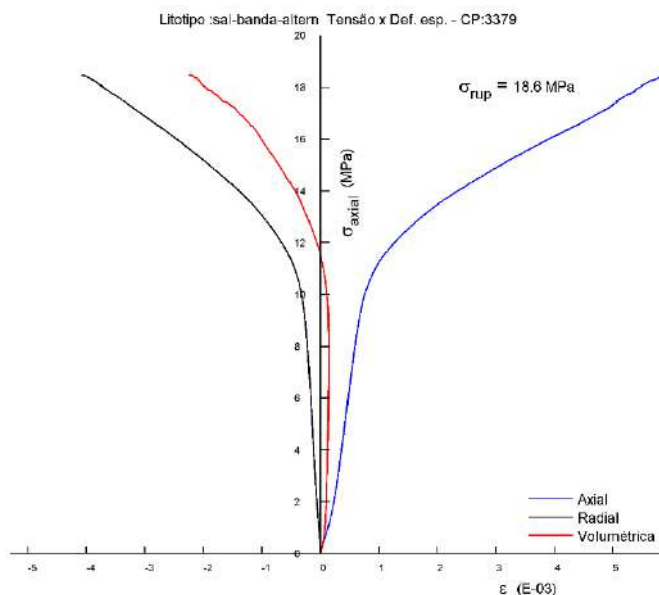


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3379.

### 2.1.9. CORPO DE PROVA 3380

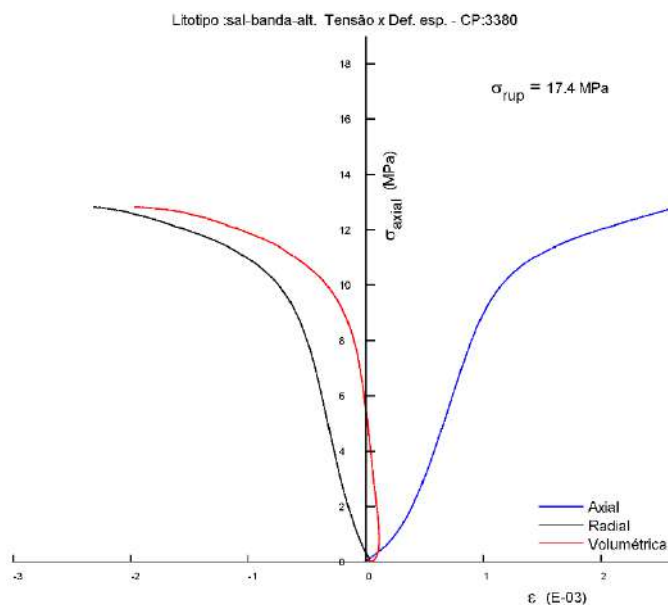


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3380.

### 2.1.10. CORPO DE PROVA 3381

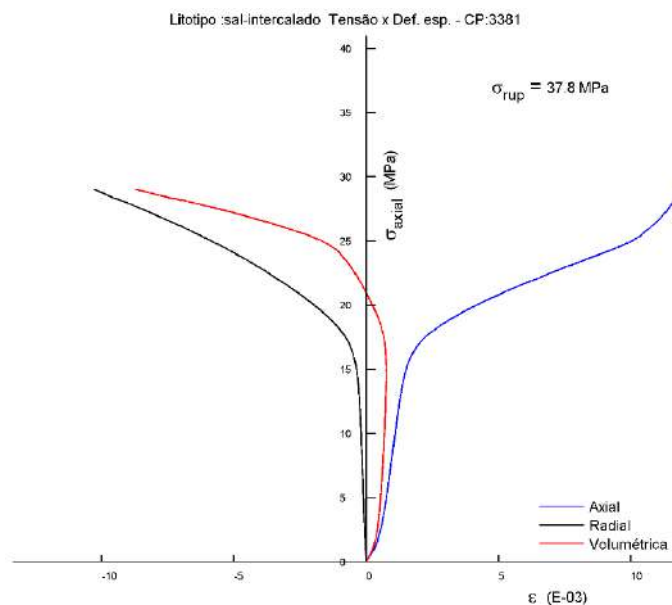


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3381.

### 2.1.11. CORPO DE PROVA 3382

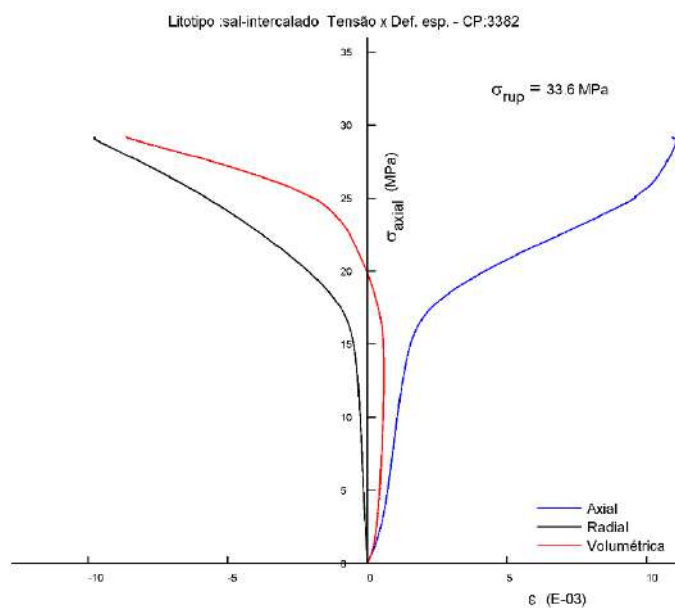


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3382.

### 2.1.12. CORPO DE PROVA 3383

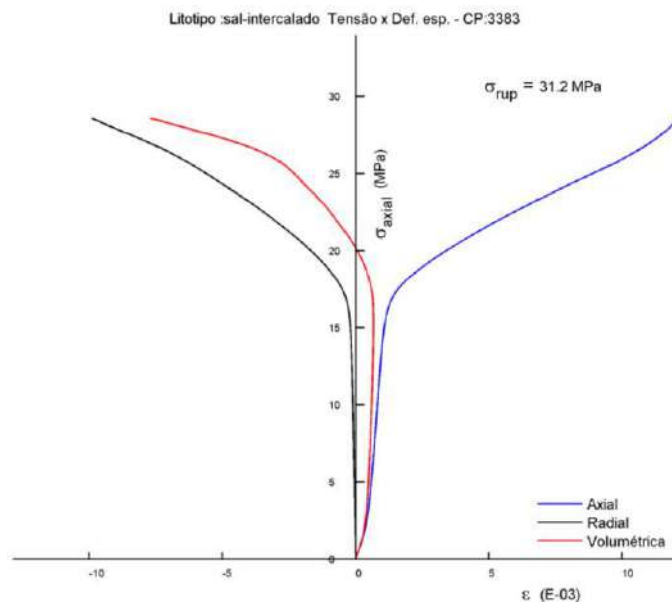


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3383.

### 2.1.13. CORPO DE PROVA 3384

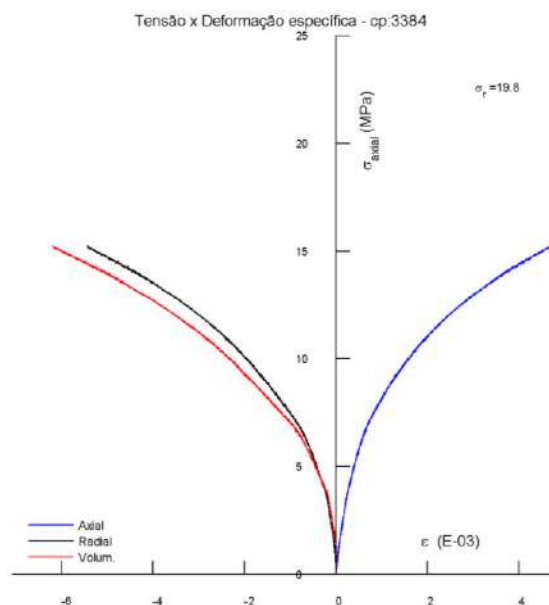


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3384.



## 2.1.14. CORPO DE PROVA 3385

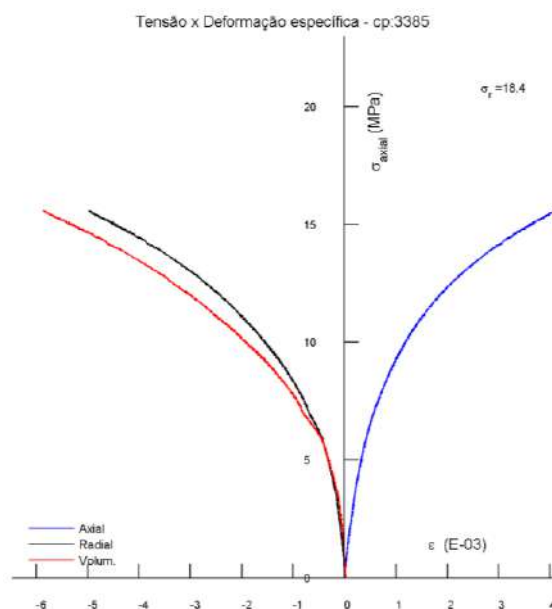


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3385.

## 2.1.15. CORPO DE PROVA 3386

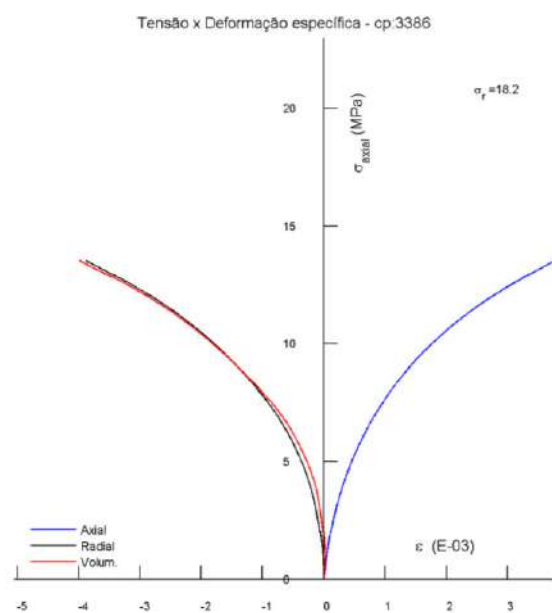


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3386.

## 2.1.16. CORPO DE PROVA 3387

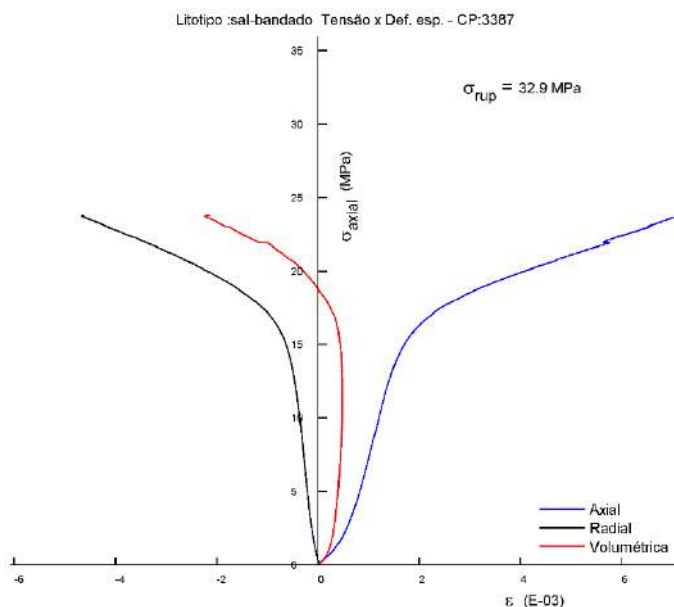


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3387.

## 2.1.17. CORPO DE PROVA 3388

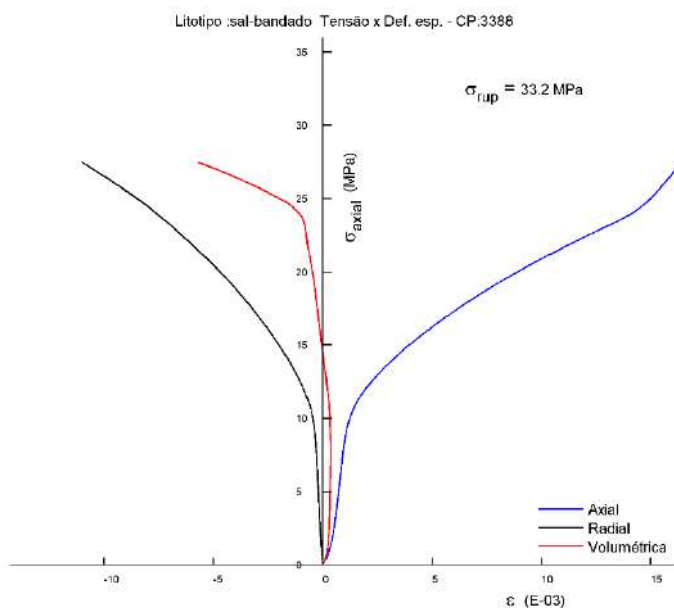


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3388.

### 2.1.18. CORPO DE PROVA 3389

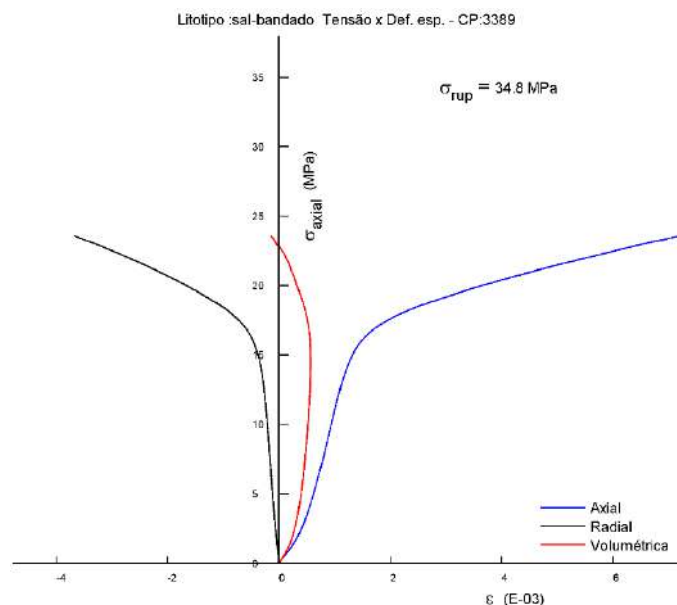


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3389.

### 2.1.19. CORPO DE PROVA 3390

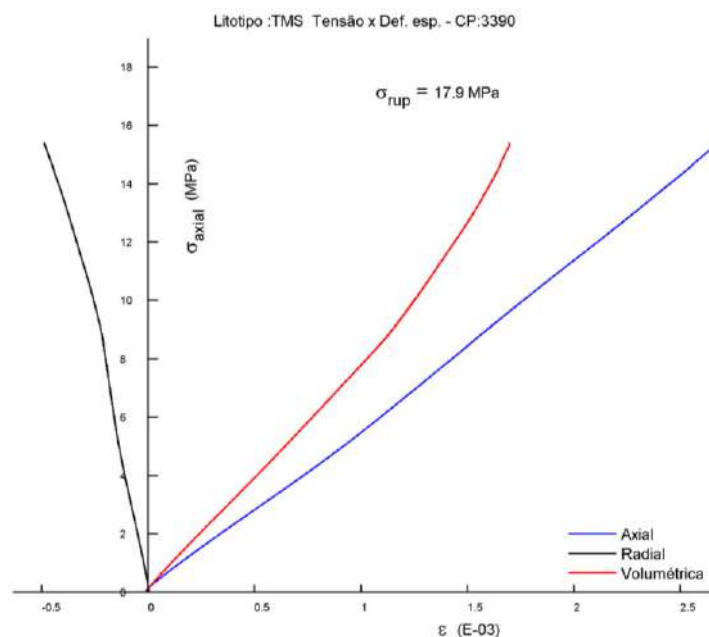


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3390.

## 2.1.20. CORPO DE PROVA 3391

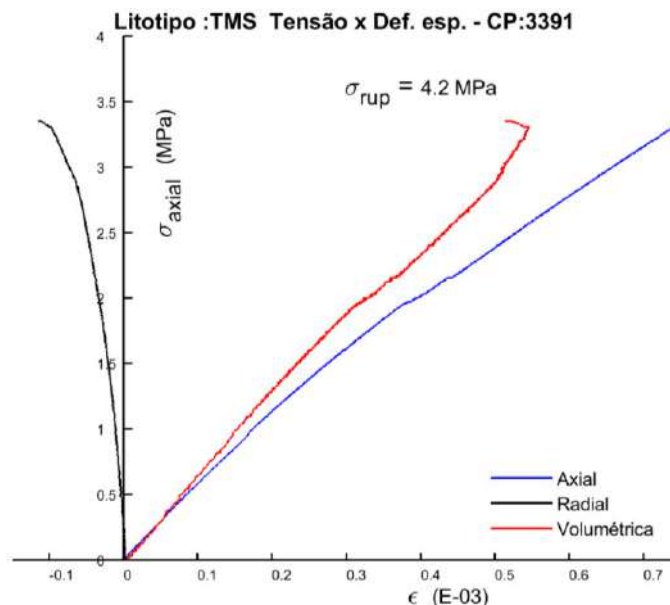


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3391.

## 2.1.21. CORPO DE PROVA 3392

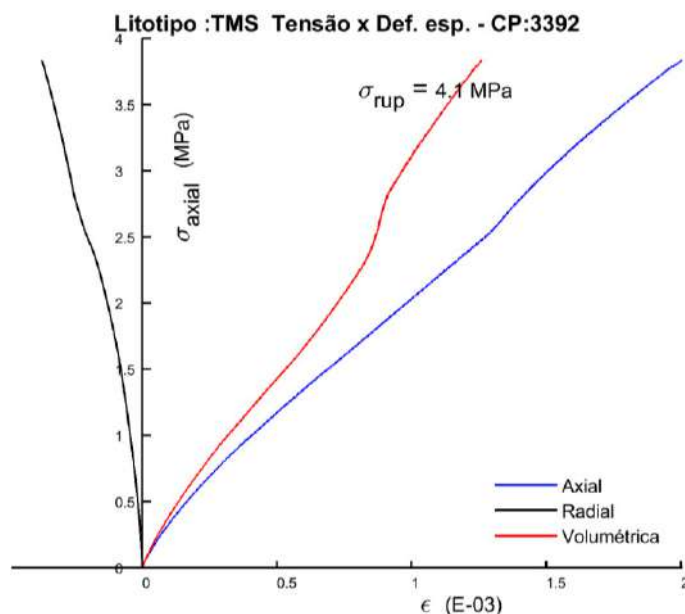


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3392.

## 2.1.22. CORPO DE PROVA 3393

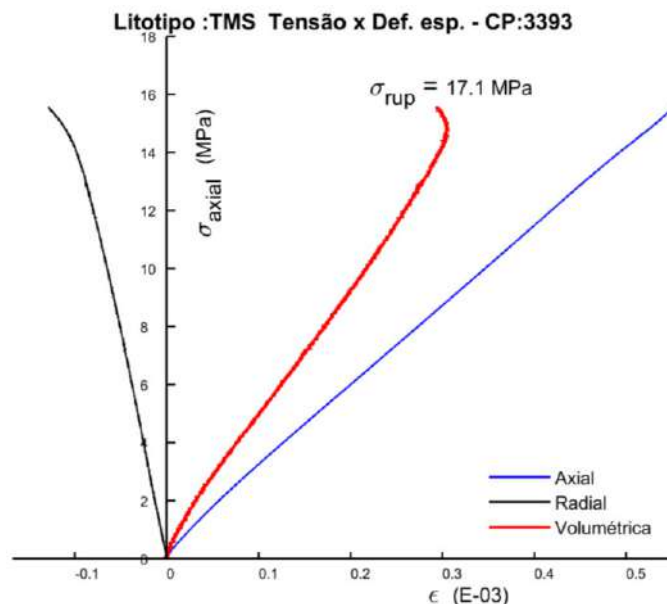


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3393.

## 2.1.23. CORPO DE PROVA 3394

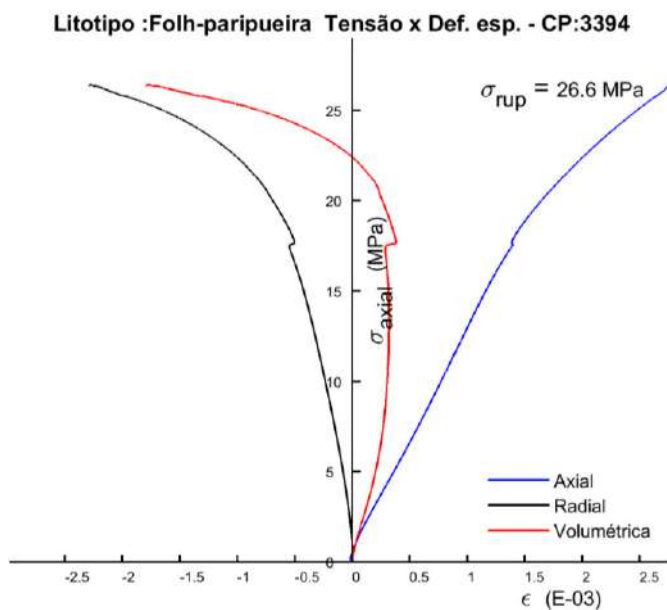


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3394.

## 2.1.24. CORPO DE PROVA 3395

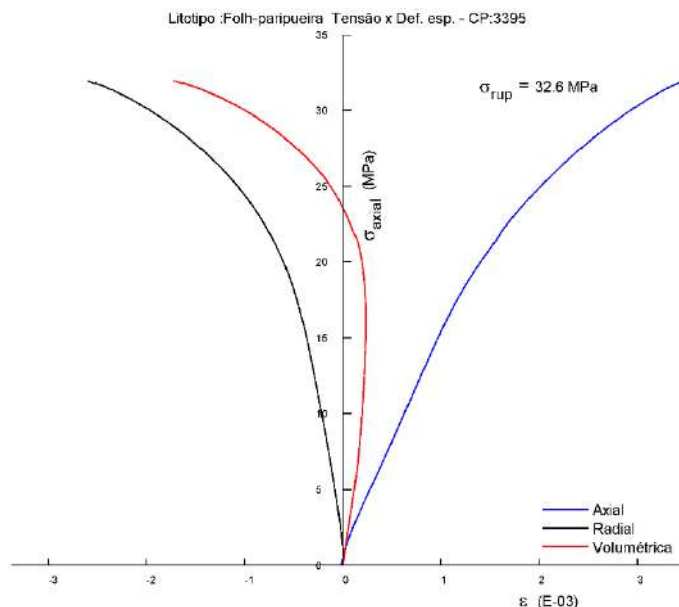


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3395.

## 2.1.25. CORPO DE PROVA 3396

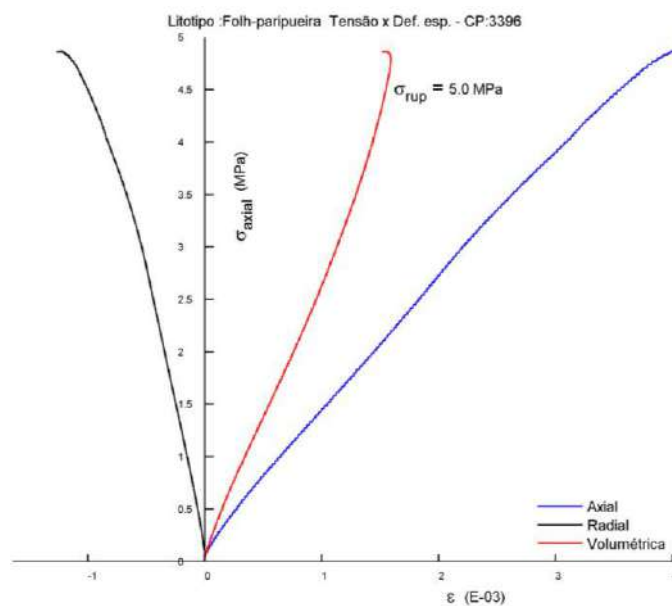


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3396.

## 2.1.26. CORPO DE PROVA 3397

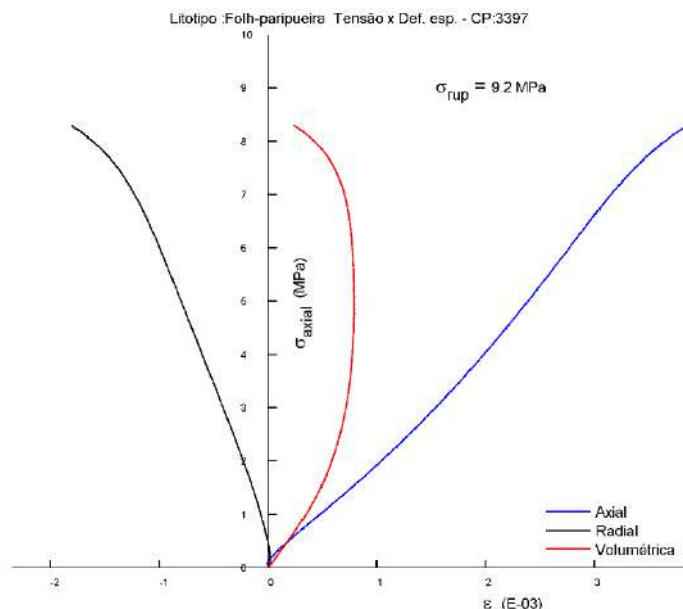


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3397.

## 2.1.27. CORPO DE PROVA 3398

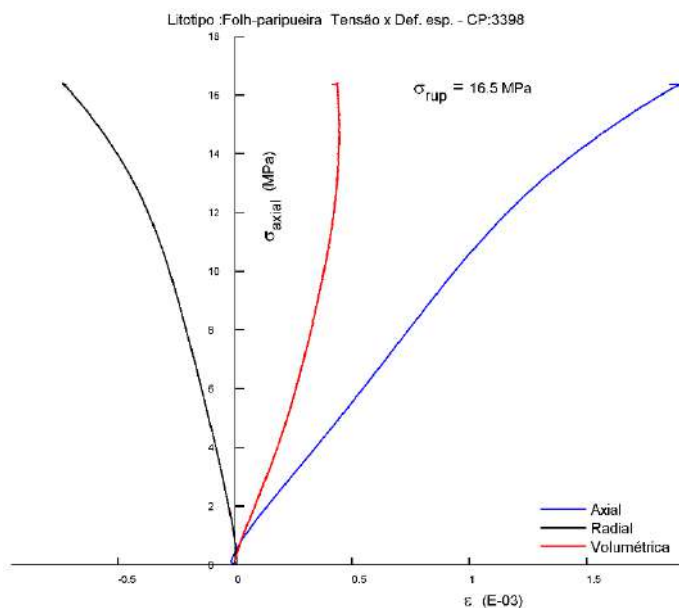


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3398.



## 2.1.28. CORPO DE PROVA 3399

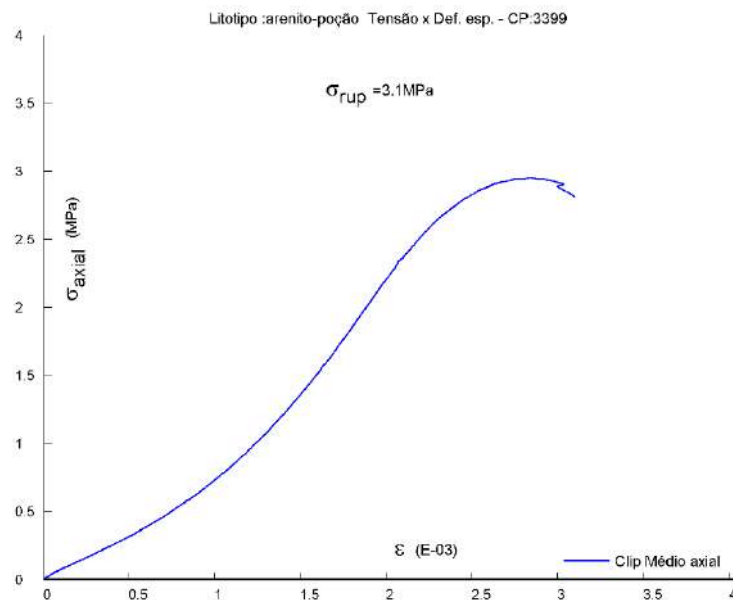


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3399.

## 2.1.29. CORPO DE PROVA 3400

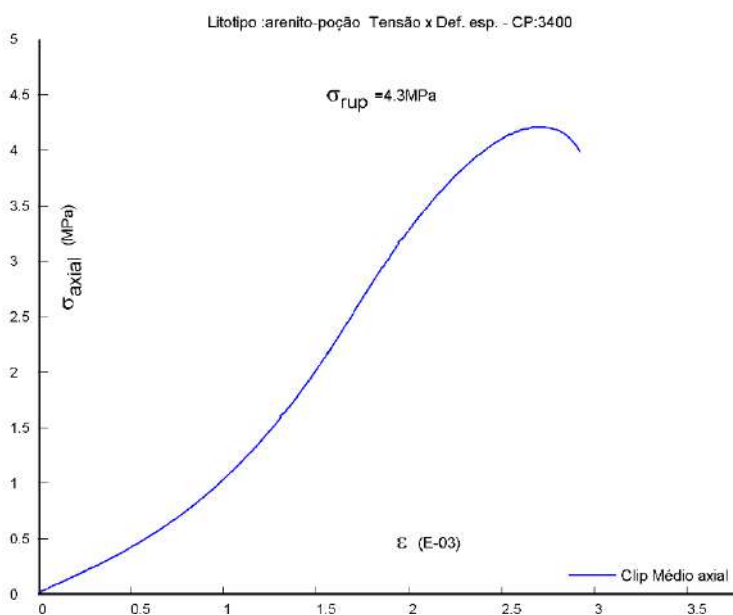


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3400.

### 2.1.30. CORPO DE PROVA 3401

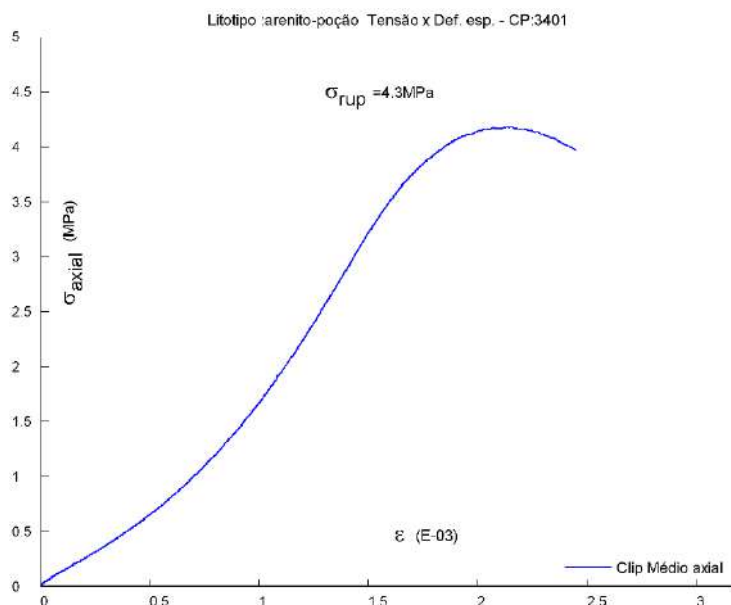


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3401.

### 2.1.31. CORPO DE PROVA 3402

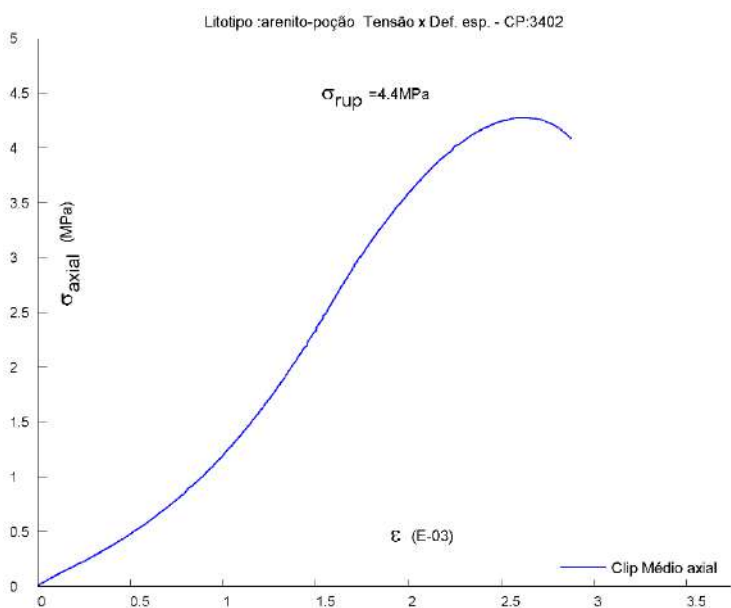


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3402.

### 2.1.32. CORPO DE PROVA 3403

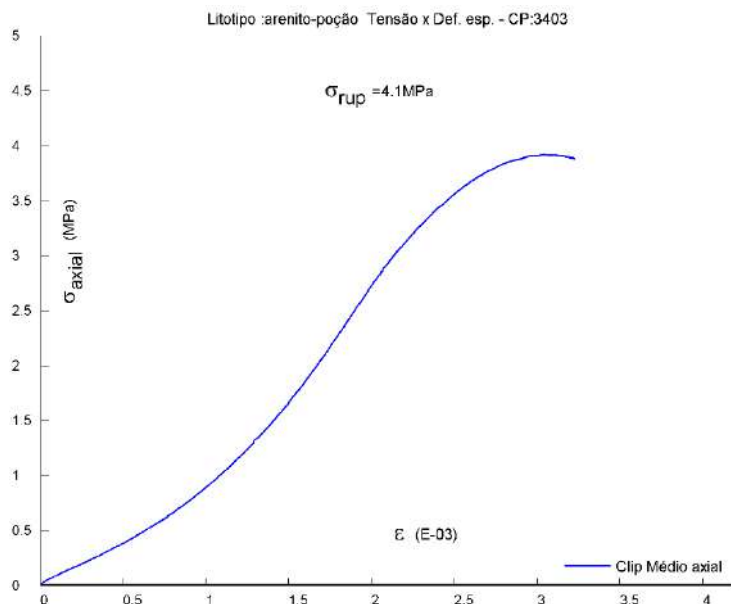


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3403.

### 2.1.33. CORPO DE PROVA 3404

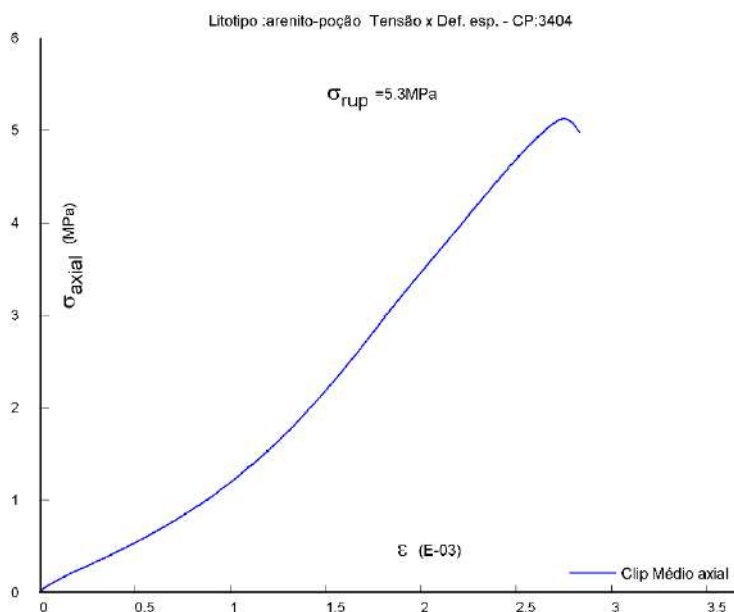


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3404.

### 2.1.34. CORPO DE PROVA 3405

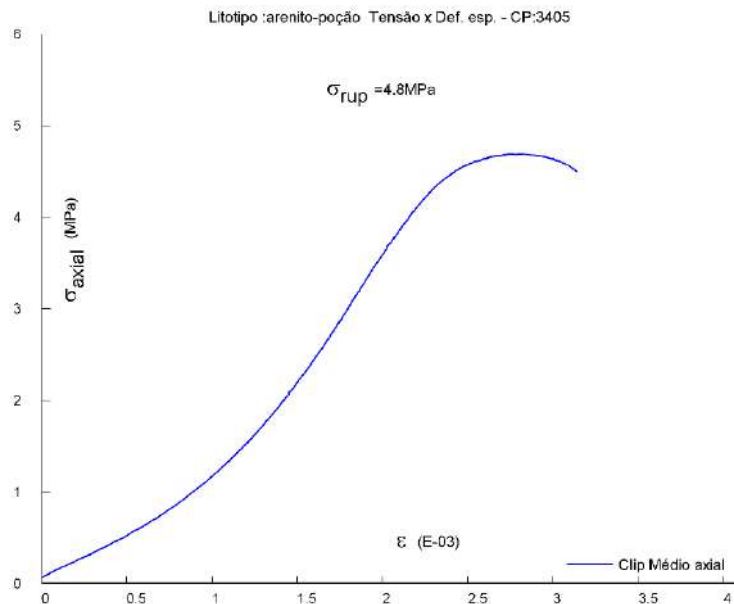


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3405.

### 2.1.35. CORPO DE PROVA 3406

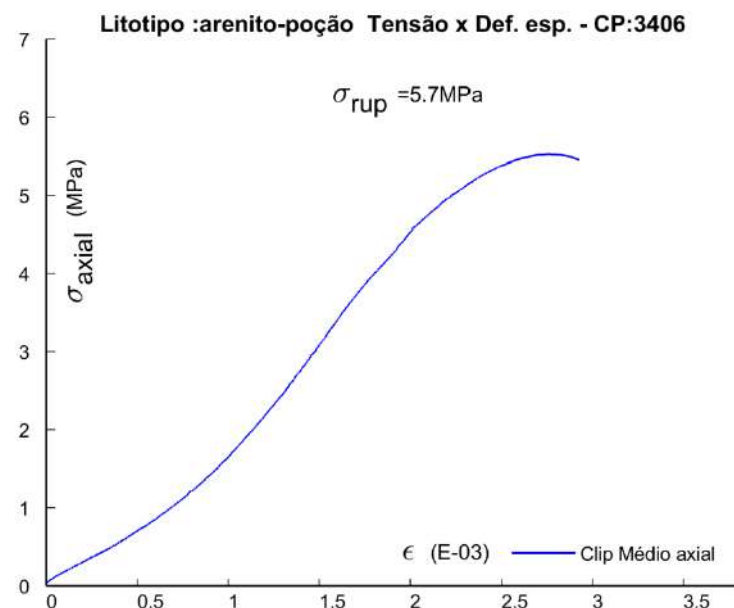


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3406.

### 2.1.36. CORPO DE PROVA 3407

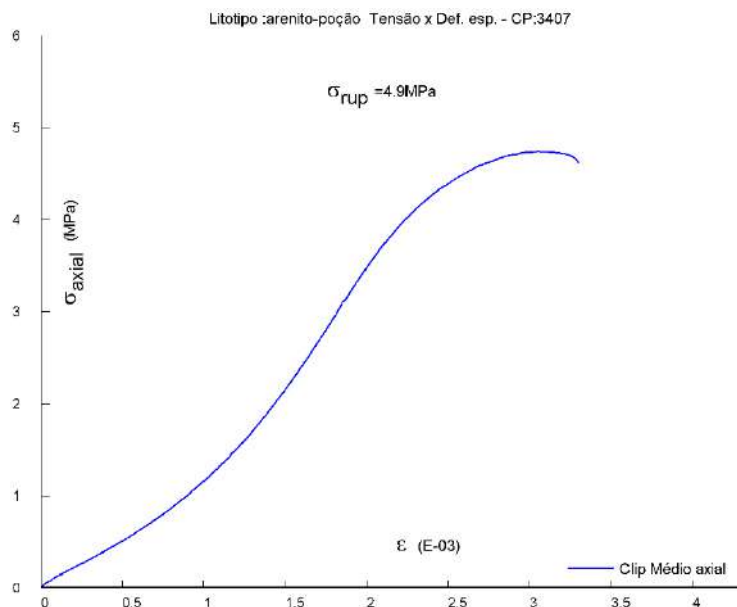


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3407.

### 2.1.37. CORPO DE PROVA 3411

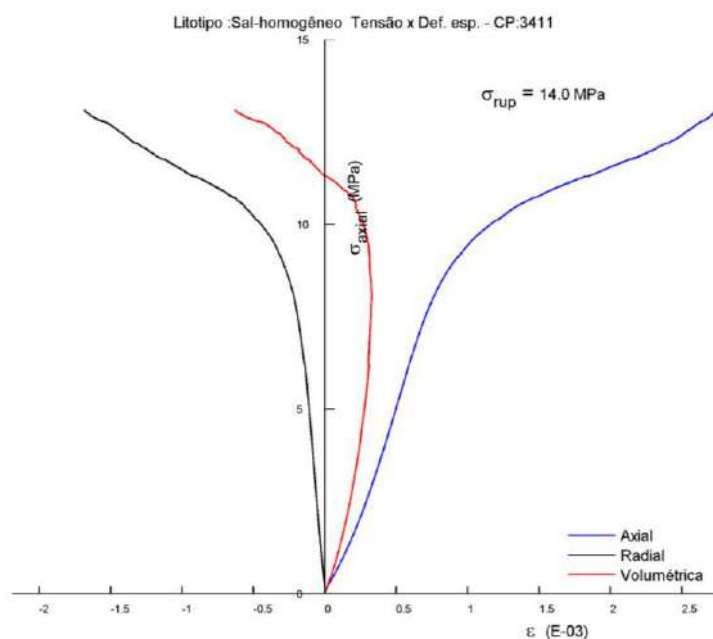


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3411.

### 2.1.38. CORPO DE PROVA 3412

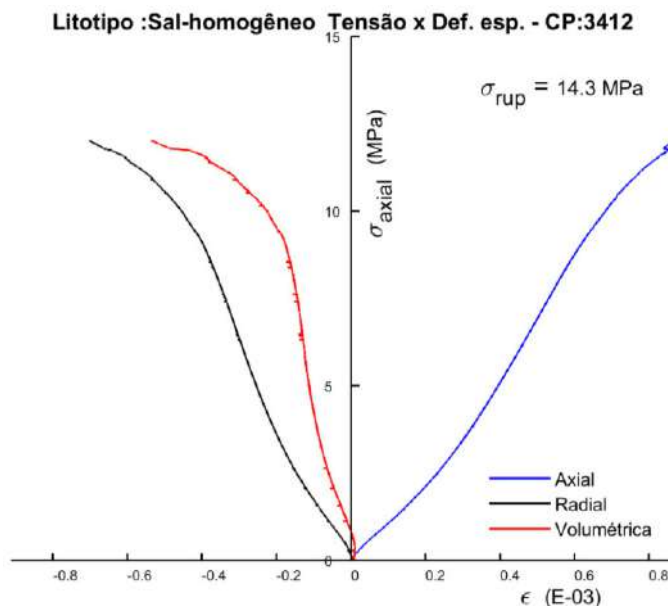


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3412.

### 2.1.39. CORPO DE PROVA 3413

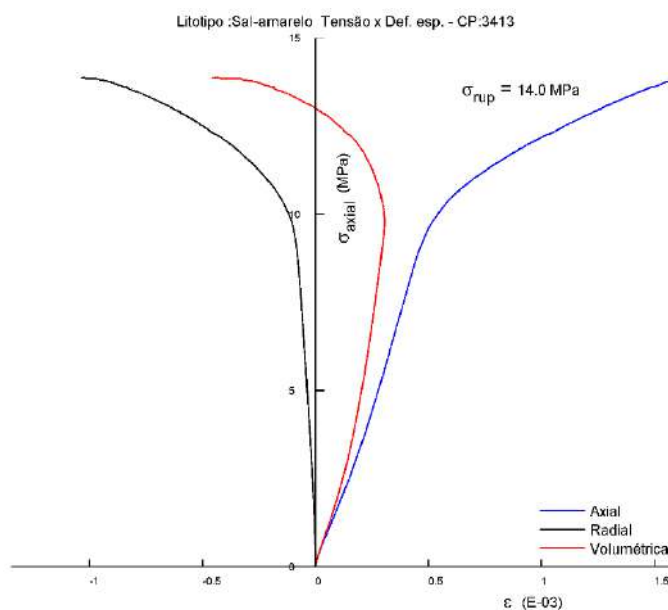


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3413.

## 2.1.40. CORPO DE PROVA 3417

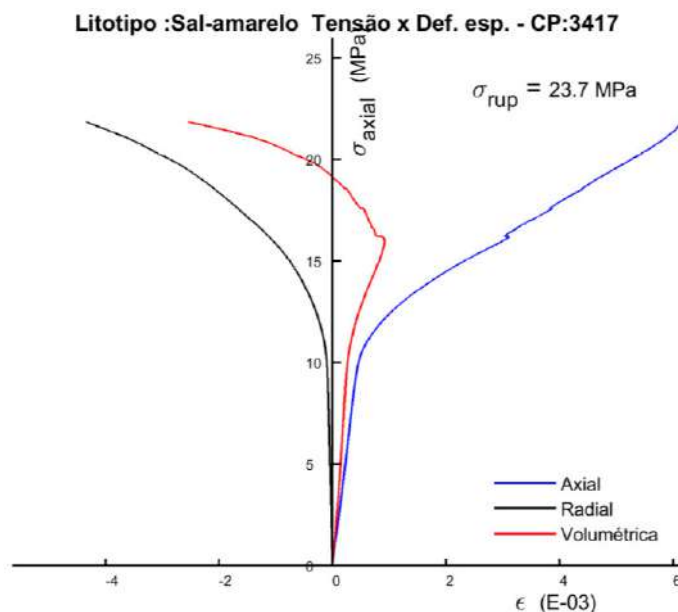


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3417.

## 2.1.41. CORPO DE PROVA 3418

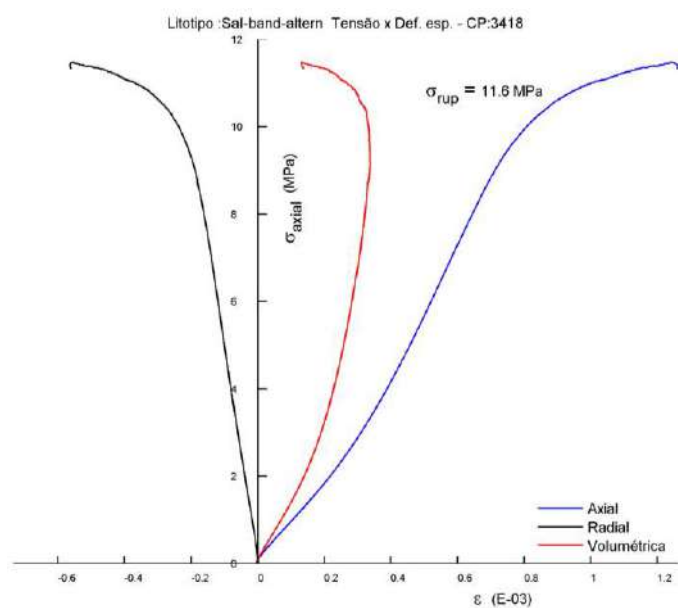


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3418.



## 2.1.42. CORPO DE PROVA 3420

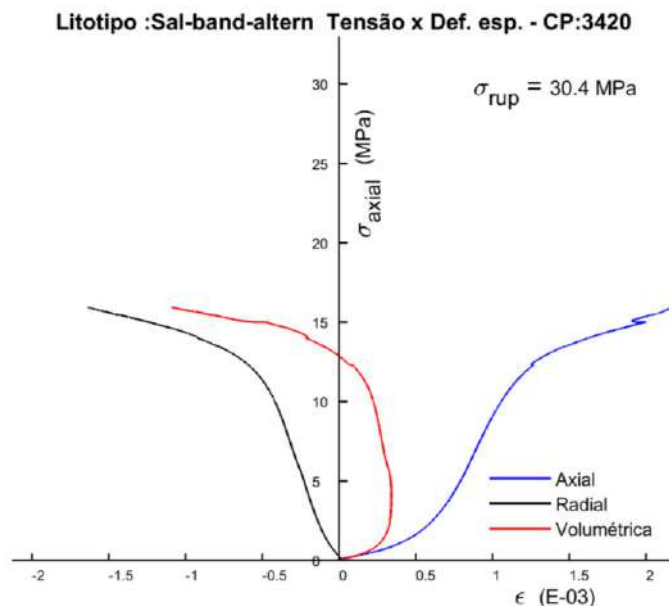


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3420.

## 2.1.43. CORPO DE PROVA 3423

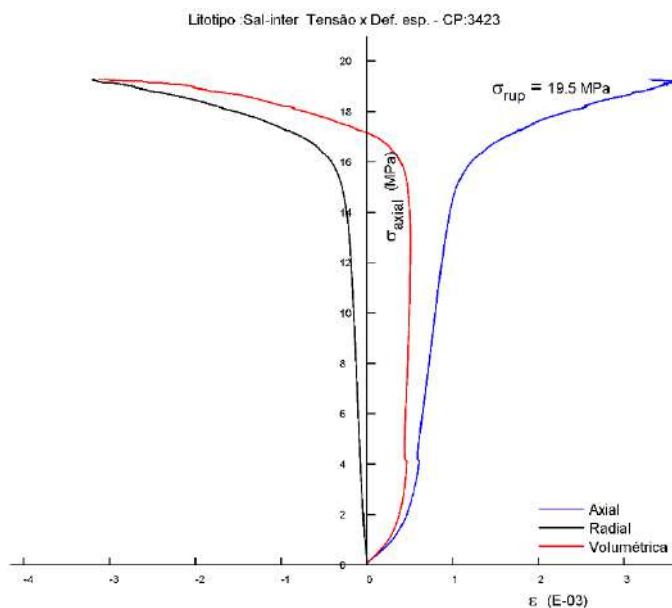


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3423.

## 2.1.44. CORPO DE PROVA 3426

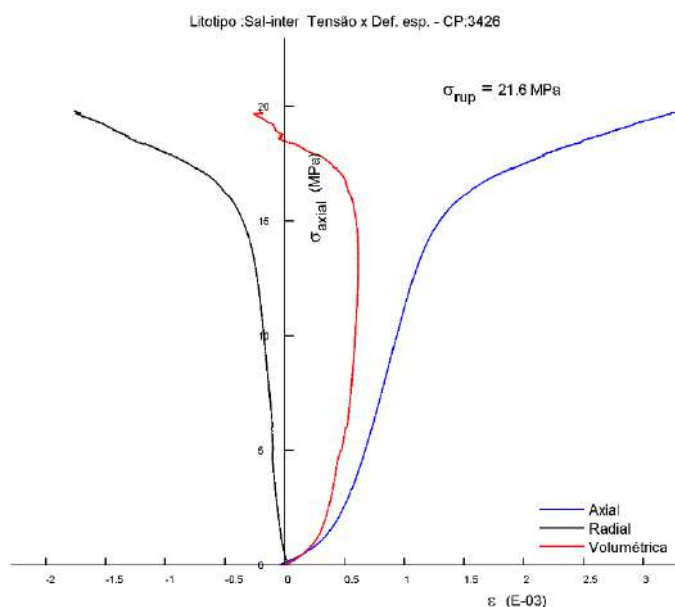


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3426.

## 2.1.45. CORPO DE PROVA 3427

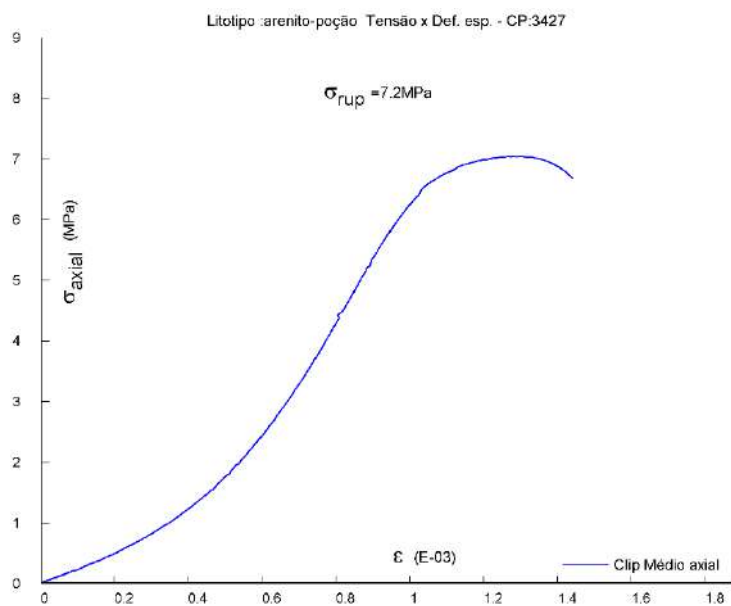


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3427.

## 2.1.46. CORPO DE PROVA 3428

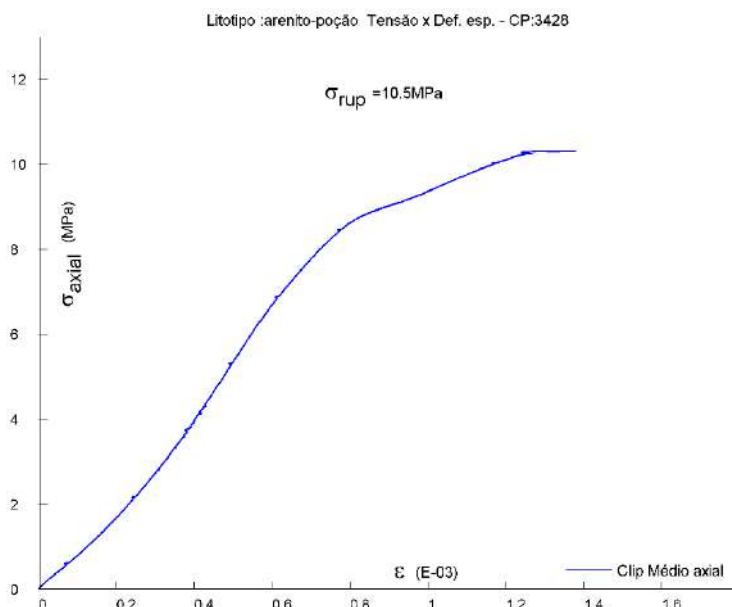


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3428.

## 2.1.47. CORPO DE PROVA 3429

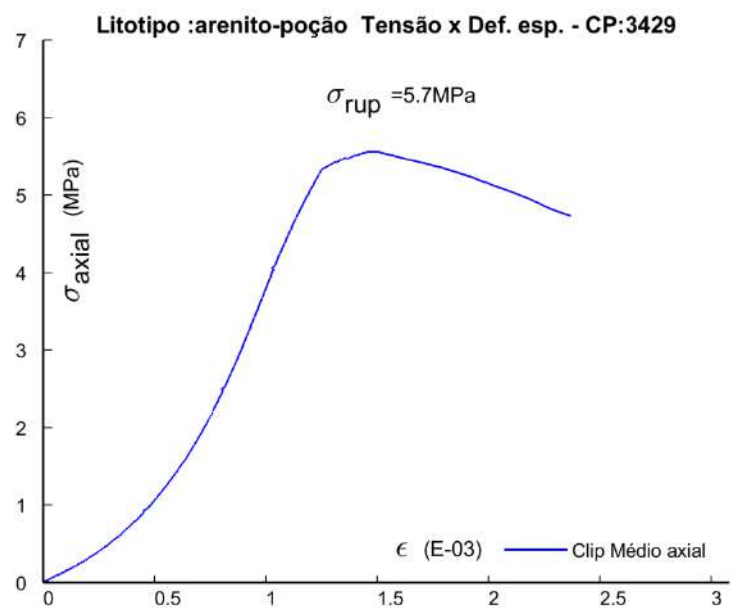


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3429.

## 2.1.48. CORPO DE PROVA 3430

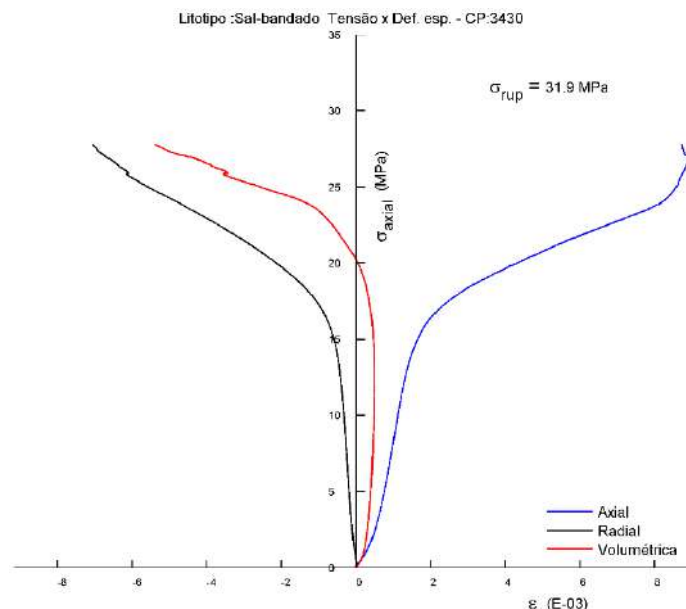


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3430.

## 2.1.49. CORPO DE PROVA 3431

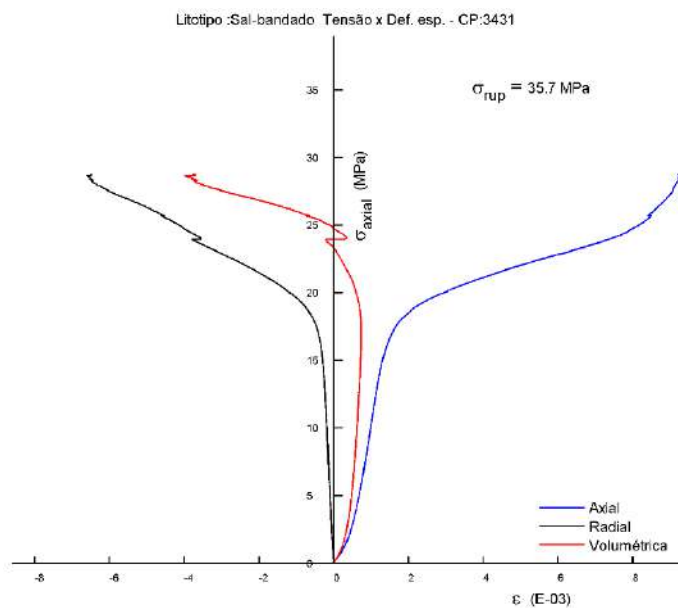


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3431.

### 2.1.50. CORPO DE PROVA 3433

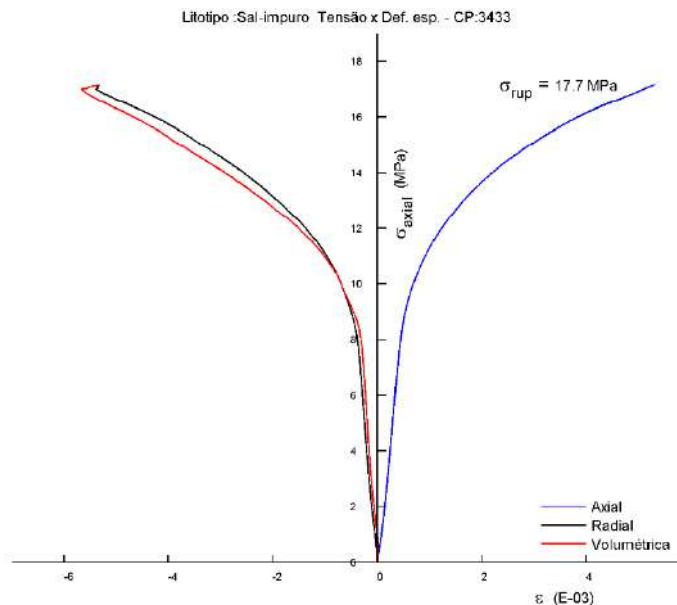


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3433.

### 2.1.51. CORPO DE PROVA 3437

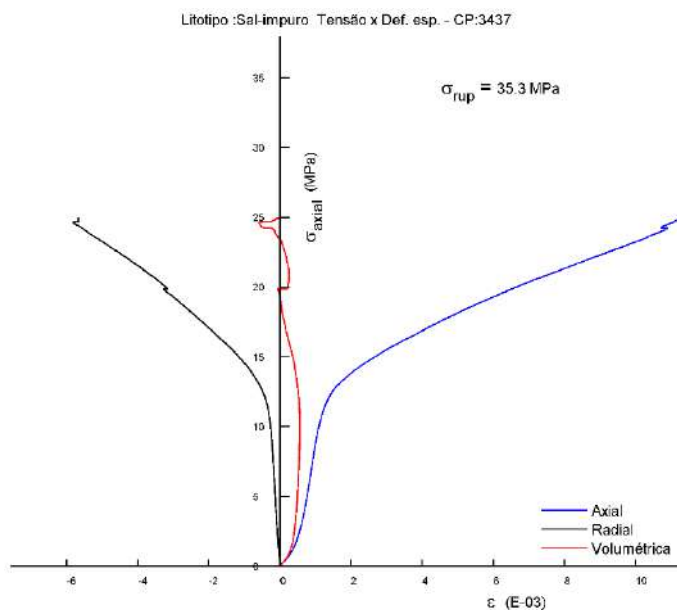


Diagrama no espaço tensão axial versus deformação específica axial, radial e volumétrica. Corpo de prova 3437.

## 2.2. Compressão Triaxial

### 2.2.1. CORPO DE PROVA 3408

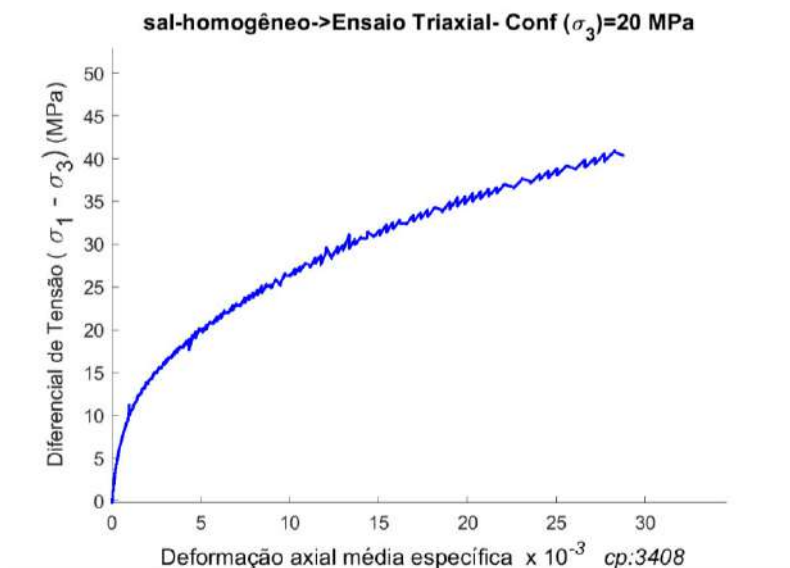


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3408.

### 2.2.2. CORPO DE PROVA 3409

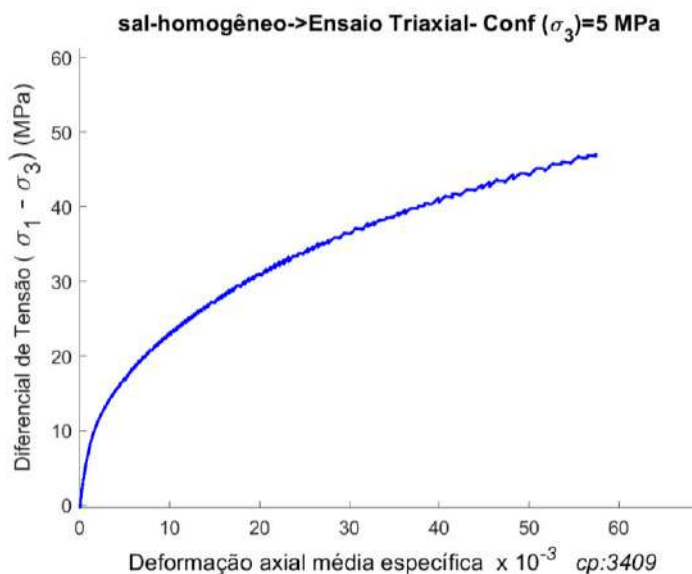


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3409.

### 2.2.3. CORPO DE PROVA 3410

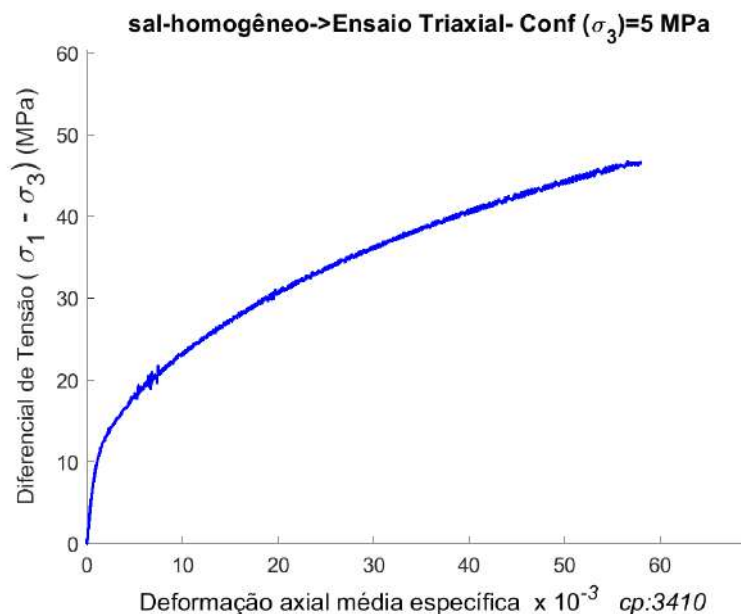


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3410.

### 2.2.4. CORPO DE PROVA 3419

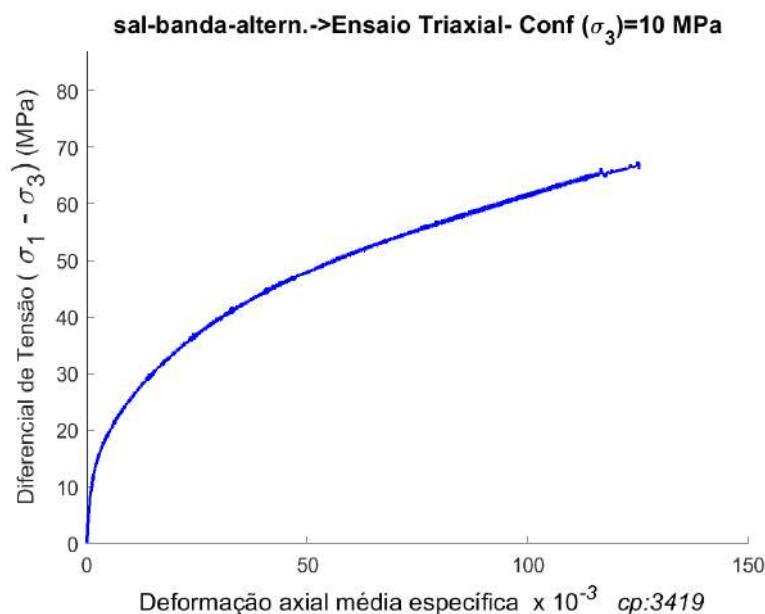


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3419.

### 2.2.5. CORPO DE PROVA 3421

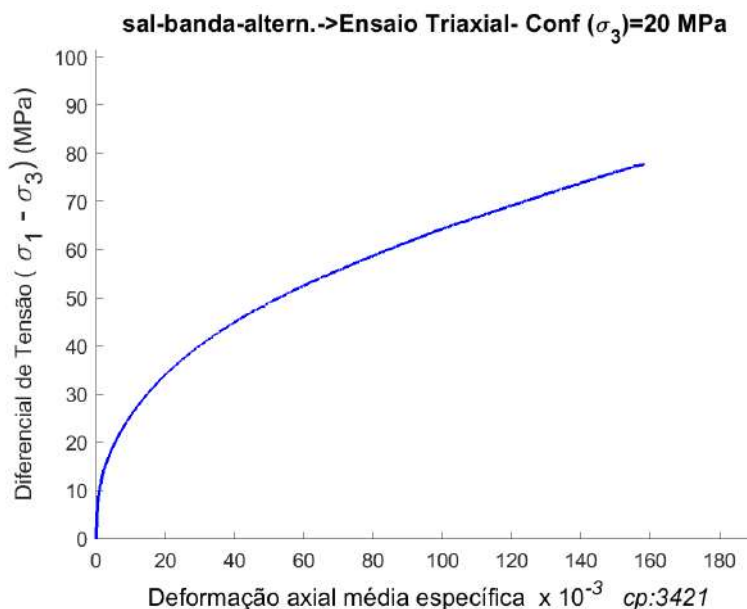


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3421.

### 2.2.6. CORPO DE PROVA 3422

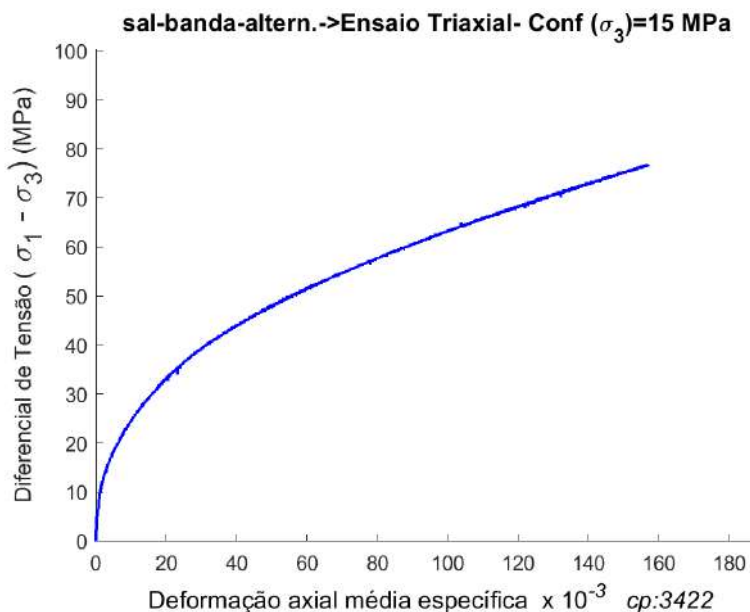


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3422.



## 2.2.7. CORPO DE PROVA 3432

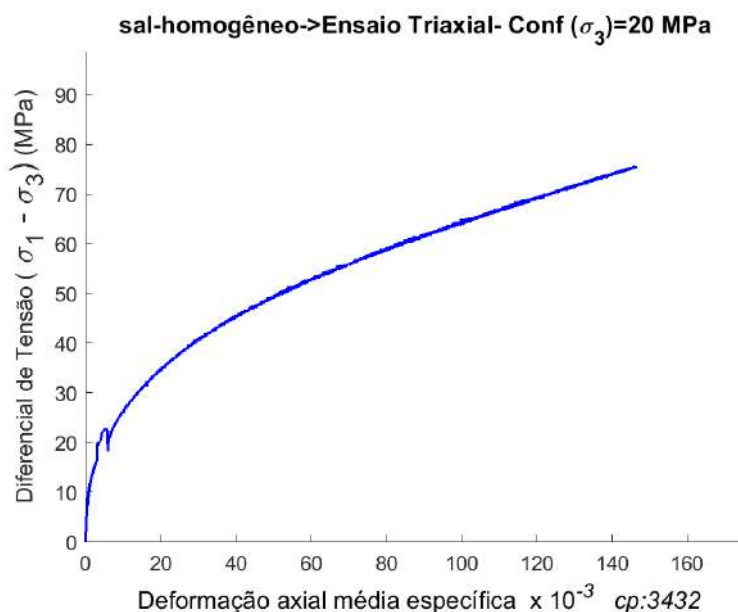


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3432.

## 2.2.8. CORPO DE PROVA 3448

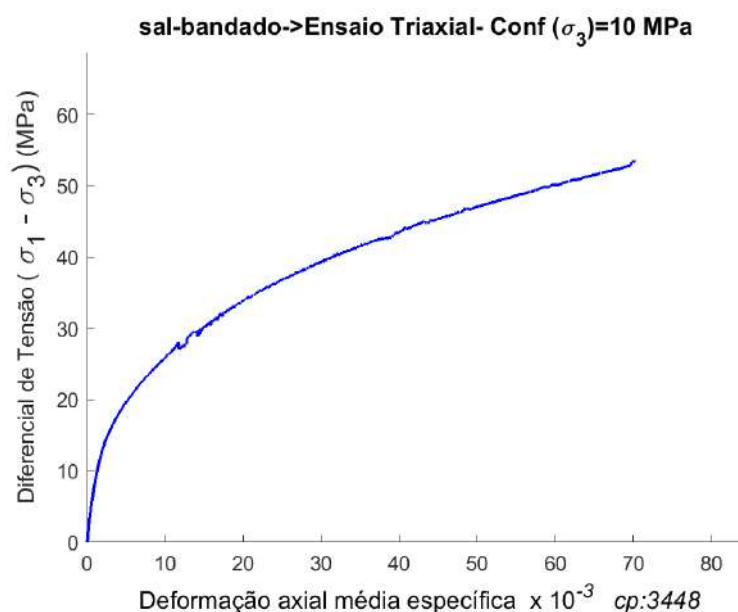


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3448.

### 2.2.9. CORPO DE PROVA 3449

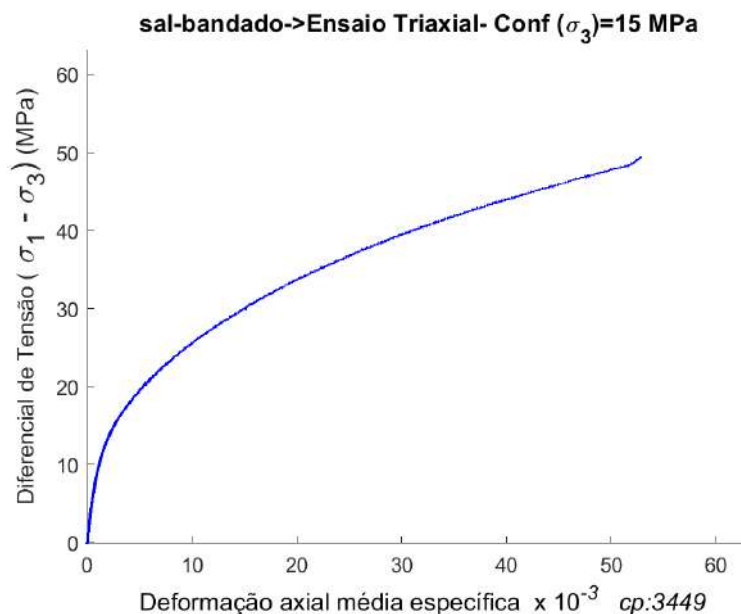


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3449.

### 2.2.10. CORPO DE PROVA 3438

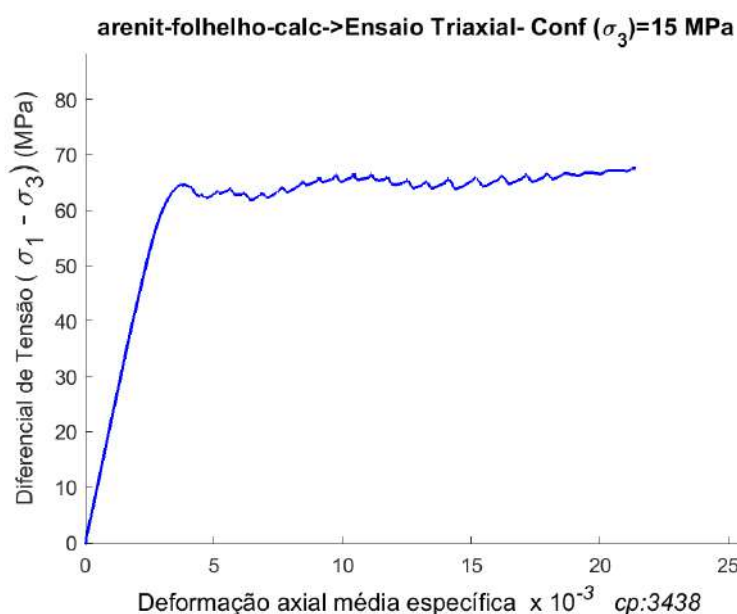


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3438.

### 2.2.11. CORPO DE PROVA 3439

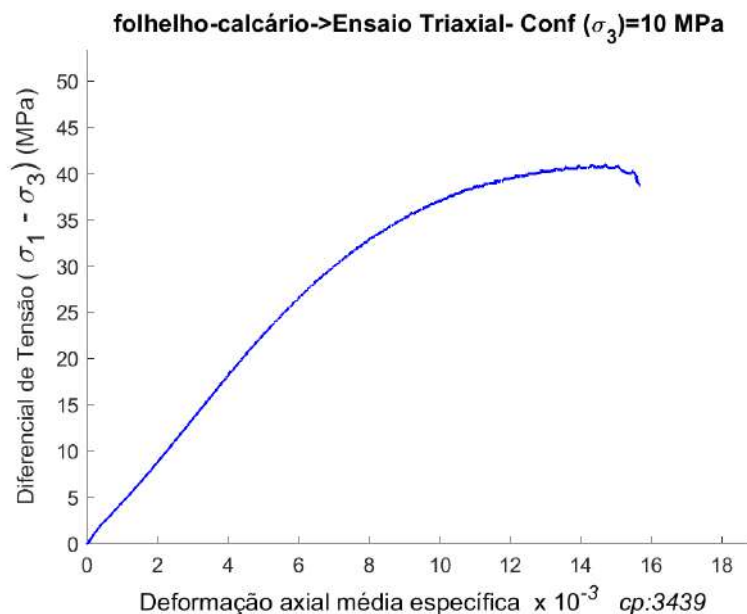


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3439.

### 2.2.12. CORPO DE PROVA 3440

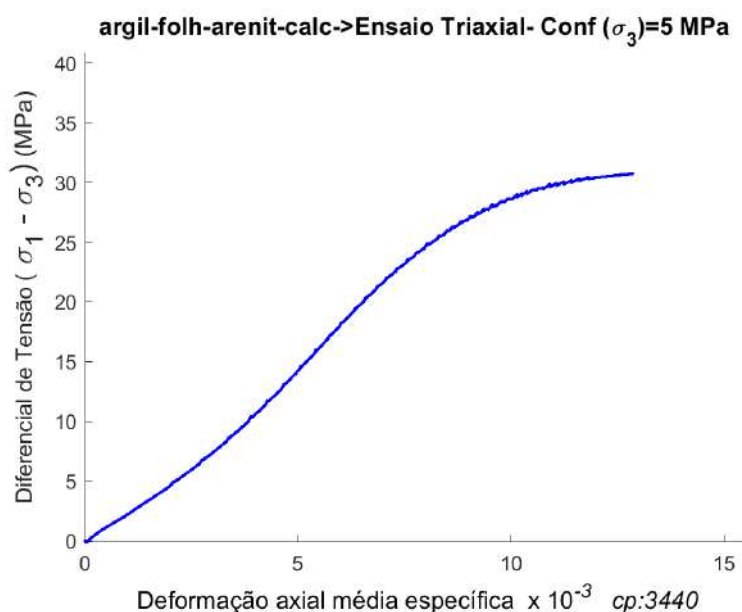


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3440.

### 2.2.13. CORPO DE PROVA 3441

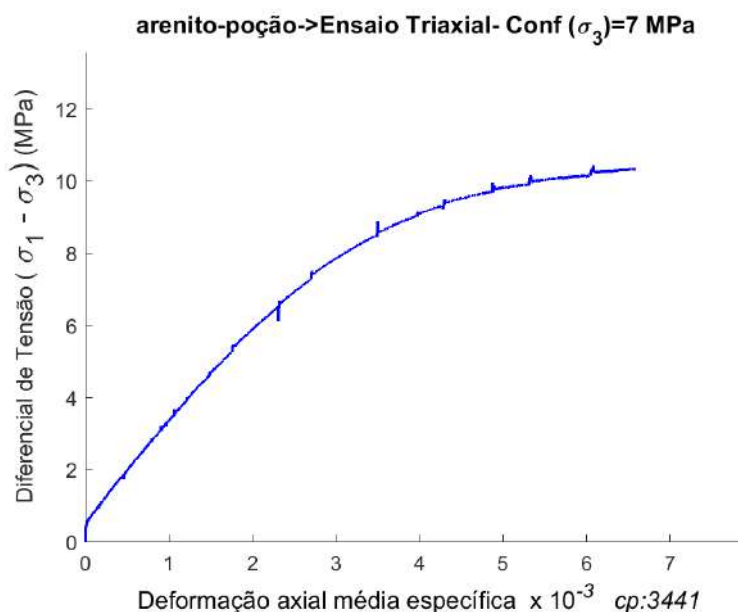


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3441.

### 2.2.14. CORPO DE PROVA 3443

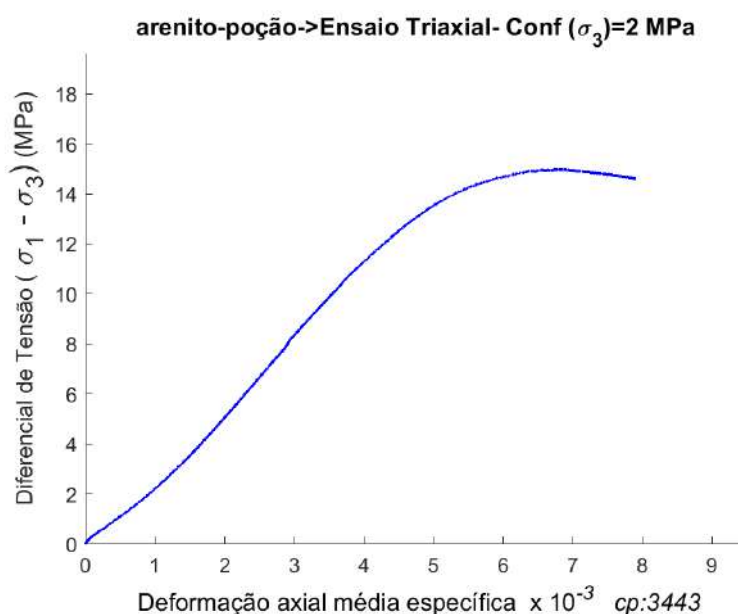


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3443.

## 2.2.15. CORPO DE PROVA 3444

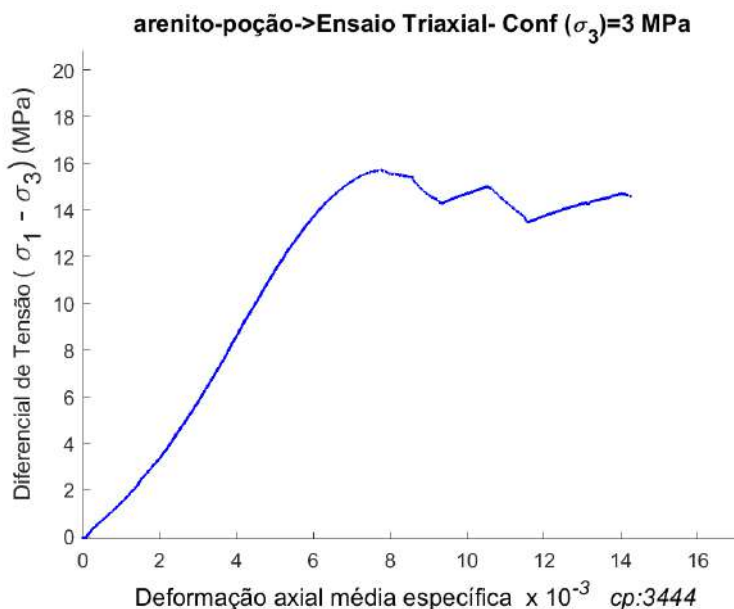


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3444.

## 2.2.16. CORPO DE PROVA 3445

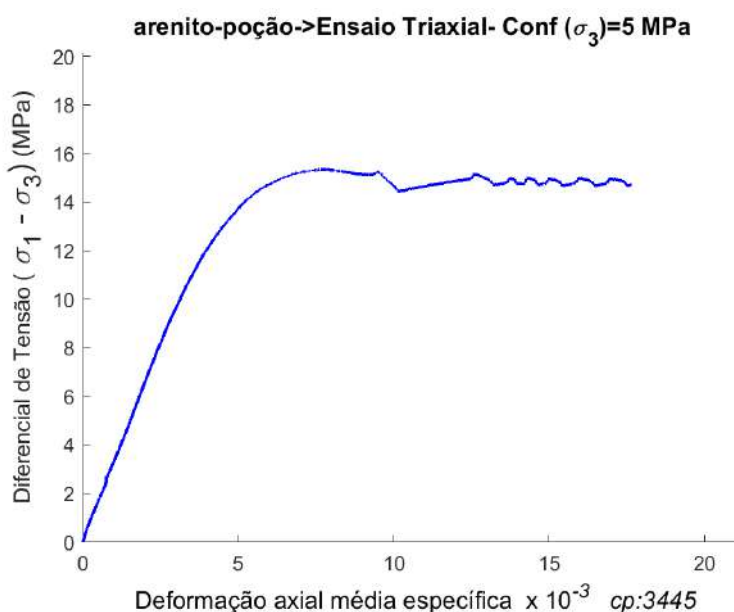


Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3445.

## 2.2.17. CORPO DE PROVA 3446

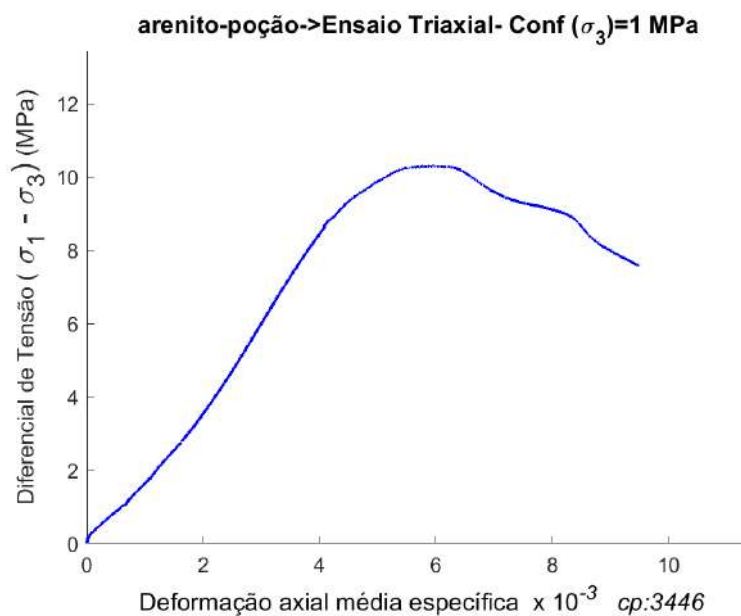
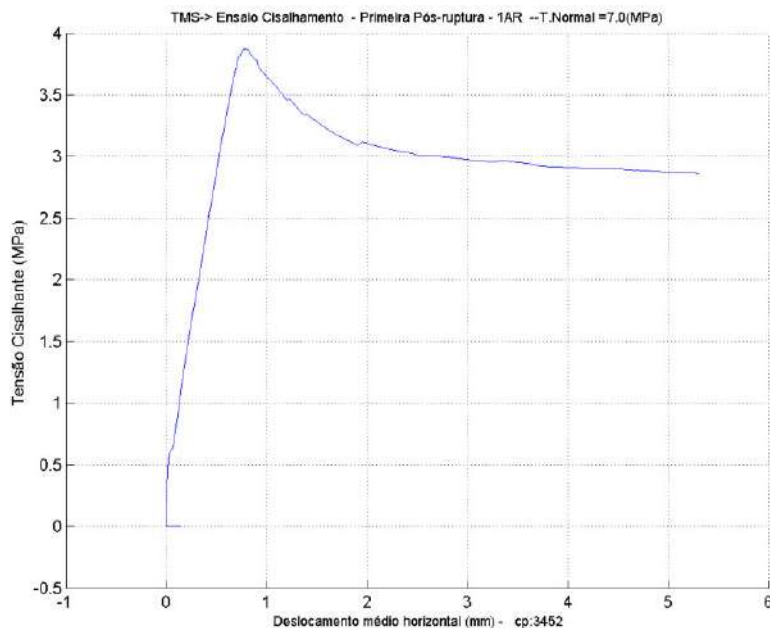


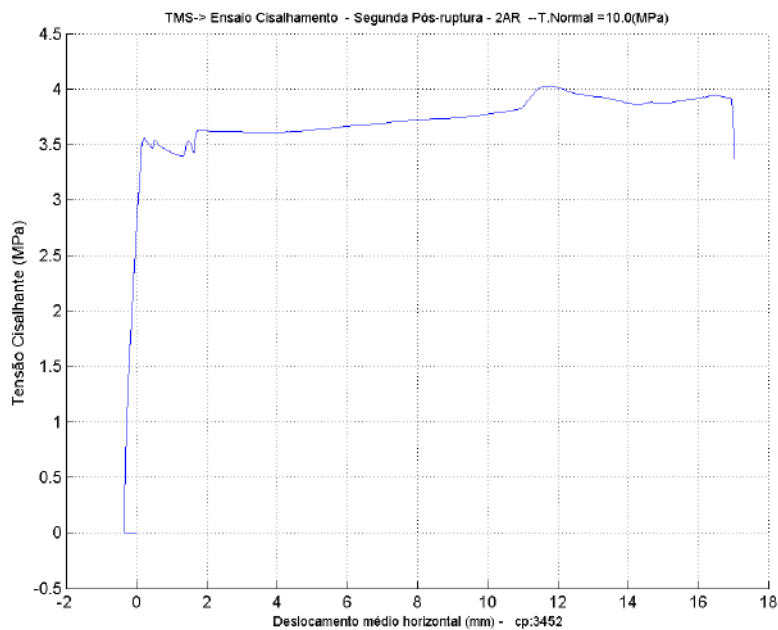
Diagrama tensão diferencial *versus* deformação média específica axial, ensaio triaxial, Corpo de prova 3446.

## 2.3. Cisalhamento Direto

### 2.3.1. CORPO DE PROVA 3452

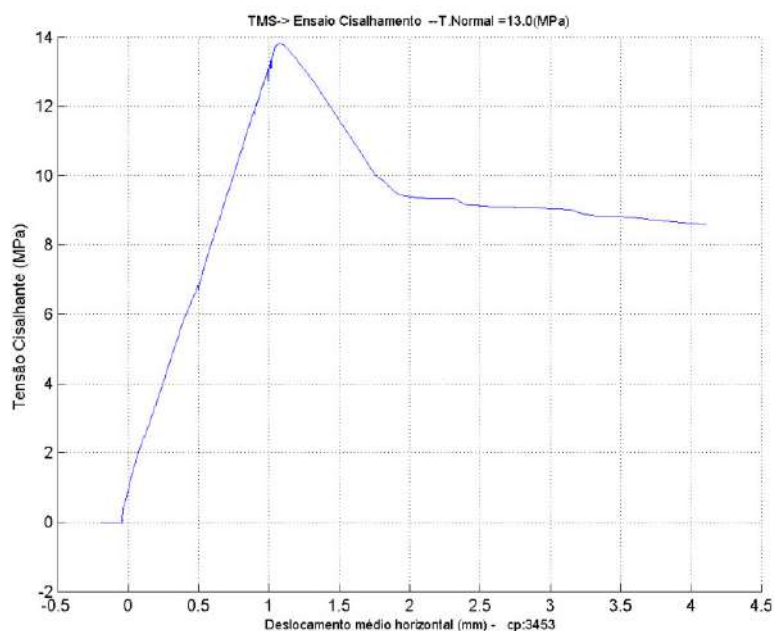


Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3452. Primeiro pós-ruptura.

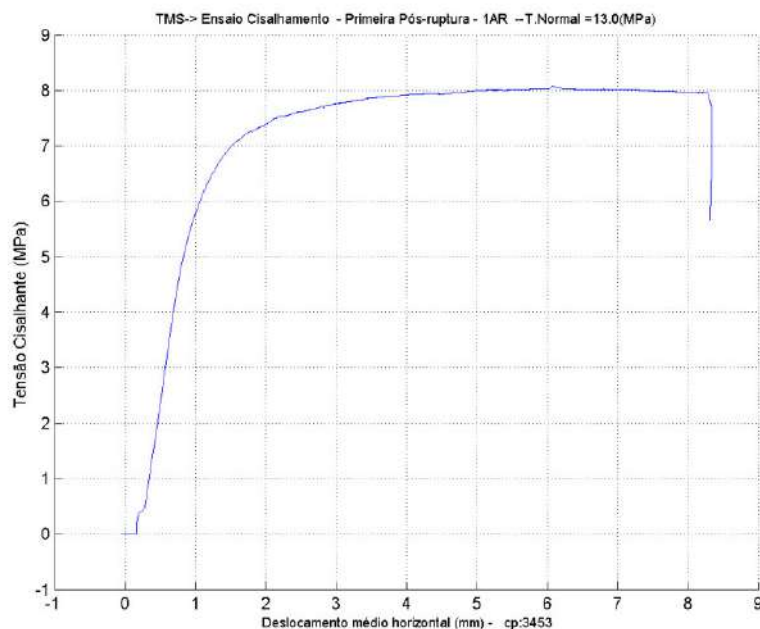


Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3452. Segundo pós-ruptura.

### 2.3.2. CORPO DE PROVA 3453

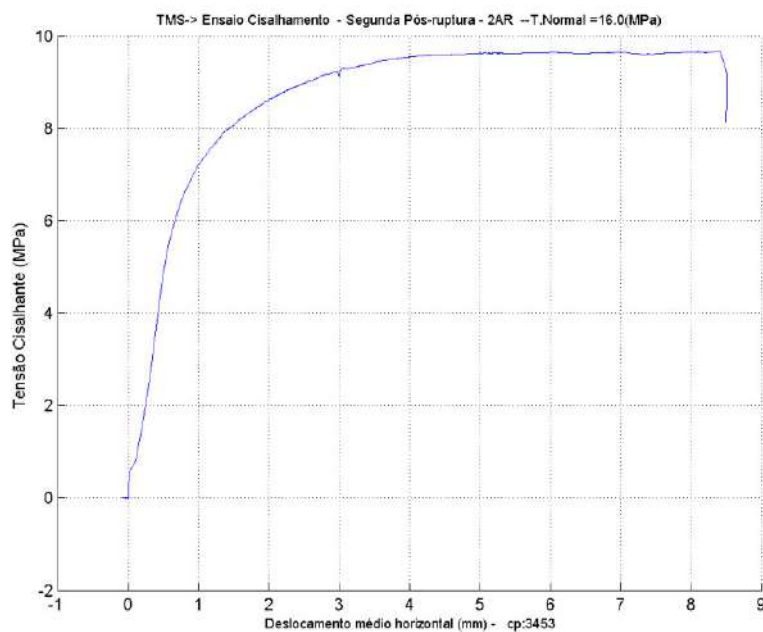


Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3453.



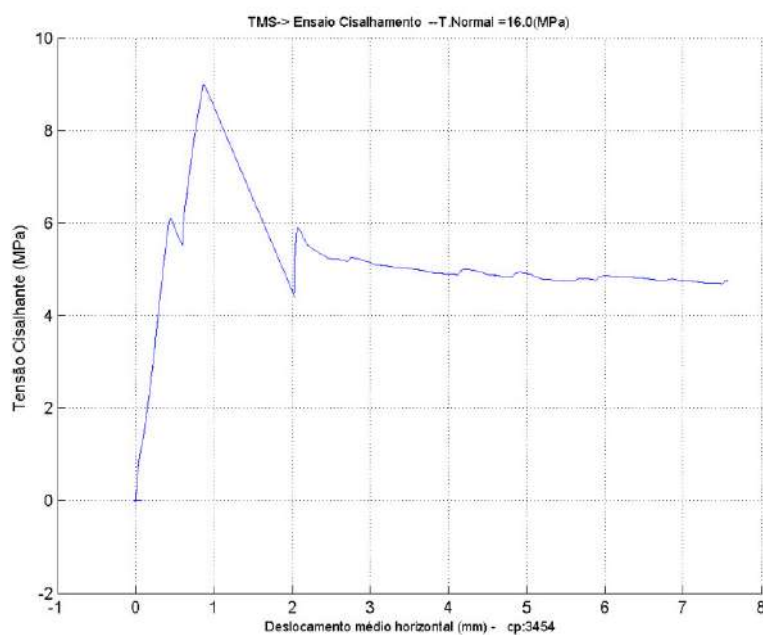
Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3453. Primeira pós-ruptura.



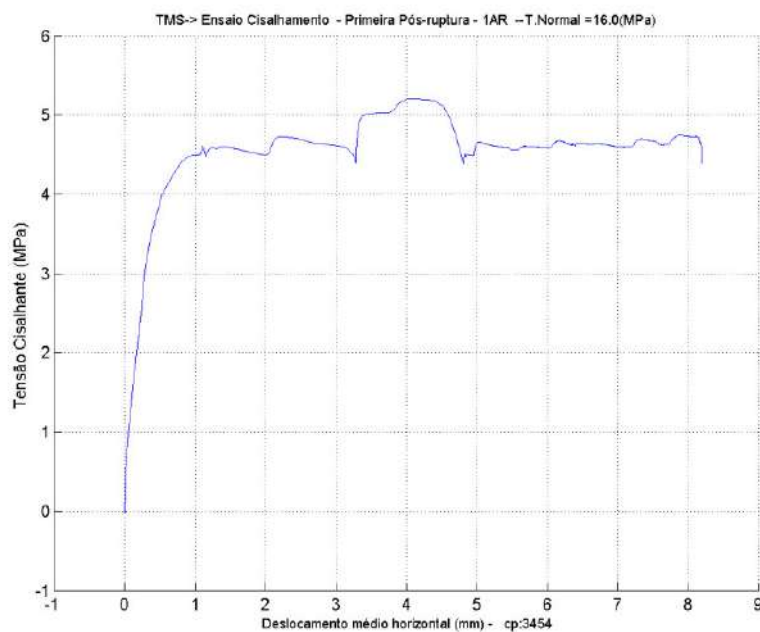


Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3453. Segundo pós-ruptura.

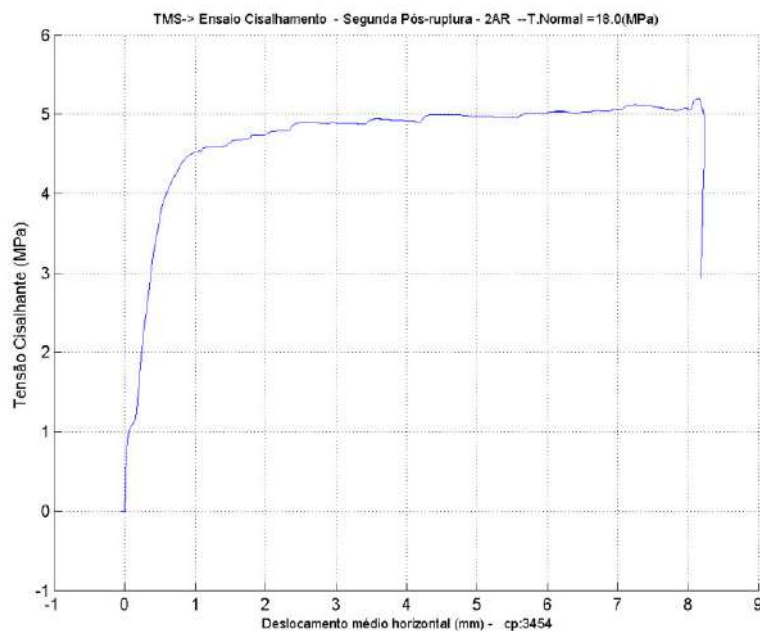
### 2.3.3. CORPO DE PROVA 3454



Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3454.

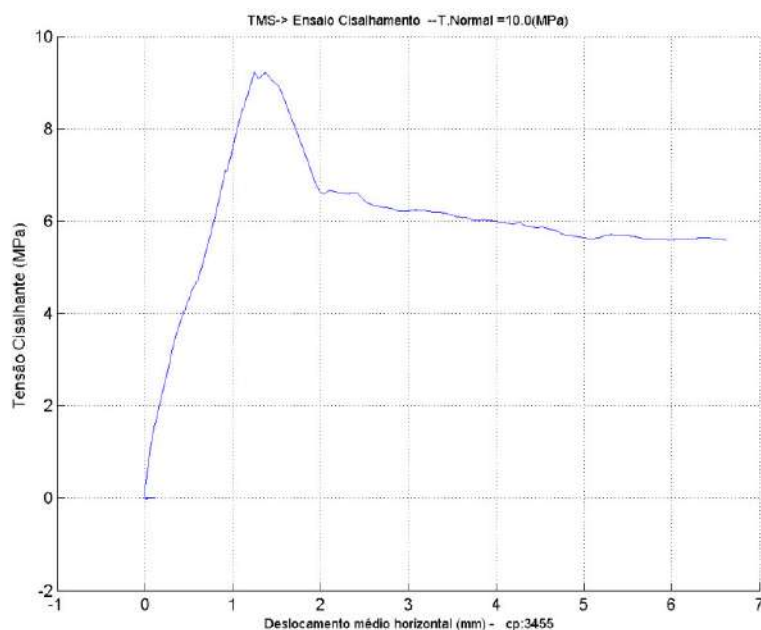


Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3454. Primeiro pós-ruptura.

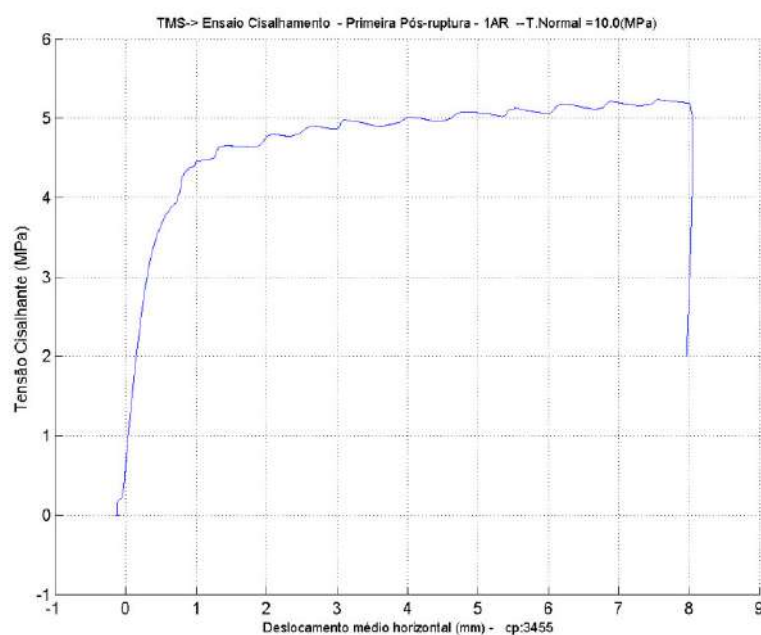


Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3454. Segundo pós-ruptura.

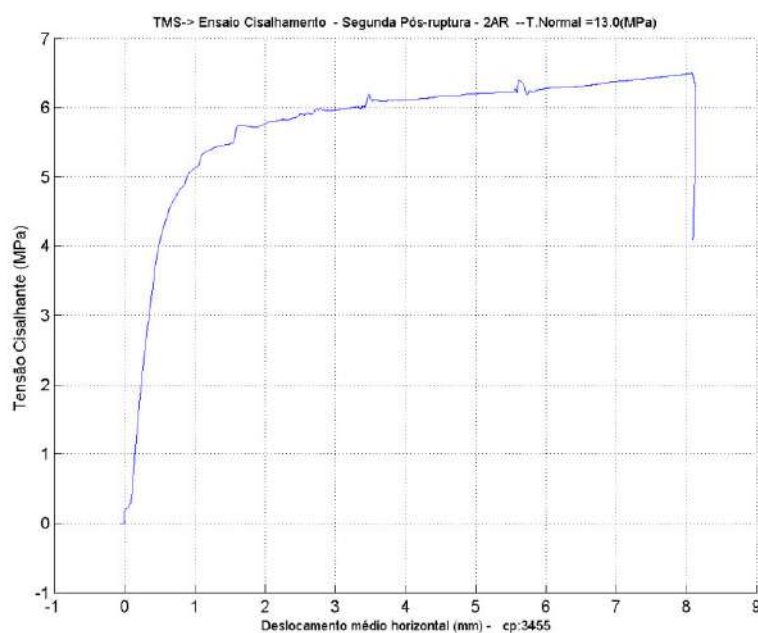
### 2.3.4. CORPO DE PROVA 3455



Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3455.

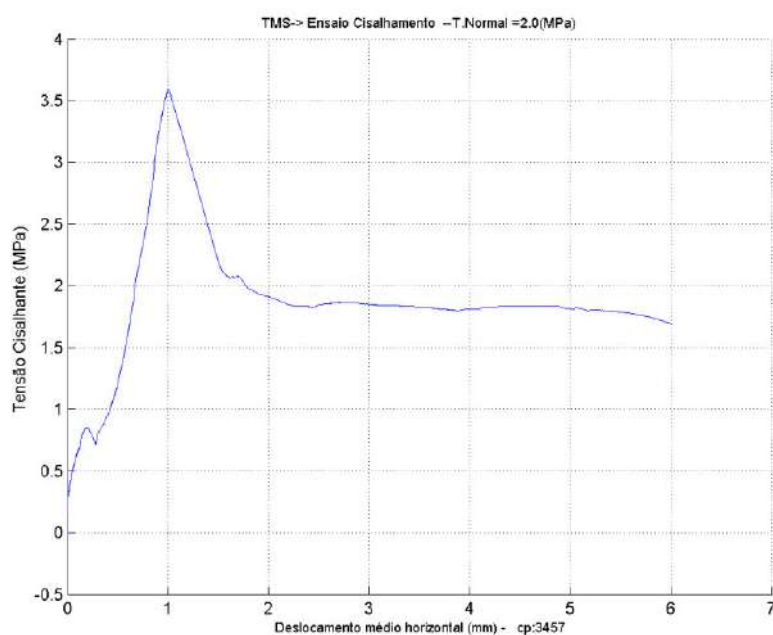


Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3455. Primeiro pós-ruptura.

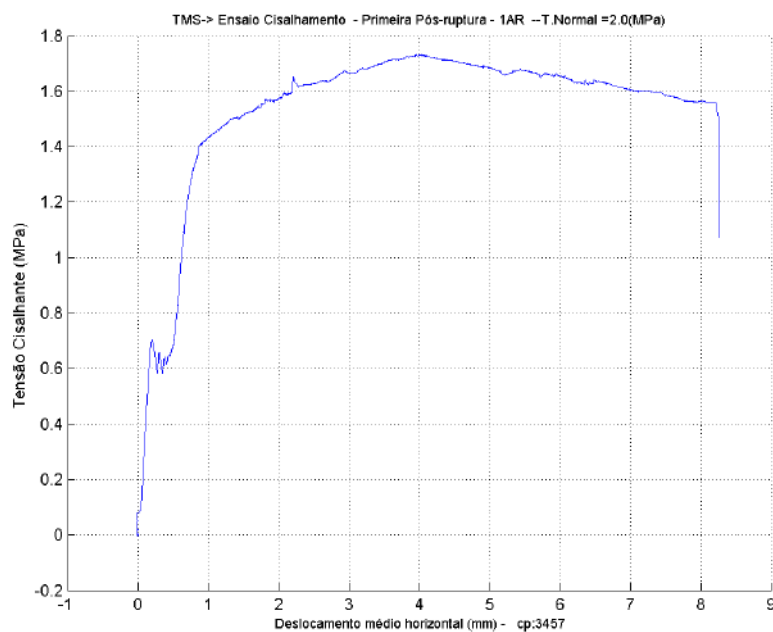


Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3455. Segundo pós-ruptura.

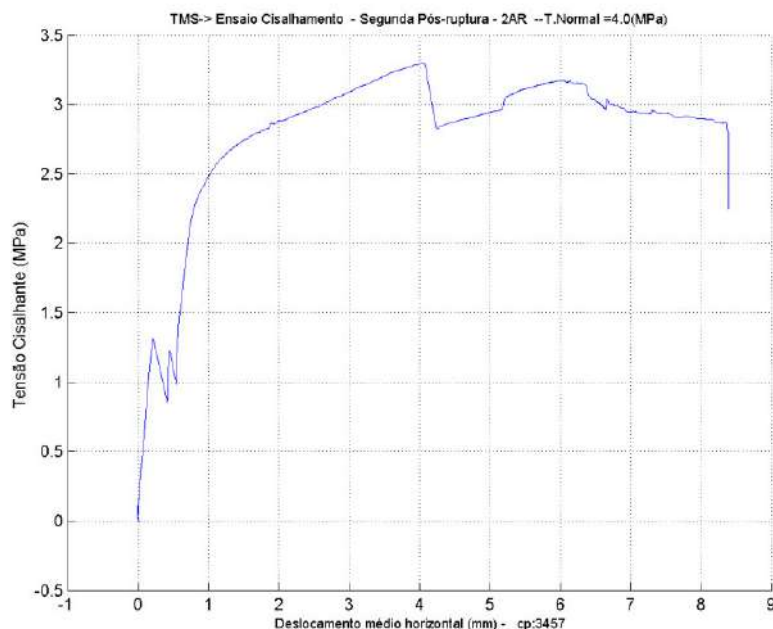
### 2.3.5. CORPO DE PROVA 3457



Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3457.

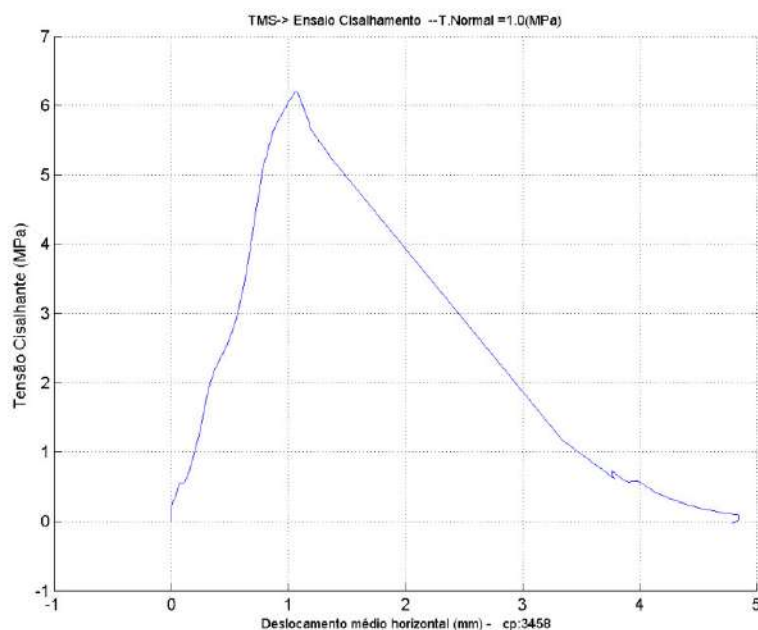


Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3457. Primeiro pós-ruptura.

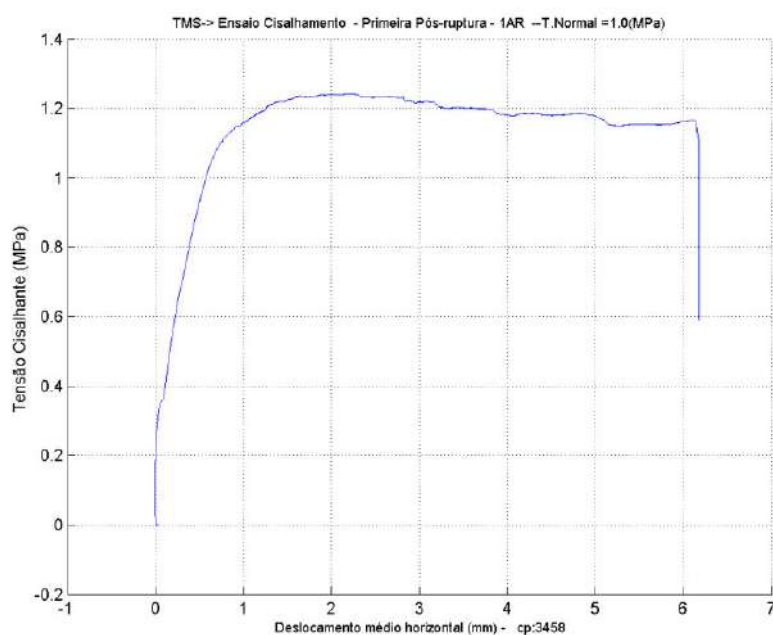


Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3457. Segundo pós-ruptura.

### 2.3.6. CORPO DE PROVA 3458

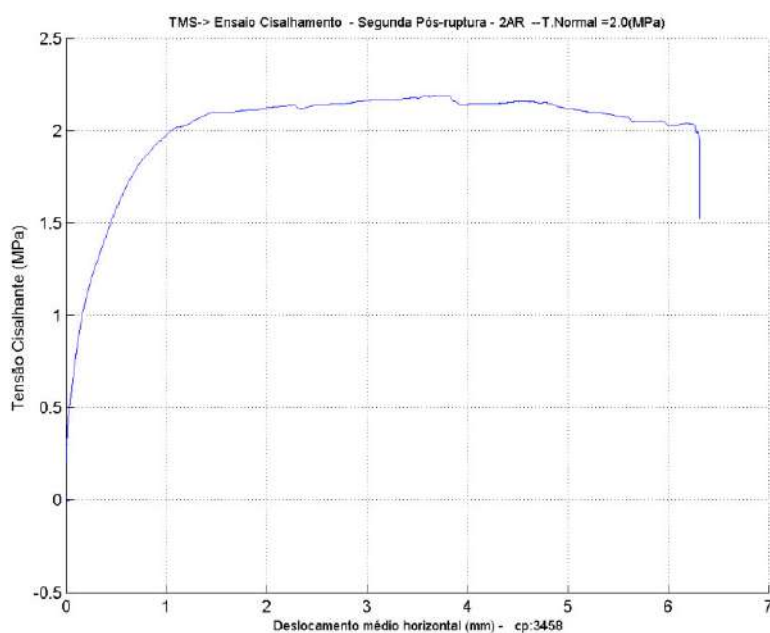


Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3458.



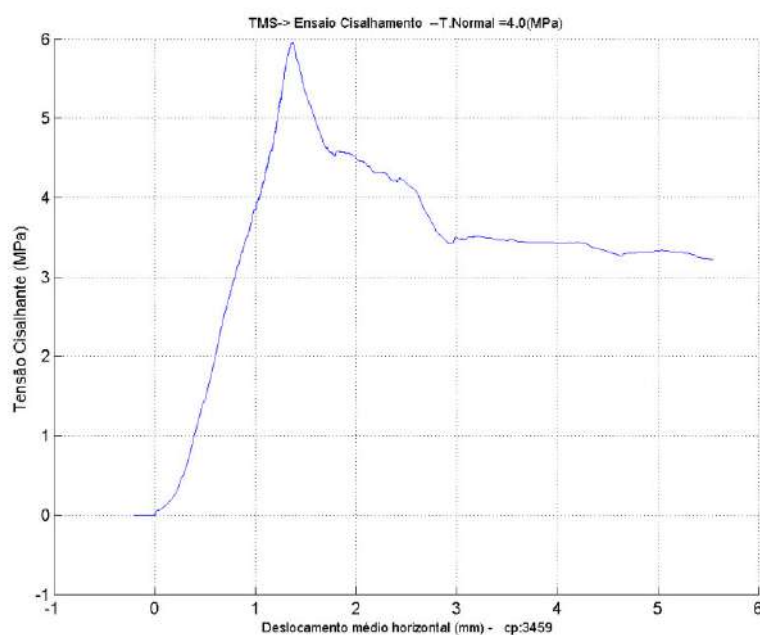
Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3458. Primeiro pós-ruptura.



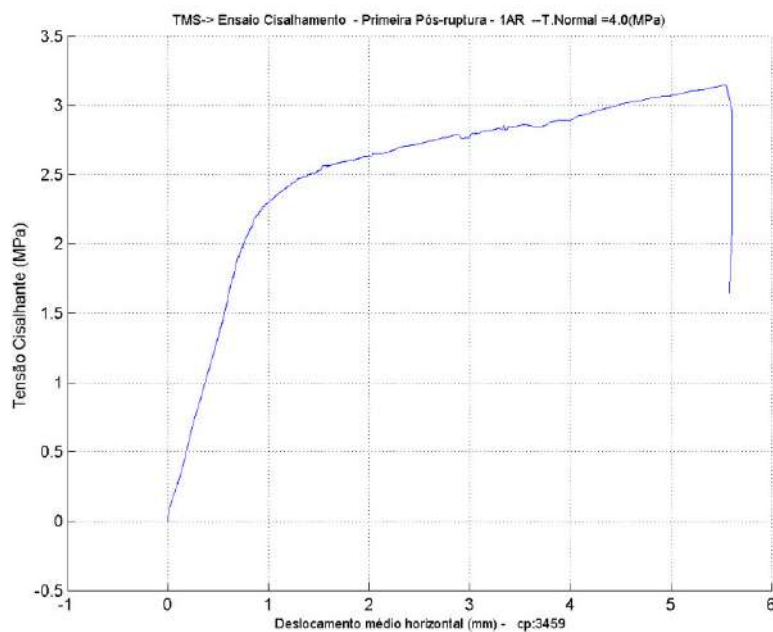


Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3458. Segundo pós-ruptura.

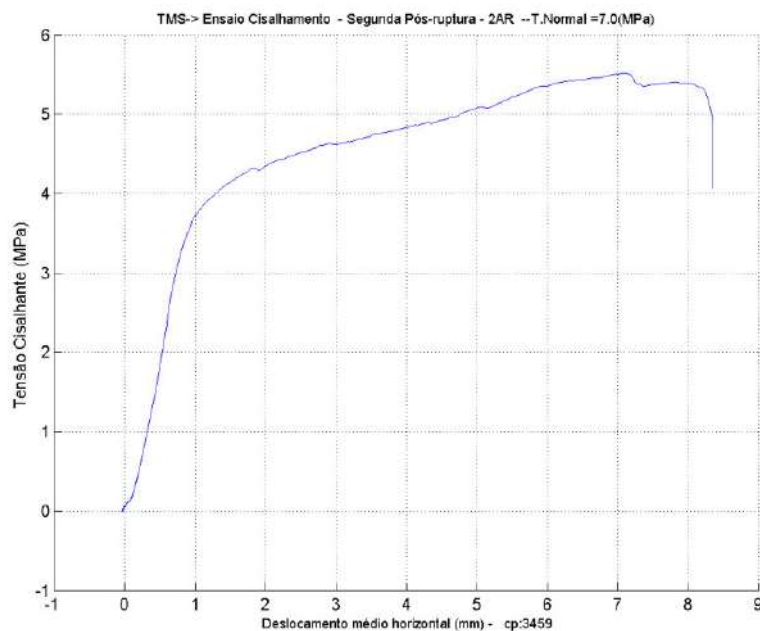
### 2.3.7. CORPO DE PROVA 3459



Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3459.



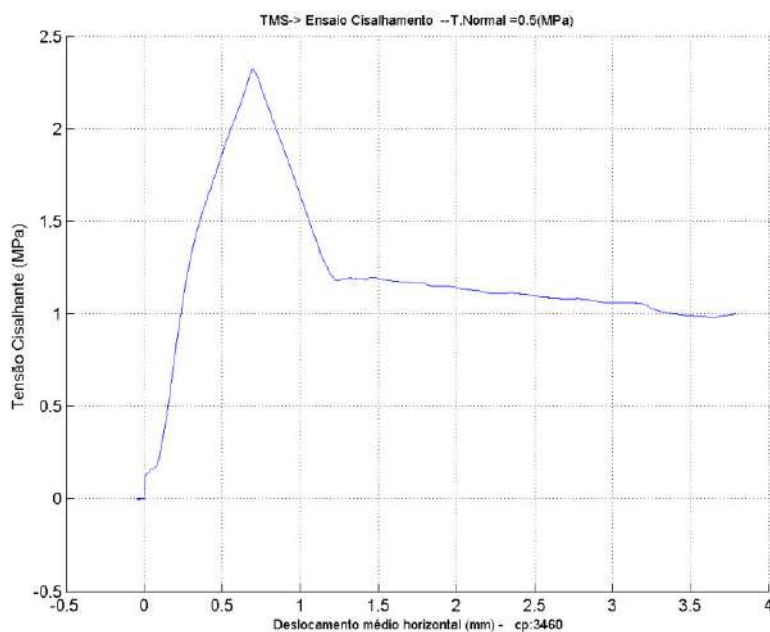
Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3459. Primeiro pós-ruptura.



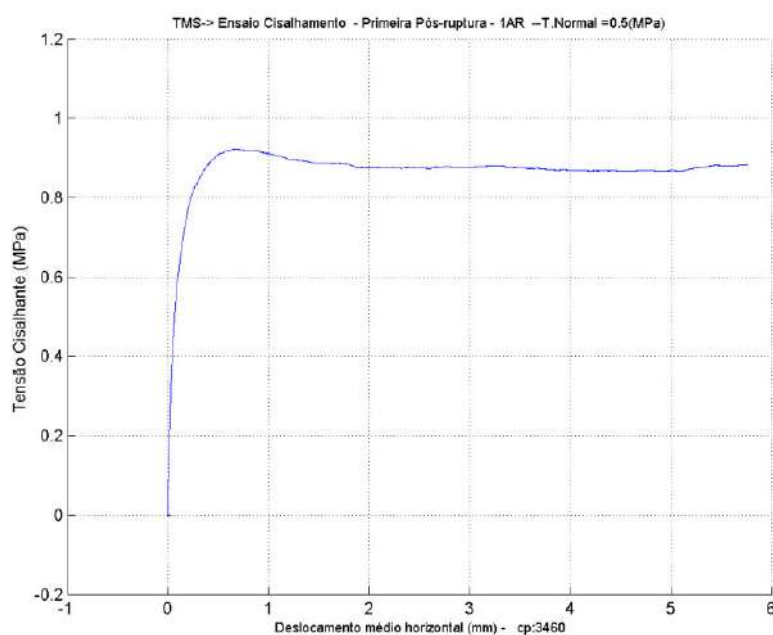
Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3459. Segundo pós-ruptura.



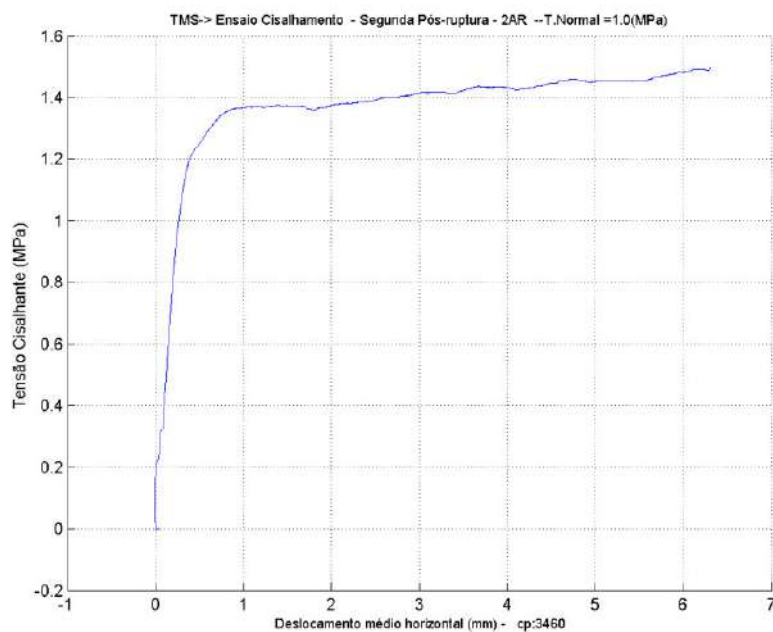
### 2.3.8. CORPO DE PROVA 3460



Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3460.



Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3460. Primeiro pós-ruptura.



Ensaio de cisalhamento. Diagrama tensão cisalhante *versus* deslocamento médio horizontal. Corpo de prova 3460. Segundo pós-ruptura.

## 2.4. Fluência Triaxial com Temperatura

### 2.4.1. CORPO DE PROVA 3360

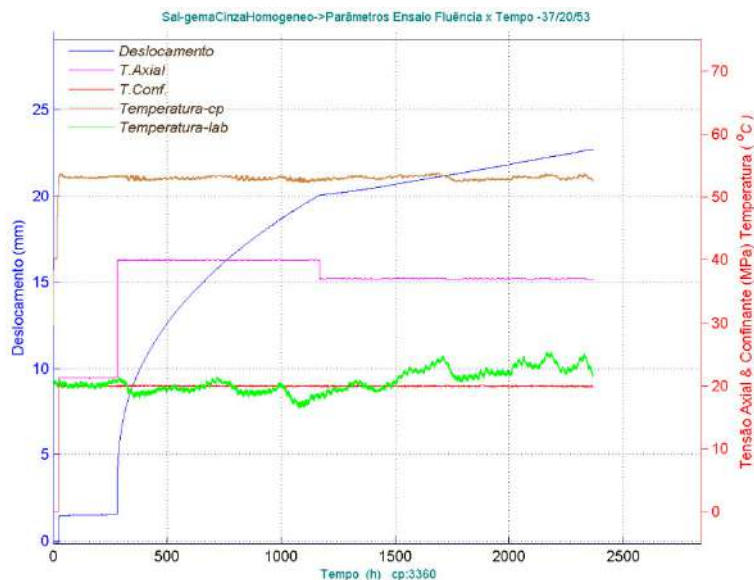


Diagrama deslocamento, tensão axial, tensão confinante e temperatura *versus* tempo. Fase I e II, Corpo de prova 3360.

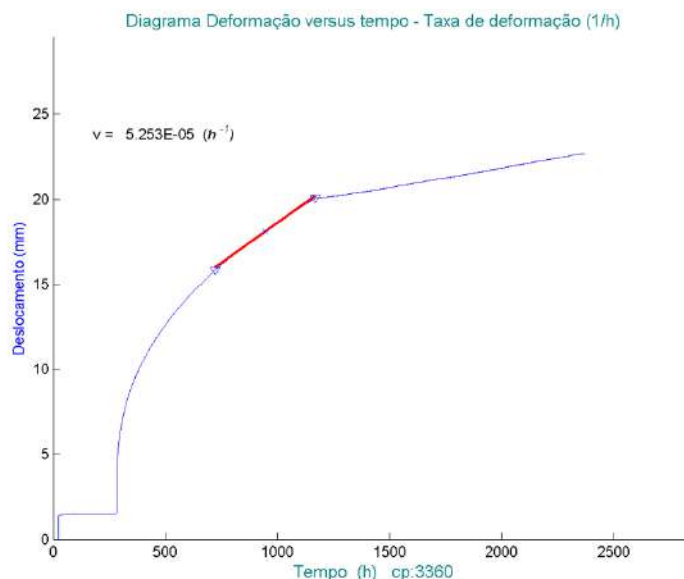


Diagrama deslocamento *versus* tempo e o trecho linear para obtenção da taxa da fluência estacionária  $v$  para a fase I, Corpo de prova 3360. É apresentado o valor da taxa correspondente a reta de ajuste (vermelho) na fase I.

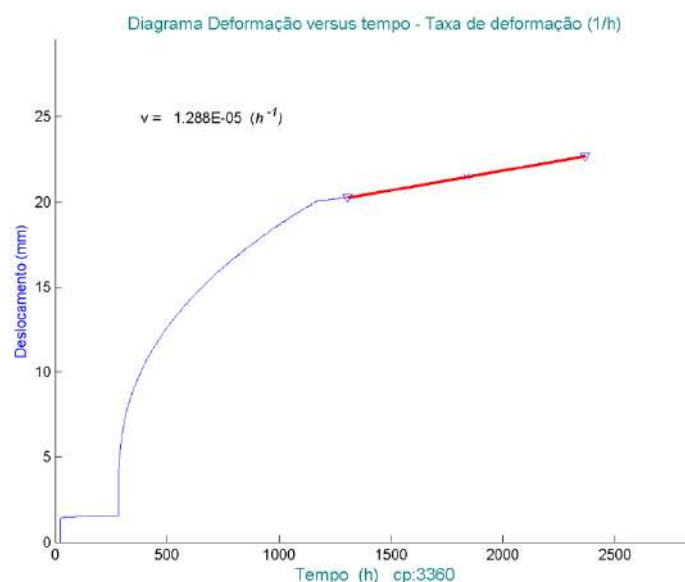


Diagrama deslocamento *versus* tempo e o trecho linear para obtenção da taxa da fluência estacionária  $v$  para a fase II, Corpo de prova 3360. É apresentado o valor da taxa correspondente a reta de ajuste (vermelho) na fase II.

## 2.4.2. CORPO DE PROVA 3361

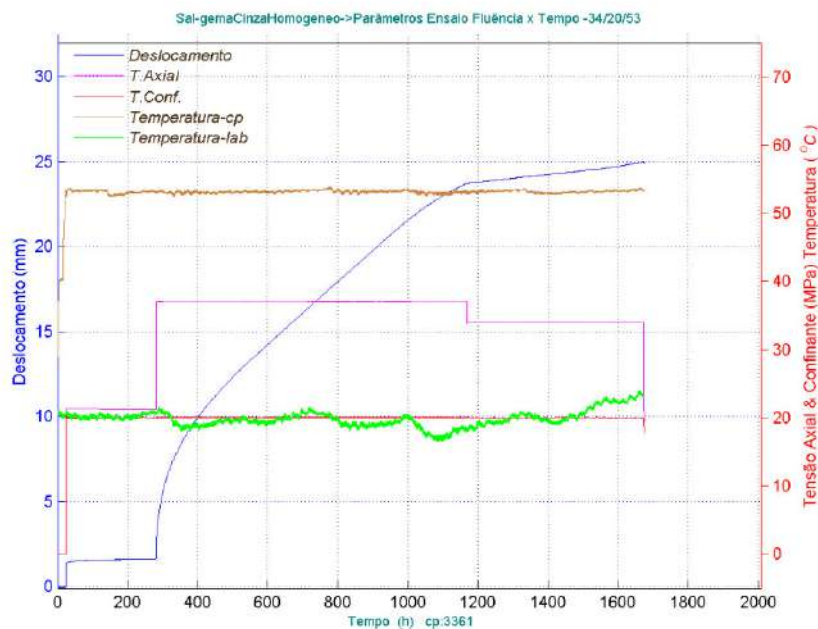


Diagrama deslocamento, tensão axial, tensão confinante e temperatura *versus* tempo. Fase I e II, Corpo de prova 3361.

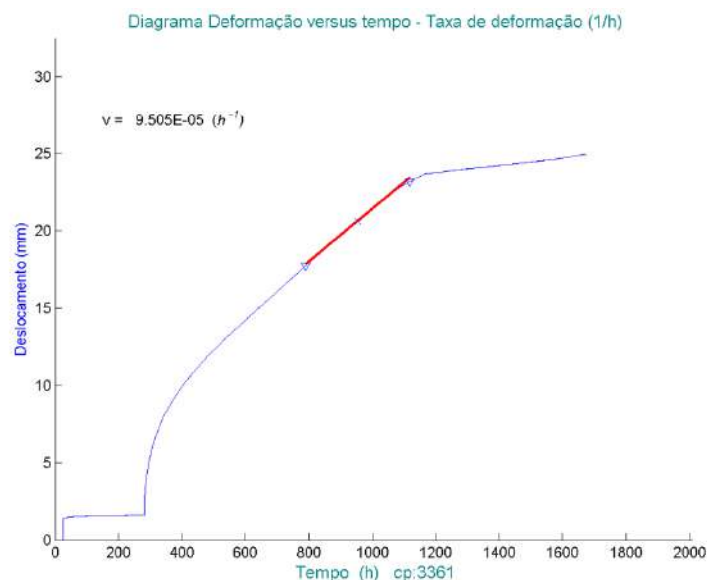


Diagrama deslocamento *versus* tempo e o trecho linear para obtenção da taxa da fluência estacionária  $v$  para a fase I, Corpo de prova 3361. É apresentado o valor da taxa  $v$  correspondente a reta de ajuste (vermelho) na fase I.

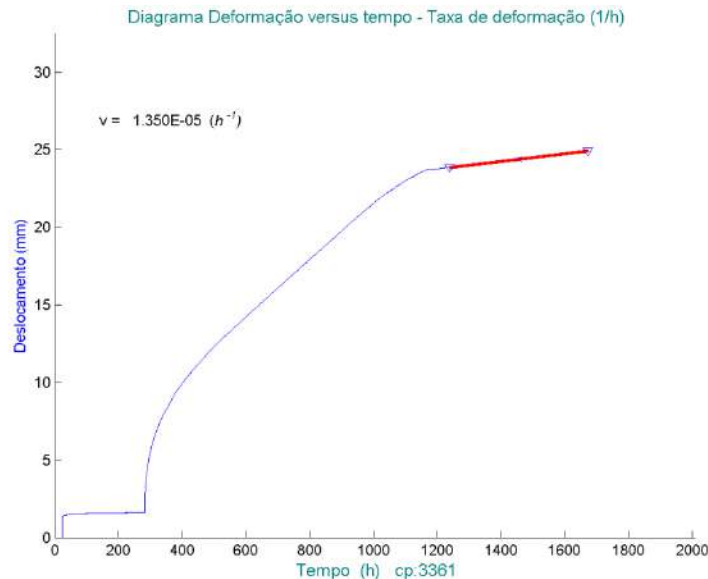


Diagrama deslocamento *versus* tempo e o trecho linear para obtenção da taxa da fluência estacionária  $v$  para a fase II, Corpo de prova 3361. É apresentado o valor da taxa correspondente a reta de ajuste (vermelho) na fase II.

### 2.4.3. CORPO DE PROVA 3362

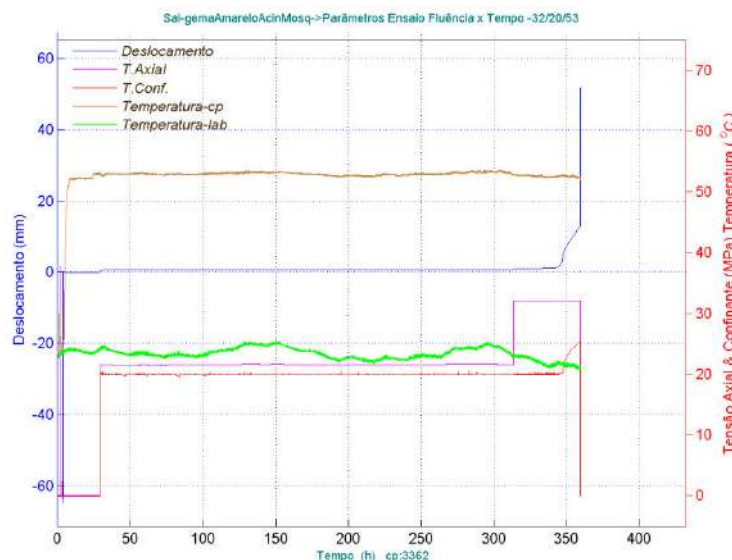


Diagrama deslocamento, tensão axial, tensão confinante e temperatura *versus* tempo. Fase I. Observa-se na variável deslocamento axial o momento de sua ruptura no interior da câmara triaxial, Corpo de prova 3362.

#### 2.4.4. CORPO DE PROVA 3363

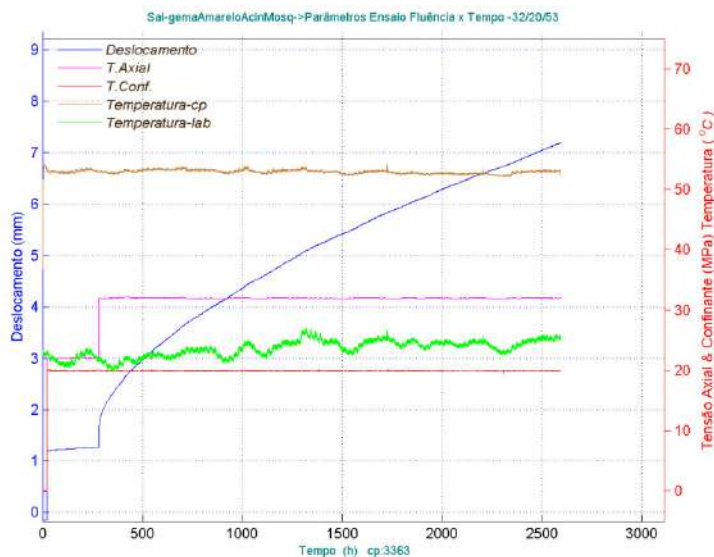


Diagrama deslocamento, tensão axial, tensão confinante e temperatura *versus* tempo. Fase I (única), Corpo de prova 3363. Ensaio encerrado antes da Fase II por acidente relacionado à queda de árvore em transformador no interior do campus do IPT (jan/22).

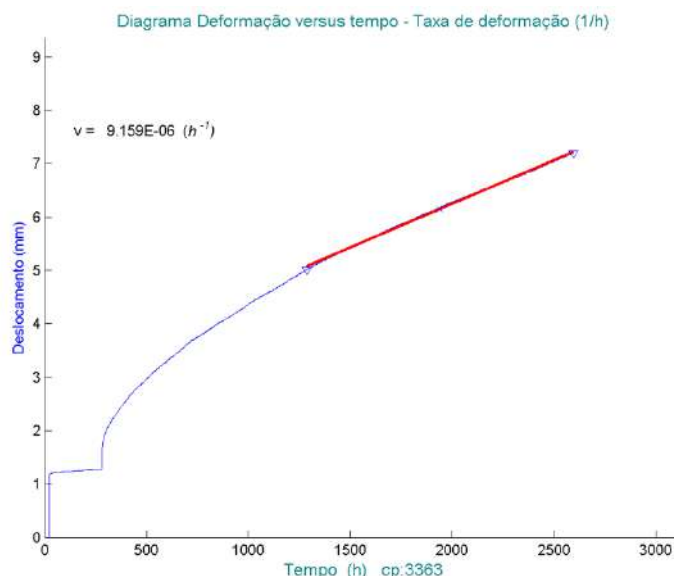


Diagrama deslocamento *versus* tempo e o trecho linear para obtenção da taxa da fluência estacionária  $v$  para a fase I, Corpo de prova 3363. É apresentado o valor da taxa correspondente a reta de ajuste (vermelha) na fase I.



## 2.4.5. CORPO DE PROVA 3364

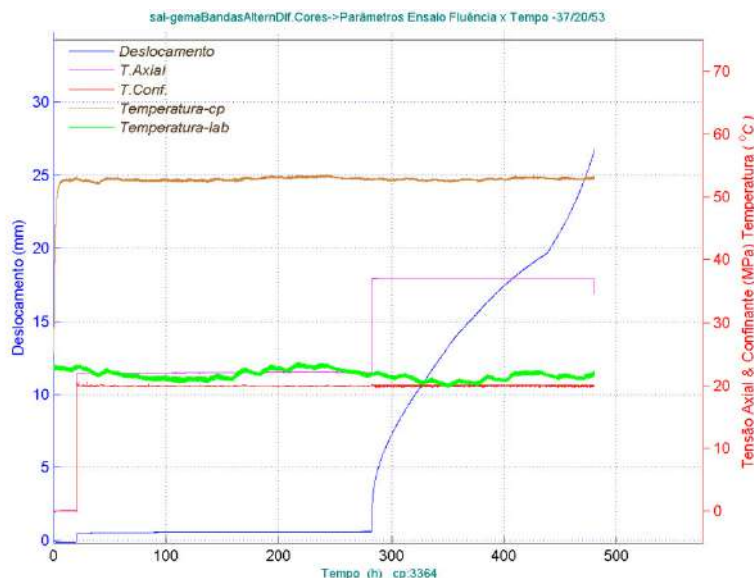


Diagrama deslocamento, tensão axial, tensão confinante e temperatura *versus* tempo. Fase I (única); Observar aceleração do deslocamento antes da ruptura, Corpo de prova 3364.

## 2.4.6. CORPO DE PROVA 3365

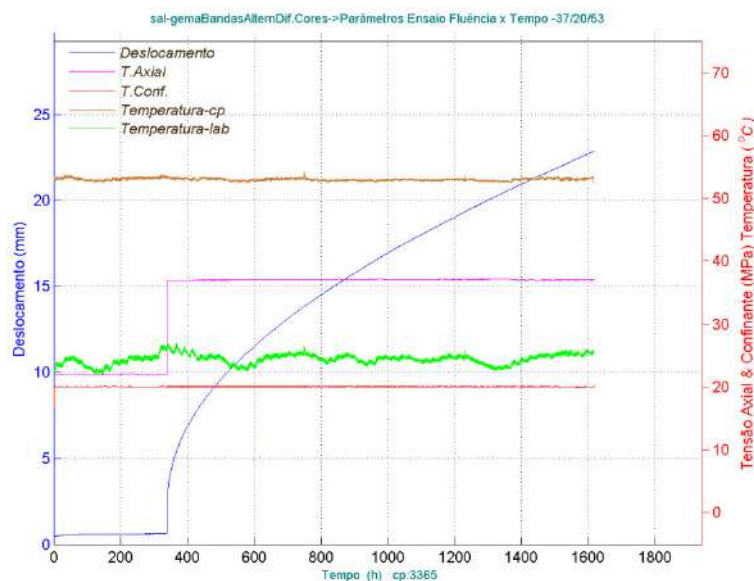


Diagrama deslocamento, tensão axial, tensão confinante e temperatura *versus* tempo. Fase I, Corpo de prova 3365.



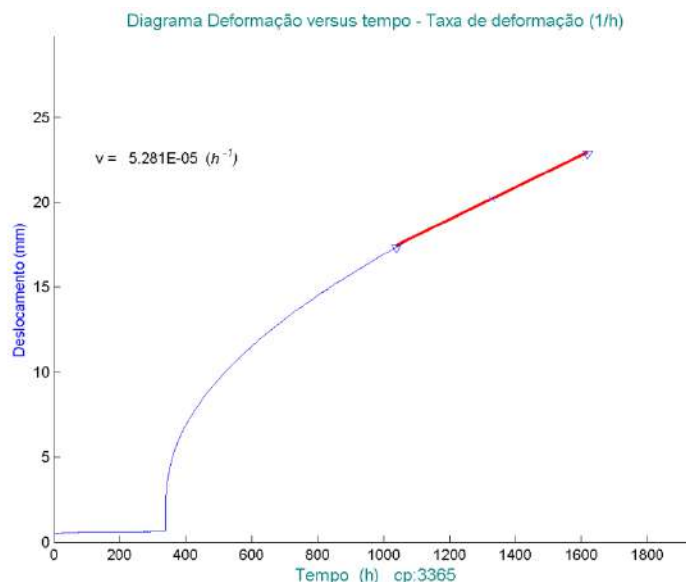


Diagrama deslocamento *versus* tempo e o trecho linear para obtenção da taxa da fluência estacionária  $v$  para a fase I, Corpo de prova 3365. É apresentado o valor da taxa correspondente a reta de ajuste (vermelho) na fase I (única).

### 3 DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA DOS CORPOS DE PROVA

#### 3.1. Compressão Uniaxial

##### 3.1.1. CORPO DE PROVA 3372



Corpo de prova 3372 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal homogêneo.

### 3.1.2. CORPO DE PROVA 3373



Corpo de prova 3373 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal homogêneo.

### 3.1.3. CORPO DE PROVA 3374



Corpo de prova 3374 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal homogêneo.

### 3.1.4. CORPO DE PROVA 3375



Corpo de prova 3375 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal amarelo.

### 3.1.5. CORPO DE PROVA 3376



Corpo de prova 3376 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal amarelo.

### 3.1.6. CORPO DE PROVA 3377



Corpo de prova 3377 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal amarelo.

### 3.1.7. CORPO DE PROVA 3378



Corpo de prova 3378 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal banda alternada.



### 3.1.8. CORPO DE PROVA 3379



Corpo de prova 3379 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal banda alternada.

### 3.1.9. CORPO DE PROVA 3380



Corpo de prova 3380 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal banda alternada.

### 3.1.10. CORPO DE PROVA 3381



Corpo de prova 3381 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal intercalado.

### 3.1.11. CORPO DE PROVA 3382



Corpo de prova 3382 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal intercalado.

### 3.1.12. CORPO DE PROVA 3383



Corpo de prova 3383 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal intercalado.

### 3.1.13. CORPO DE PROVA 3384



Corpo de prova 3384 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: halita impura.



### 3.1.14. CORPO DE PROVA 3385



Corpo de prova 3385 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: halita impura.

### 3.1.15. CORPO DE PROVA 3386



Corpo de prova 3386 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: halita impura.

### 3.1.16. CORPO DE PROVA 3387



Corpo de prova 3387 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal bandado.

### 3.1.17. CORPO DE PROVA 3388



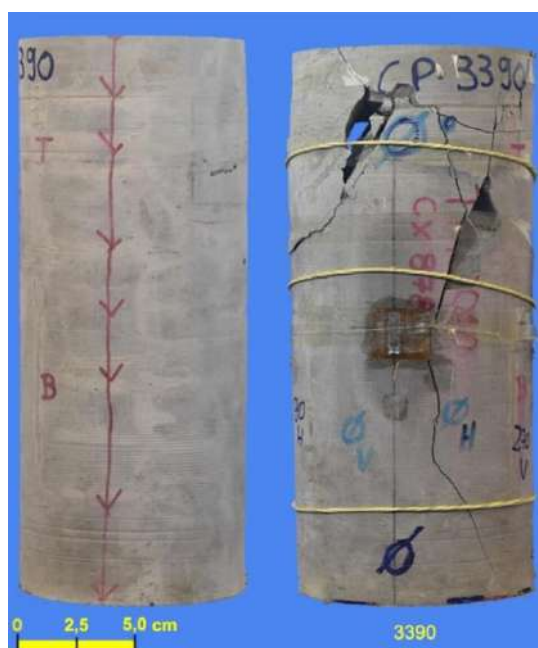
Corpo de prova 3388 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal bandado.

### 3.1.18. CORPO DE PROVA 3389



Corpo de prova 3389 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal bandado.

### 3.1.19. CORPO DE PROVA 3390



Corpo de prova 3390 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: folhelho.

### 3.1.20. CORPO DE PROVA 3391



Corpo de prova 3391 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: folhelho.

### 3.1.21. CORPO DE PROVA 3392



Corpo de prova 3392 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: folhelho.



### 3.1.22. CORPO DE PROVA 3393



Corpo de prova 3393 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: folhelho.

### 3.1.23. CORPO DE PROVA 3394



Corpo de prova 3394 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: folhelho paripueira.

### 3.1.24. CORPO DE PROVA 3395



Corpo de prova 3395 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: folhelho paripueira.

### 3.1.25. CORPO DE PROVA 3396



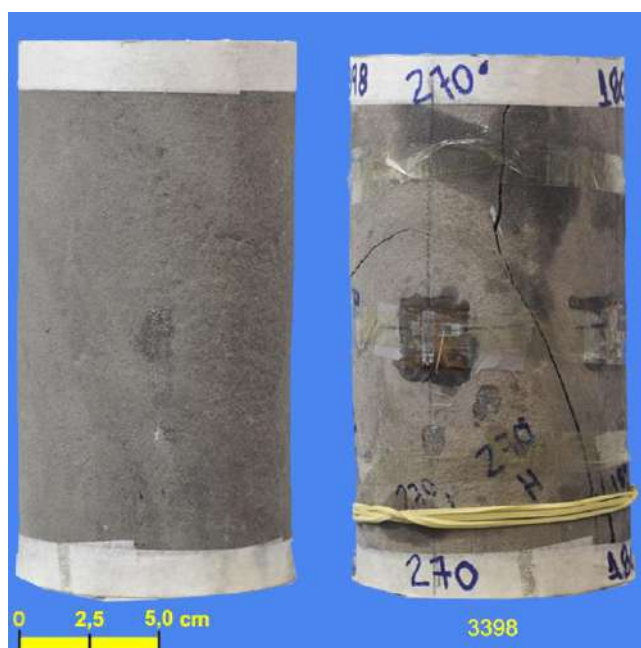
Corpo de prova 3396 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: folhelho paripueira.

### 3.1.26. CORPO DE PROVA 3397



Corpo de prova 3397 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: folhelho paripueira.

### 3.1.27. CORPO DE PROVA 3398



Corpo de prova 3398 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: folhelho paripueira.



### 3.1.28. CORPO DE PROVA 3399



Corpo de prova 3399 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: arenito poção.

### 3.1.29. CORPO DE PROVA 3400



Corpo de prova 3400 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: arenito poção.

### 3.1.30. CORPO DE PROVA 3401



Corpo de prova 3401 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: arenito poção.

### 3.1.31. CORPO DE PROVA 3402



Corpo de prova 3402 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: arenito poção.

### 3.1.32. CORPO DE PROVA 3403



Corpo de prova 3403 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: arenito poção.

### 3.1.33. CORPO DE PROVA 3404



Corpo de prova 3404 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: intercalação de arenito, siltito, argilito, carbonato e folhelho, poção.

### 3.1.34. CORPO DE PROVA 3405



Corpo de prova 3405 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: intercalação de arenito, siltito, argilito, carbonato e folhelho, poção.

### 3.1.35. CORPO DE PROVA 3406



Corpo de prova 3406 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: intercalação de arenito, siltito, argilito, carbonato e folhelho, poção.



### 3.1.36. CORPO DE PROVA 3407



Corpo de prova 3407 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: intercalação de arenito, siltito, argilito, carbonato e folhelho, poção.

### 3.1.37. CORPO DE PROVA 3411



Corpo de prova 3411 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal homogêneo.

### 3.1.38. CORPO DE PROVA 3412



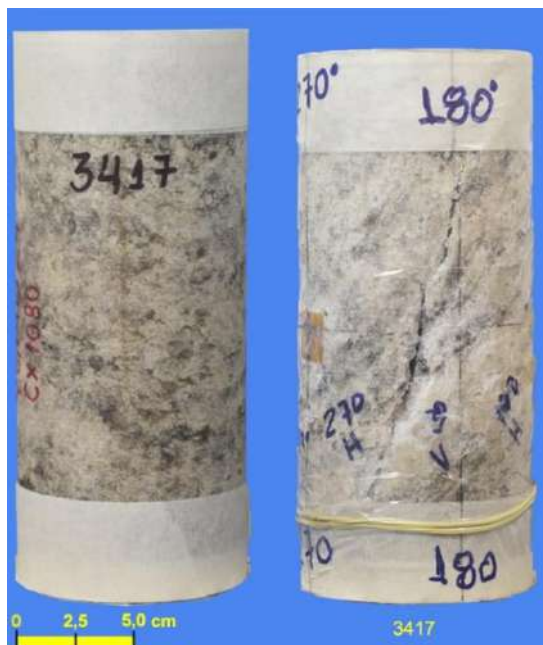
Corpo de prova 3412 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal homogêneo.

### 3.1.39. CORPO DE PROVA 3413



Corpo de prova 3413 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal amarelo.

### 3.1.40. CORPO DE PROVA 3417



Corpo de prova 3417 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal amarelo.

### 3.1.41. CORPO DE PROVA 3418



Corpo de prova 3418 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal banda alternada.



### 3.1.42. CORPO DE PROVA 3420



Corpo de prova 3420 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal banda alternada.

### 3.1.43. CORPO DE PROVA 3423



Corpo de prova 3423 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal intercalado.

### 3.1.44. CORPO DE PROVA 3426



Corpo de prova 3426 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal intercalado.

### 3.1.45. CORPO DE PROVA 3427



Corpo de prova 3427 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: conglomerado poção.

### 3.1.46. CORPO DE PROVA 3428



Corpo de prova 3428 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: conglomerado poção.

### 3.1.47. CORPO DE PROVA 3429



Corpo de prova 3429 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: conglomerado poção.

### 3.1.48. CORPO DE PROVA 3430



Corpo de prova 3430 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal bandado.

### 3.1.49. CORPO DE PROVA 3431



Corpo de prova 3431 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal bandado.



### 3.1.50. CORPO DE PROVA 3433



Corpo de prova 3433 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal impuro.

### 3.1.51. CORPO DE PROVA 3437



Corpo de prova 3437 antes e após realização do ensaio de compressão uniaxial. Litotipo: sal impuro.

## 3.2. Compressão Triaxial

### 3.2.1. CORPO DE PROVA 3408



Corpo de prova 3408 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.

Litotipo: sal homogêneo

### 3.2.2. CORPO DE PROVA 3409



Corpo de prova 3409 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.

Litotipo: sal homogêneo.

### 3.2.3. CORPO DE PROVA 3410



Corpo de prova 3410 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: sal homogêneo.

### 3.2.4. CORPO DE PROVA 3419



Corpo de prova 3419 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: sal banda alternada.



### 3.2.5. CORPO DE PROVA 3421



Corpo de prova 3421 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: sal banda alternada.

### 3.2.6. CORPO DE PROVA 3422



Corpo de prova 3422 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: sal banda alternada.

### 3.2.7. CORPO DE PROVA 3432



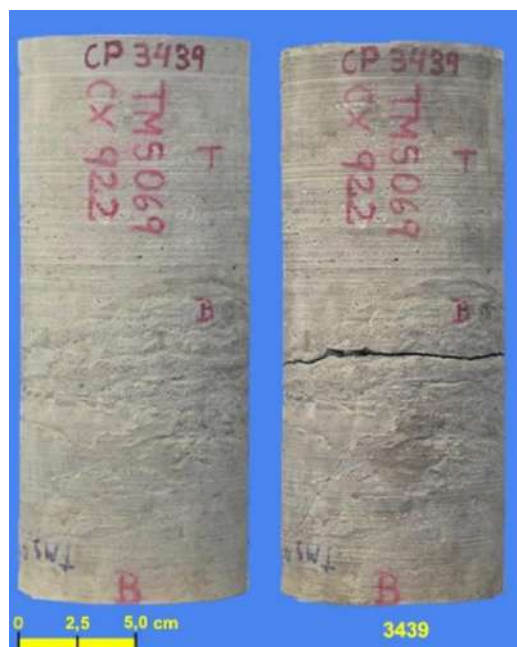
Corpo de prova 3432 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: sal homogêneo.

### 3.2.8. CORPO DE PROVA 3438



Corpo de prova 3438 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: arenito com interc. folhelho e calcário.

### 3.2.9. CORPO DE PROVA 3439



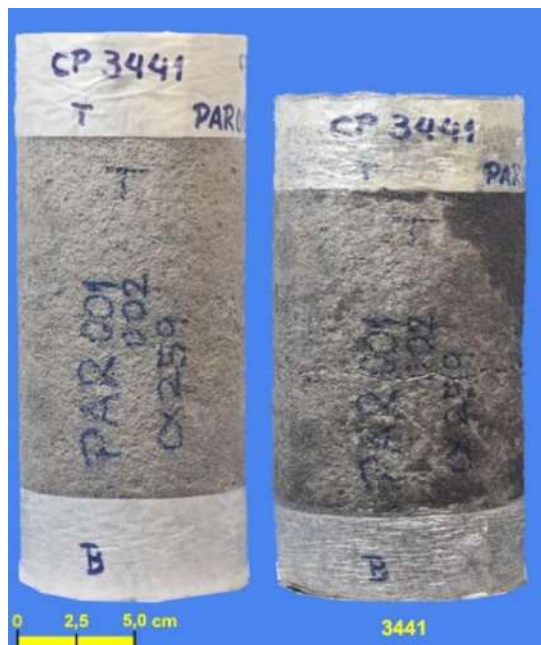
Corpo de prova 3439 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: folhelho com calcário.

### 3.2.10. CORPO DE PROVA 3440



Corpo de prova 3440 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: argilito/folhelho com arenito e calcário.

### 3.2.11. CORPO DE PROVA 3441



Corpo de prova 3441 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: arenito poção.

### 3.2.12. CORPO DE PROVA 3442



Corpo de prova 3442 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: arenito poção.

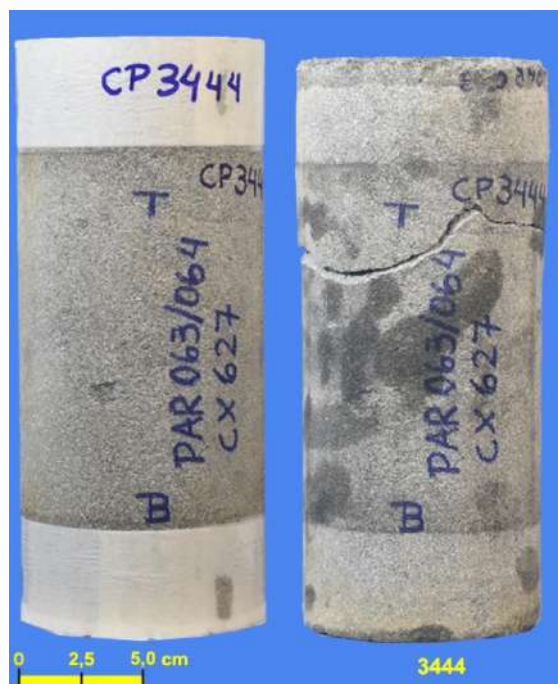


### 3.2.13. CORPO DE PROVA 3443



Corpo de prova 3443 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: arenito poção.

### 3.2.14. CORPO DE PROVA 3444



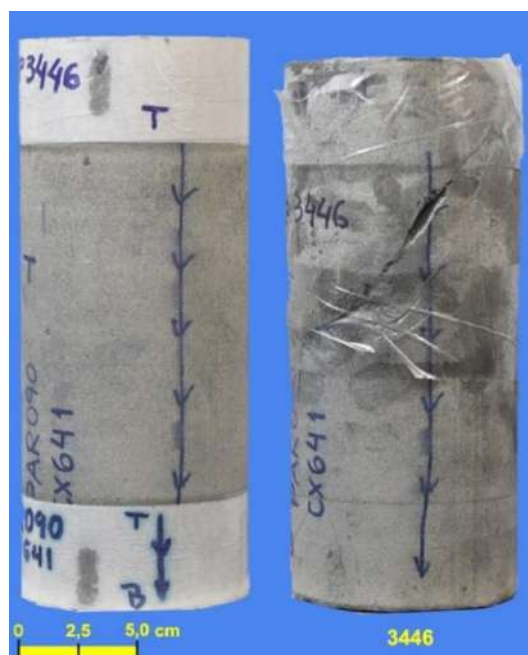
Corpo de prova 3444 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: arenito poção.

### 3.2.15. CORPO DE PROVA 3445



Corpo de prova 3445 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: arenito poção.

### 3.2.16. CORPO DE PROVA 3446



Corpo de prova 3446 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: arenito poção.

### 3.2.17. CORPO DE PROVA 3448



Corpo de prova 3448 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: sal bandado.

### 3.2.18. CORPO DE PROVA 3449

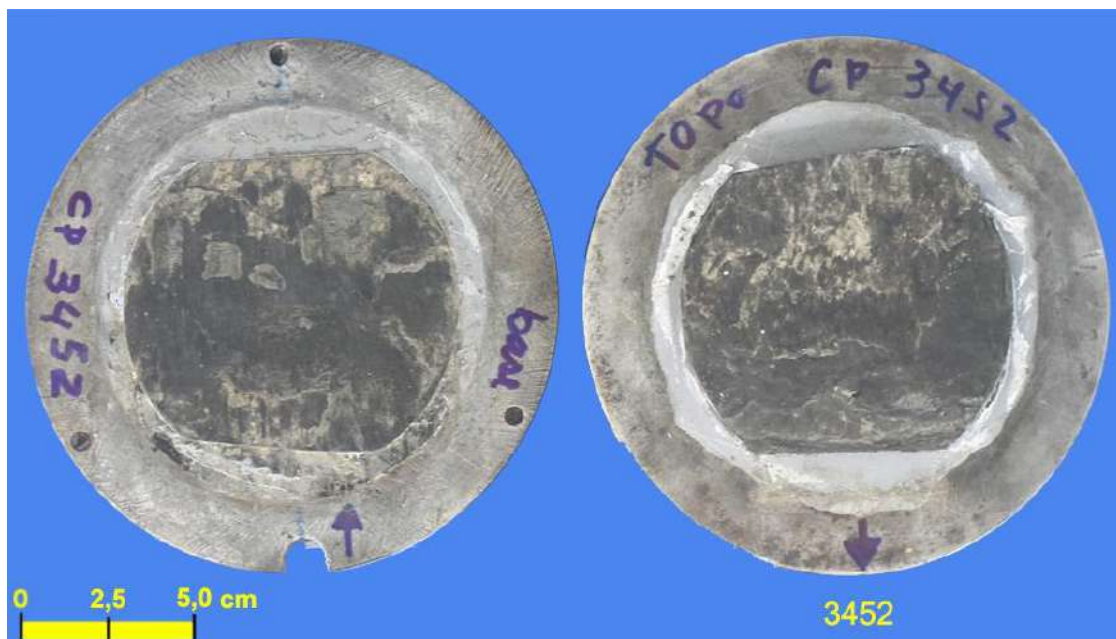


Corpo de prova 3449 antes e após realização do ensaio de compressão triaxial.  
Litotipo: sal bandado.



### 3.3. Cisalhamento Direto

#### 3.3.1. CORPO DE PROVA 3452



Imagens do Corpo de prova 3452 após ensaio de cisalhamento direto. Litotipo: folhelho com intercalações finas de calcário.

#### 3.3.2. CORPO DE PROVA 3453

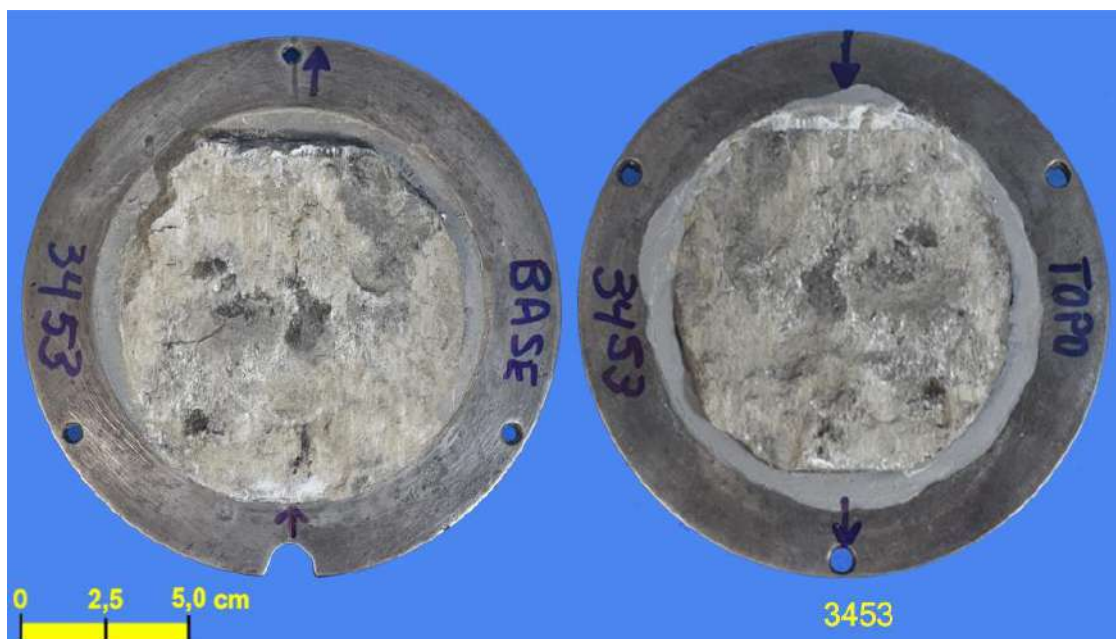
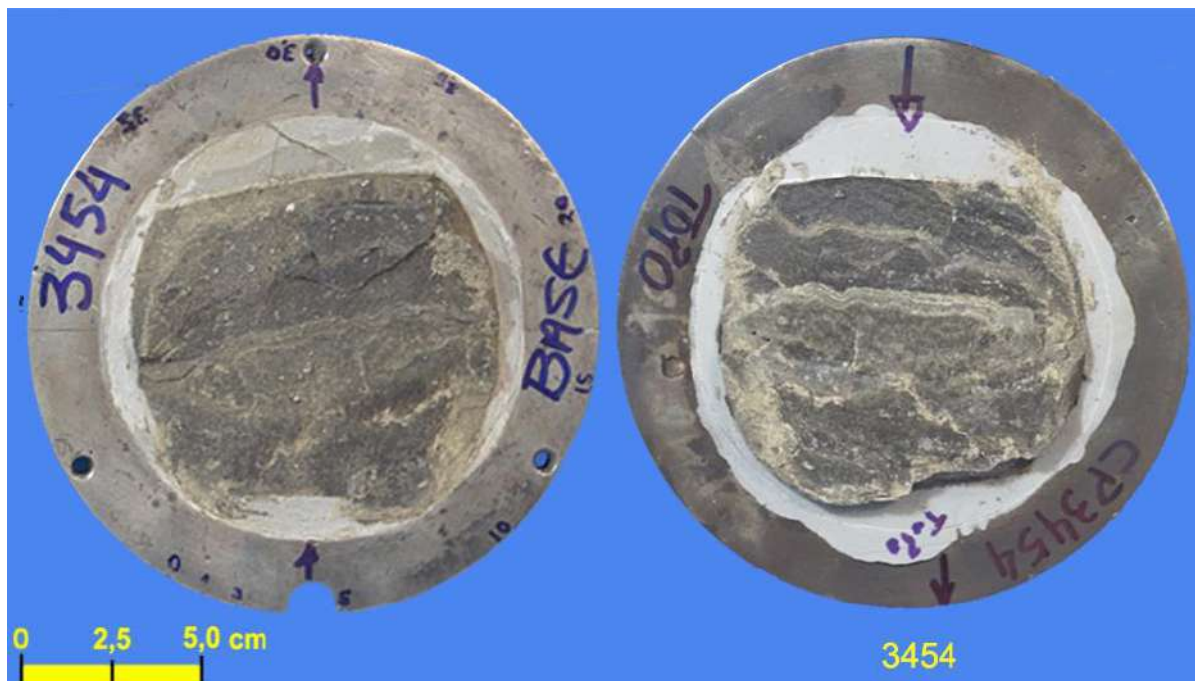


Imagem do corpo de prova 3453 após ensaio de cisalhamento direto. Litotipo: folhelho com intercalações finas de calcário.

### 3.3.3. CORPO DE PROVA 3454



Imagens do Corpo de prova 3454 após ensaio de cisalhamento direto. Litotipo: folhelho com intercalações finas de calcário.

### 3.3.4. CORPO DE PROVA 3455

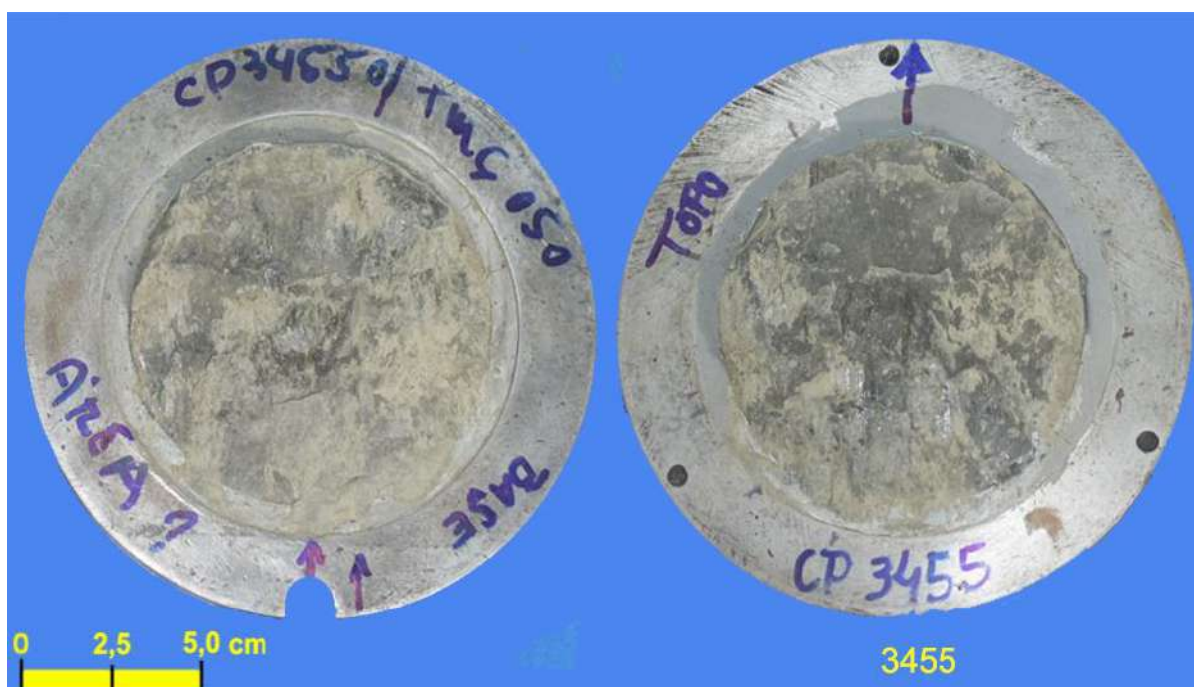


Imagem do corpo de prova 3455 após ensaio de cisalhamento direto. Litotipo: folhelho com intercalações finas de calcário.



### 3.3.5. CORPO DE PROVA 3457



Imagem do corpo de prova 3457 após ensaio de cisalhamento direto. Litotipo: arenito com intercalações de folhelho e calcário.

### 3.3.6. CORPO DE PROVA 3458



Imagem do corpo de prova 3458 após ensaio de cisalhamento direto. Litotipo: arenito com intercalações de folhelho e calcário.

### 3.3.7. CORPO DE PROVA 3459

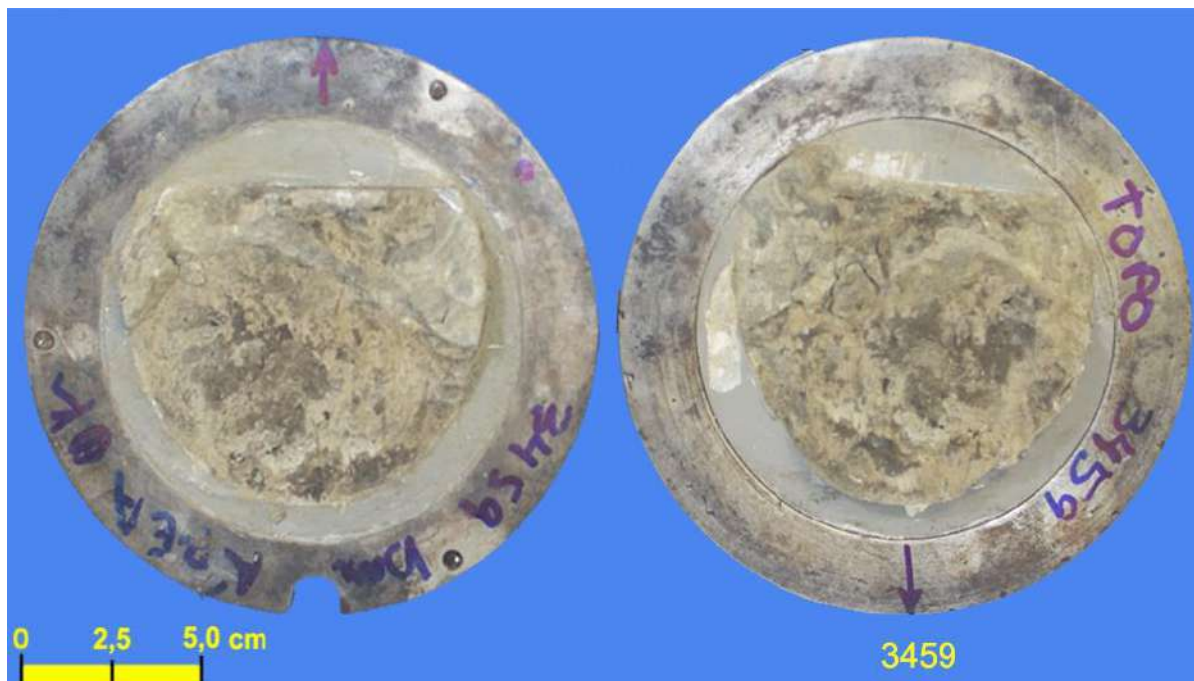


Imagem do corpo de prova 3459 após ensaio de cisalhamento direto. Litotipo: folhelho com intercalações finas de calcário.

### 3.3.8. CORPO DE PROVA 3460

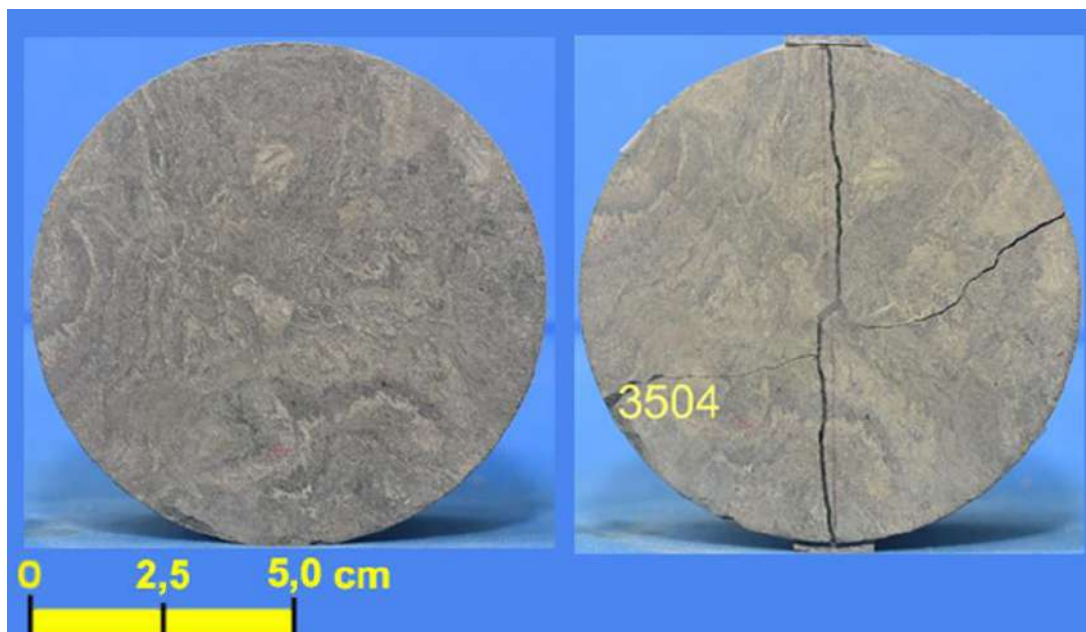


Imagem do corpo de prova 3460 após ensaio de cisalhamento direto. Litotipo: argilito/folhelho com níveis de arenito e brechas de calcário.



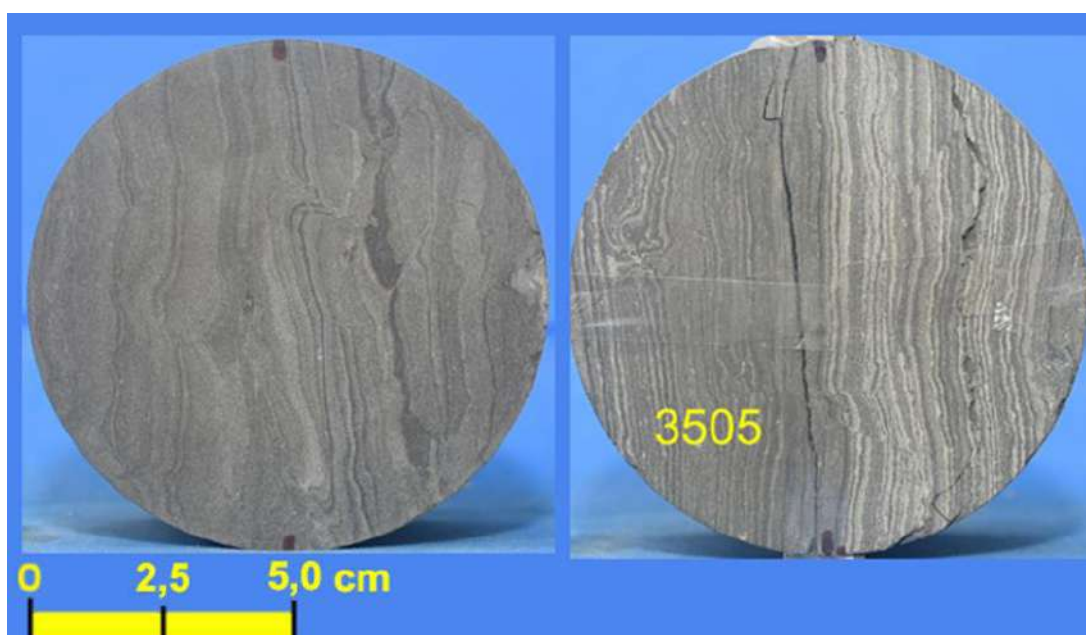
### 3.4. Diametral (Tração Indireta)

#### 3.4.1. CORPO DE PROVA 3504



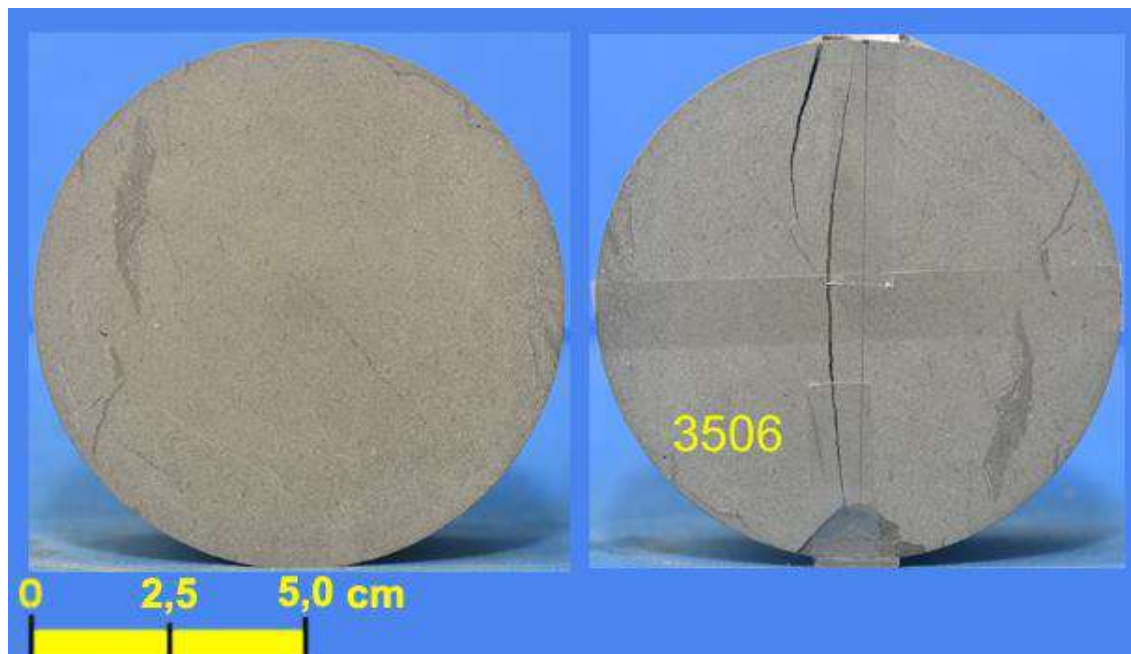
Corpo de prova 3504 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: folhelho.

#### 3.4.2. CORPO DE PROVA 3505



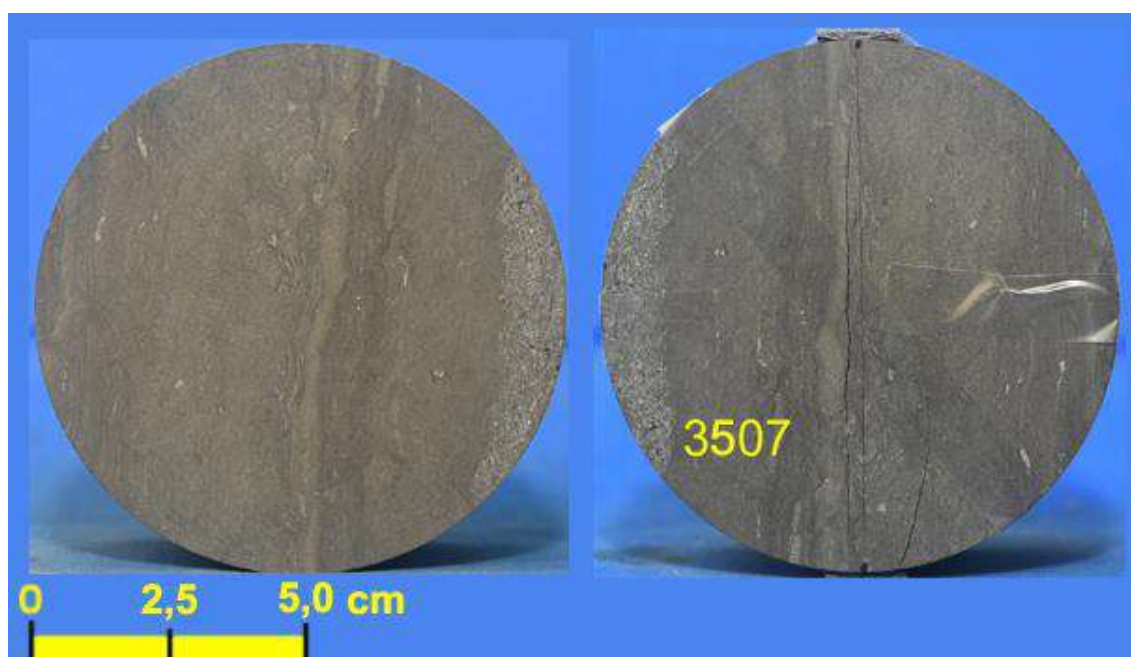
Corpo de prova 3505 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: folhelho.

### 3.4.3. CORPO DE PROVA 3506



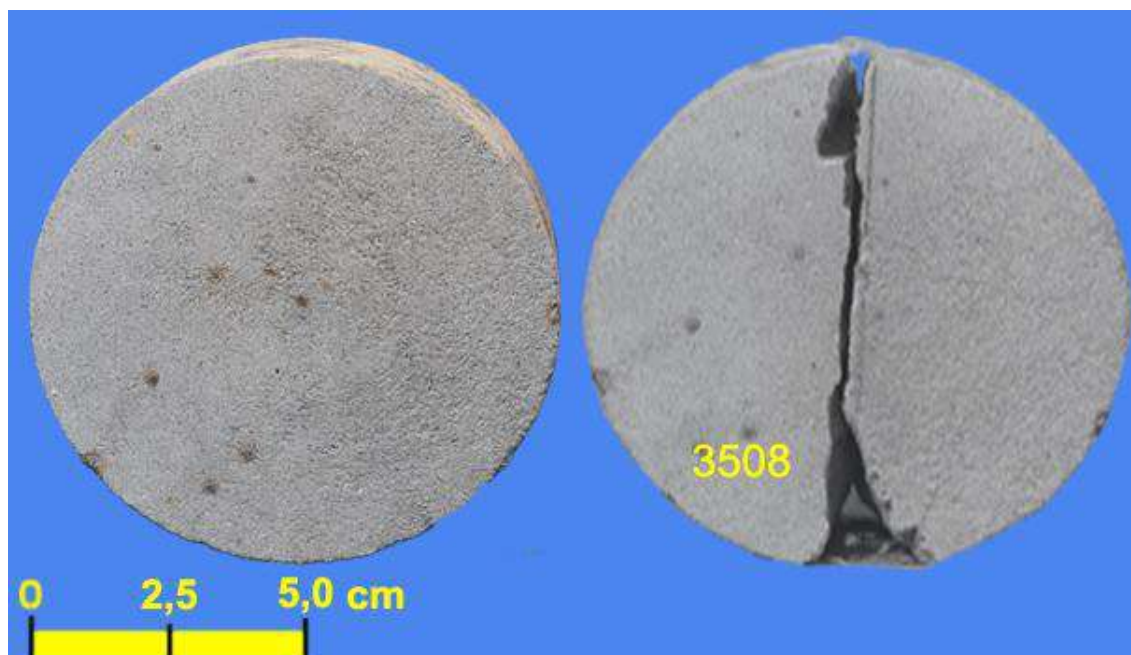
Corpo de prova 3506 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: folhelho.

### 3.4.4. CORPO DE PROVA 3507



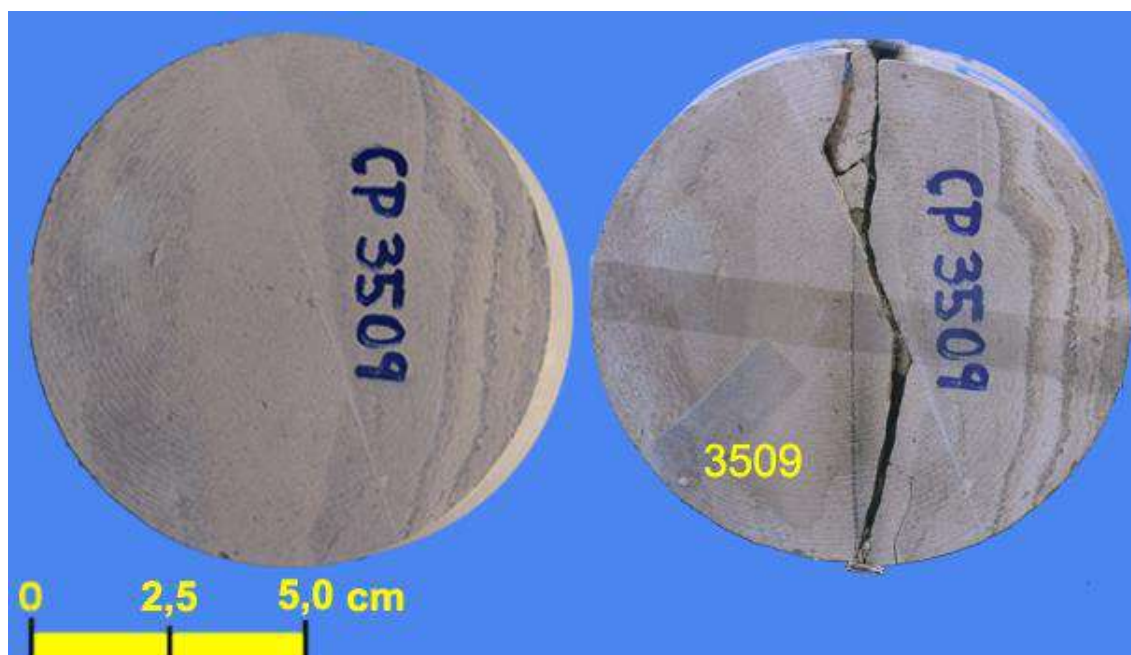
Corpo de prova 3507 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: folhelho.

### 3.4.5. CORPO DE PROVA 3508



Corpo de prova 3508 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: calcarenito.

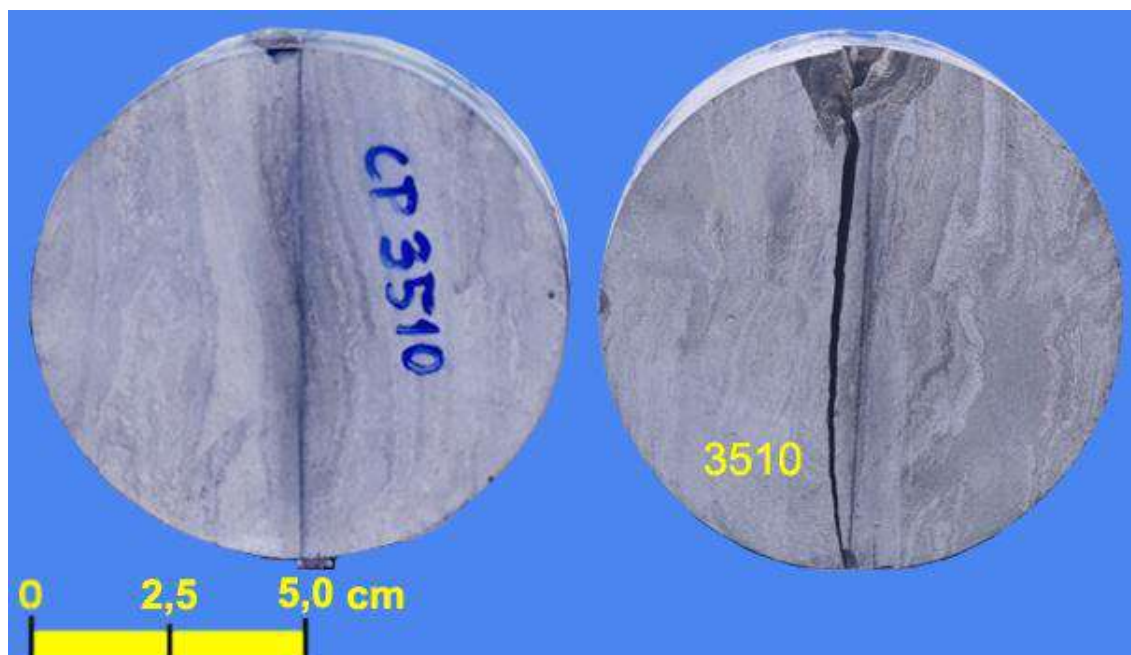
### 3.4.6. CORPO DE PROVA 3509





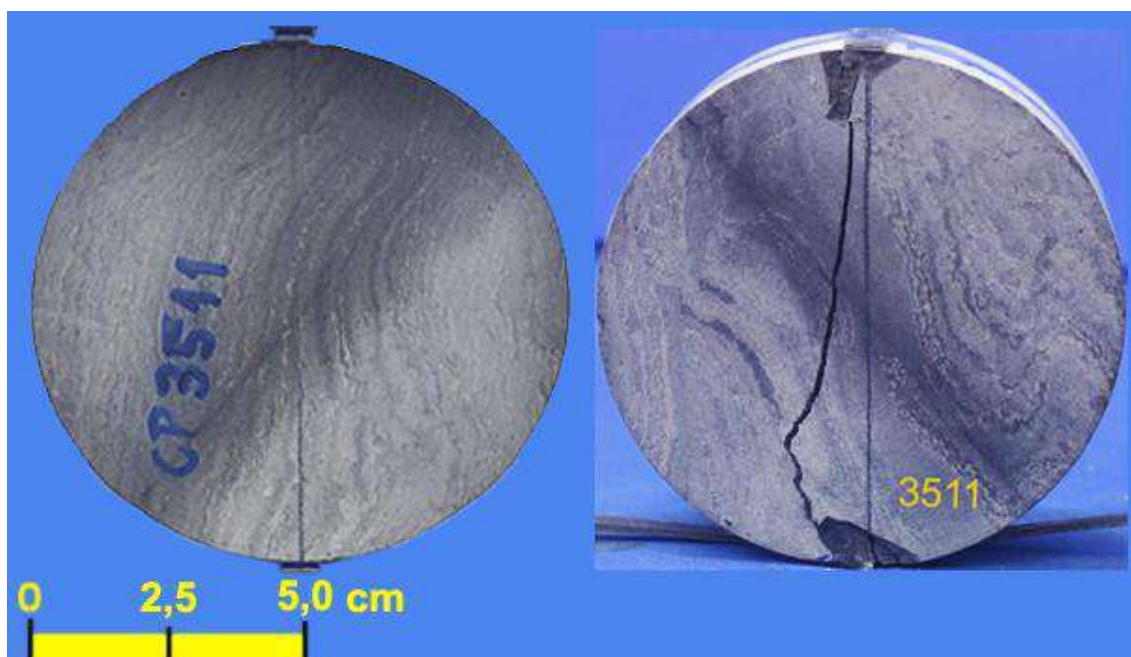
Corpo de prova 3509 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: calcarenito.

### 3.4.7. CORPO DE PROVA 3510



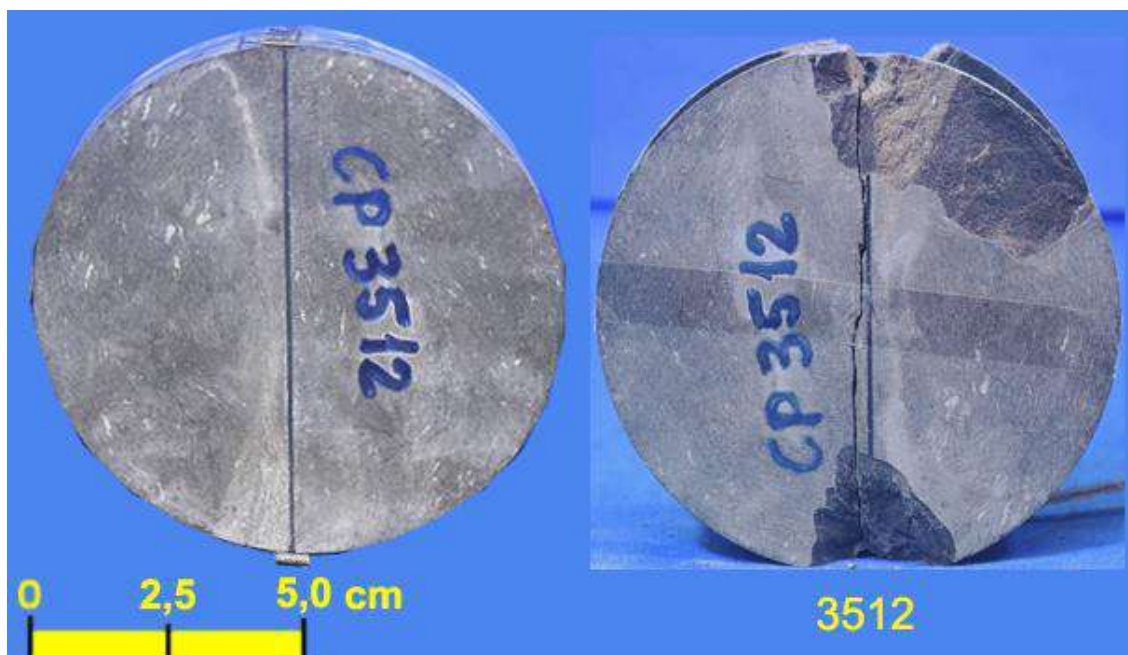
Corpo de prova 3510 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: folhelho.

### 3.4.8. CORPO DE PROVA 3511



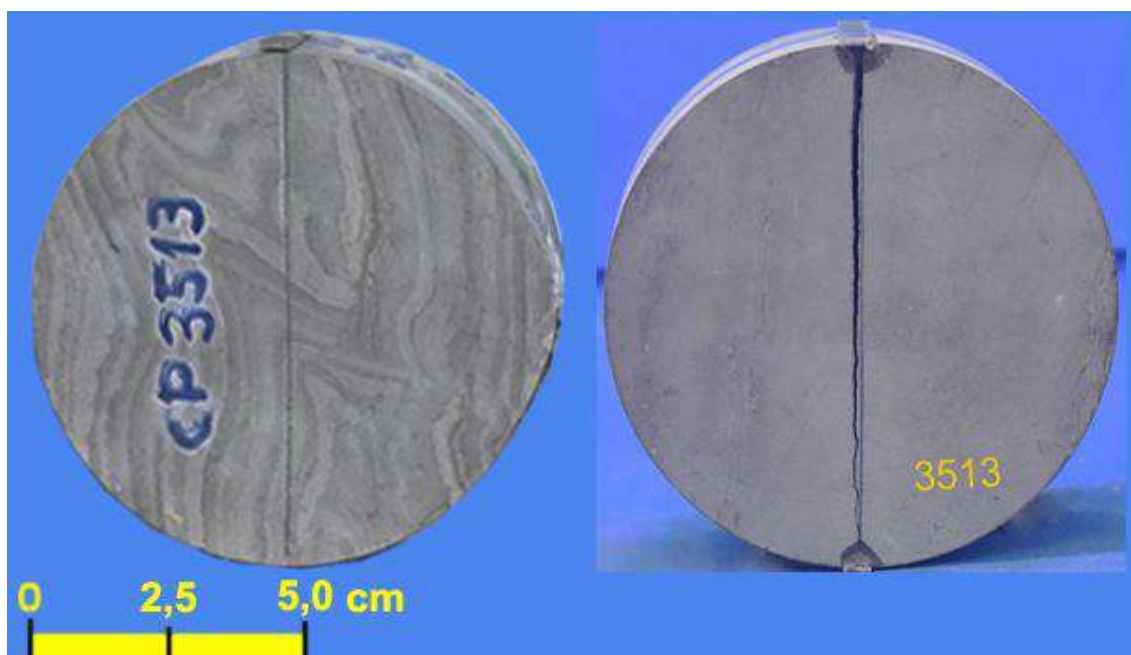
Corpo de prova 3511 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: folhelho.

#### 3.4.9. CORPO DE PROVA 3512



Corpo de prova 3512 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: folhelho.

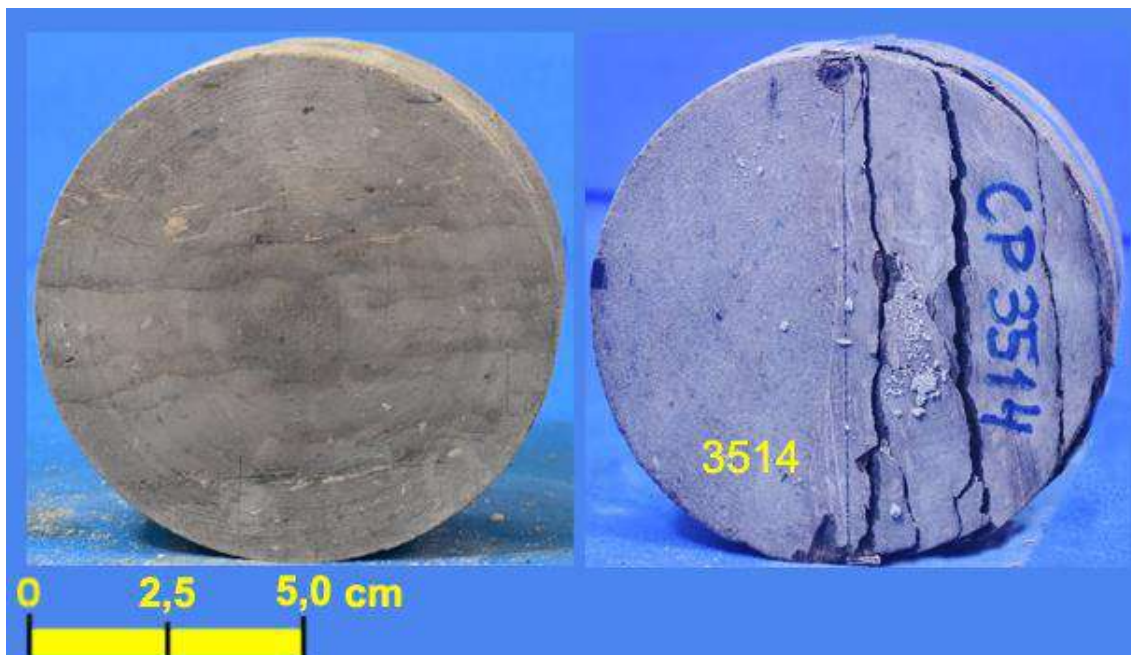
#### 3.4.10. CORPO DE PROVA 3513





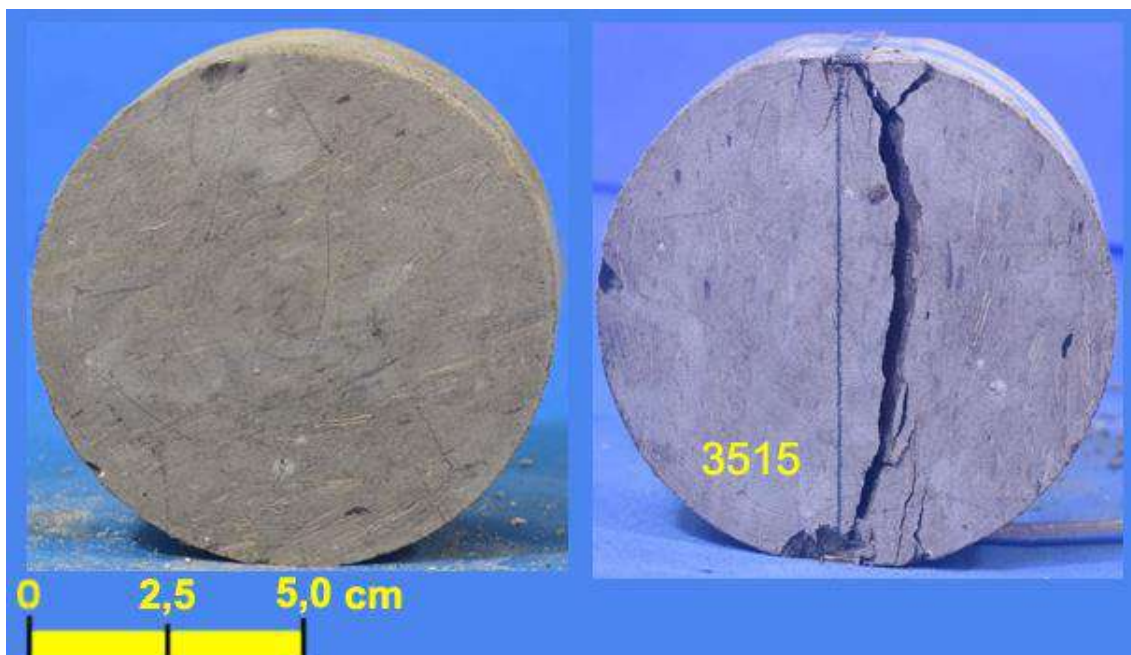
Corpo de prova 3513 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: folhelho.

#### 3.4.11. CORPO DE PROVA 3514



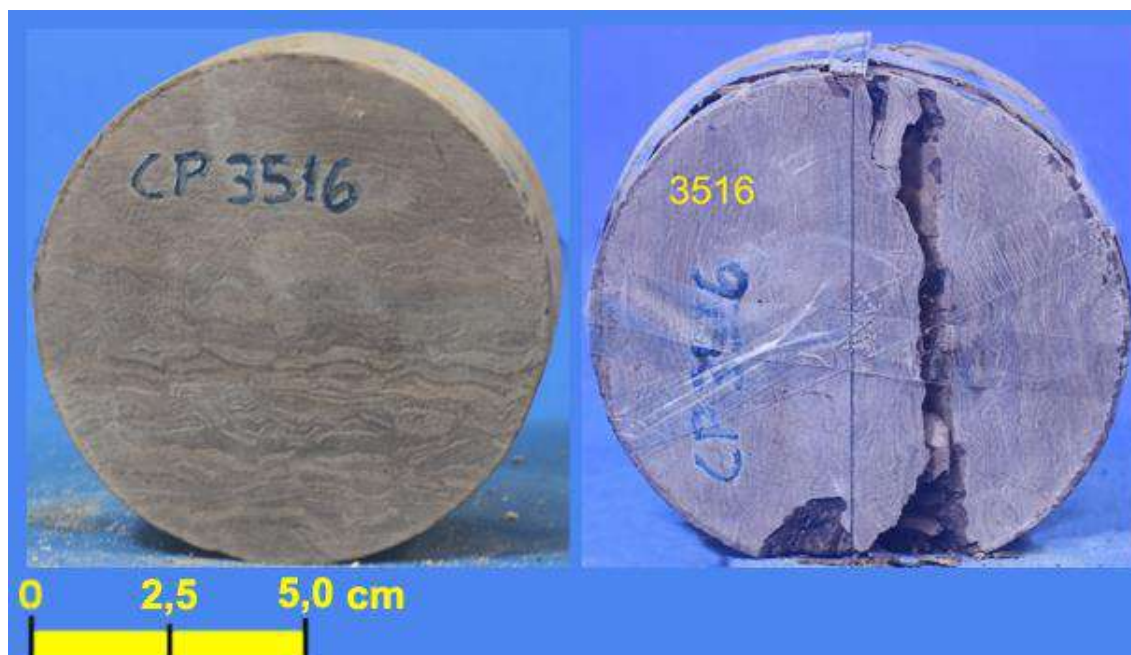
Corpo de prova 3514 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: argilito.

#### 3.4.12. CORPO DE PROVA 3515



Corpo de prova 3515 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: argilito.

### 3.4.13. CORPO DE PROVA 3516



Corpo de prova 3516 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: argilito.

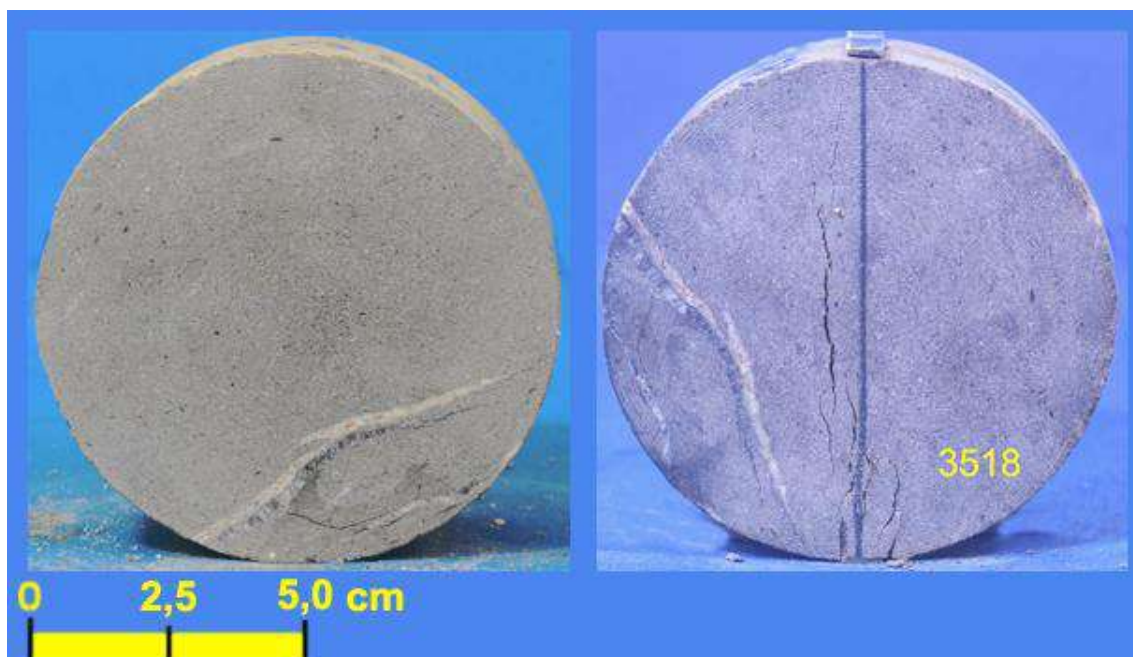
### 3.4.14. CORPO DE PROVA 3517





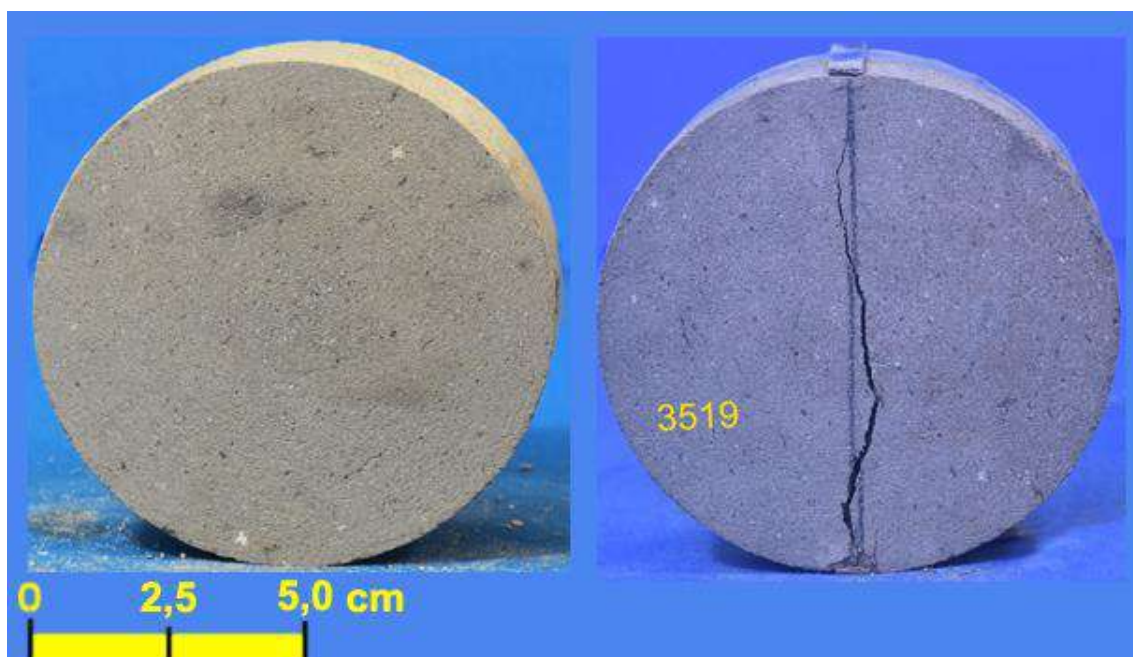
Corpo de prova 3517 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: argilito.

#### 3.4.15. CORPO DE PROVA 3518



Corpo de prova 3518 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: argilito.

#### 3.4.16. CORPO DE PROVA 3519



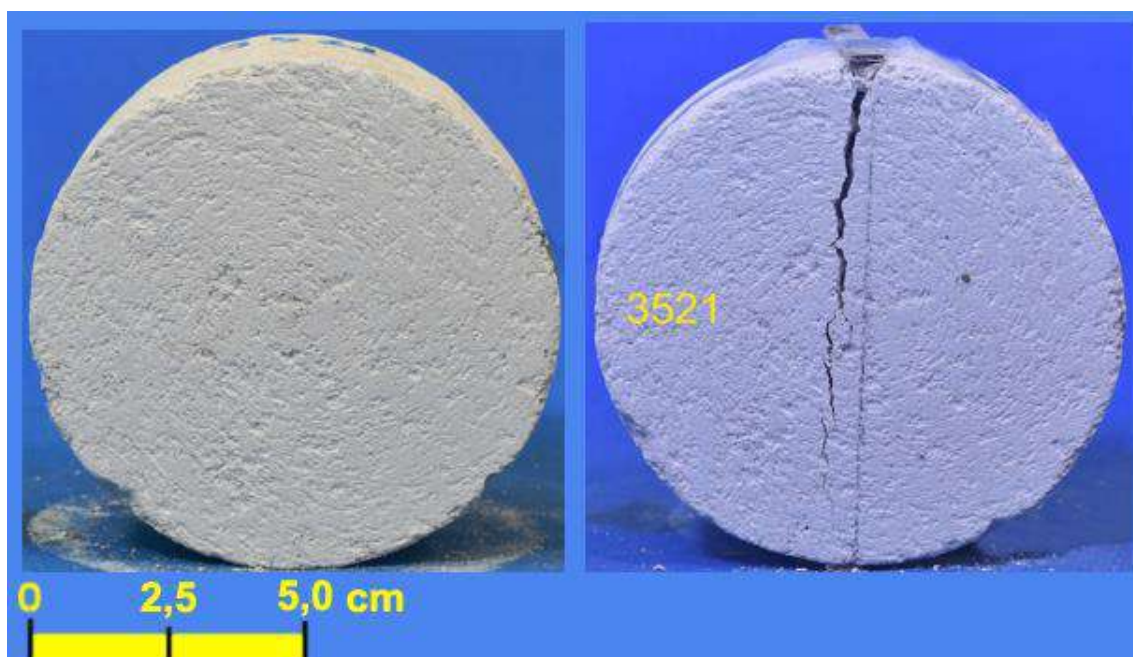
Corpo de prova 3519 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: argilito.

### 3.4.17. CORPO DE PROVA 3520



Corpo de prova 3520 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: arenito Marituba.

### 3.4.18. CORPO DE PROVA 3521





Corpo de prova 3521 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: arenito Marituba.

#### 3.4.19. CORPO DE PROVA 3522



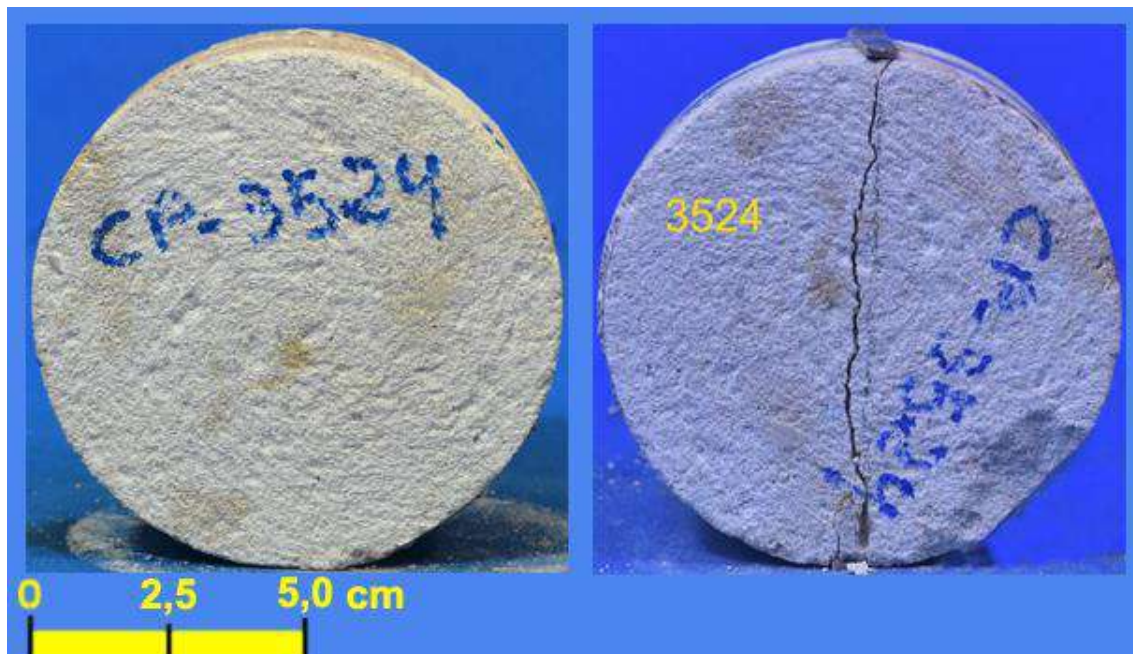
Corpo de prova 3522 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: arenito Marituba.

#### 3.4.20. CORPO DE PROVA 3523



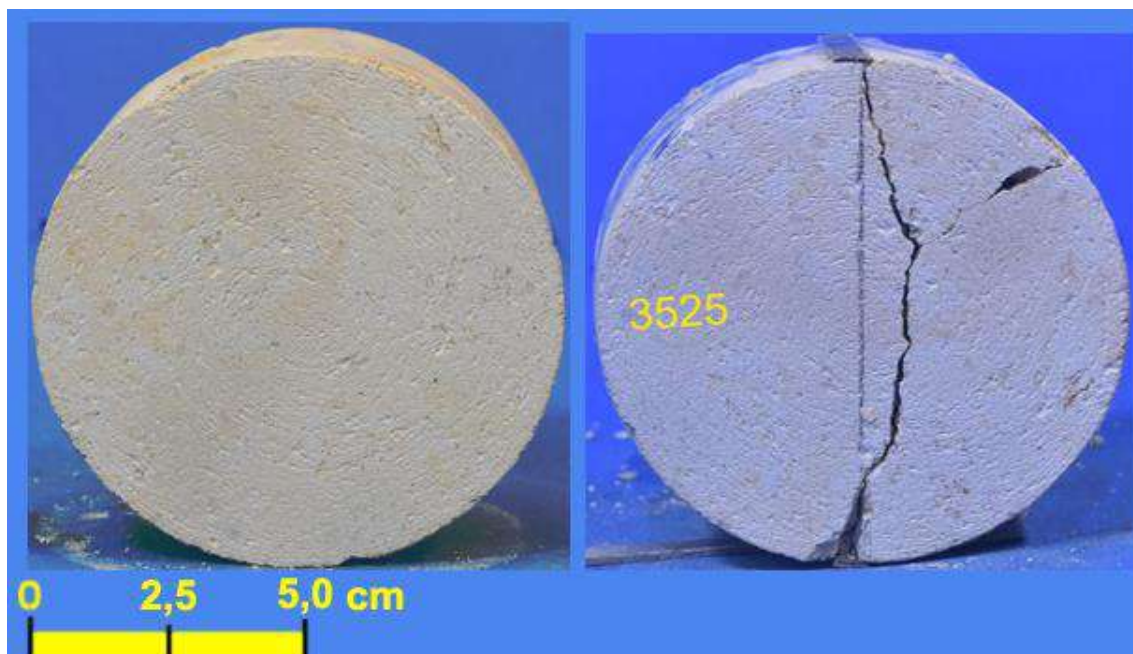
Corpo de prova 3523 antes e após realização do ensaio de compressão diametral.  
Litotipo: arenito Marituba.

#### 3.4.21. CORPO DE PROVA 3524



Corpo de prova 3524 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: arenito Marituba.

#### 3.4.22. CORPO DE PROVA 3525





Corpo de prova 3525 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: argilito Marituba.

#### 3.4.23. CORPO DE PROVA 3526



Corpo de prova 3526 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: argilito Marituba.

#### 3.4.24. CORPO DE PROVA 3527



Corpo de prova 3527 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: argilito Marituba.

#### 3.4.25. CORPO DE PROVA 3528



Corpo de prova 3528 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: arenito.

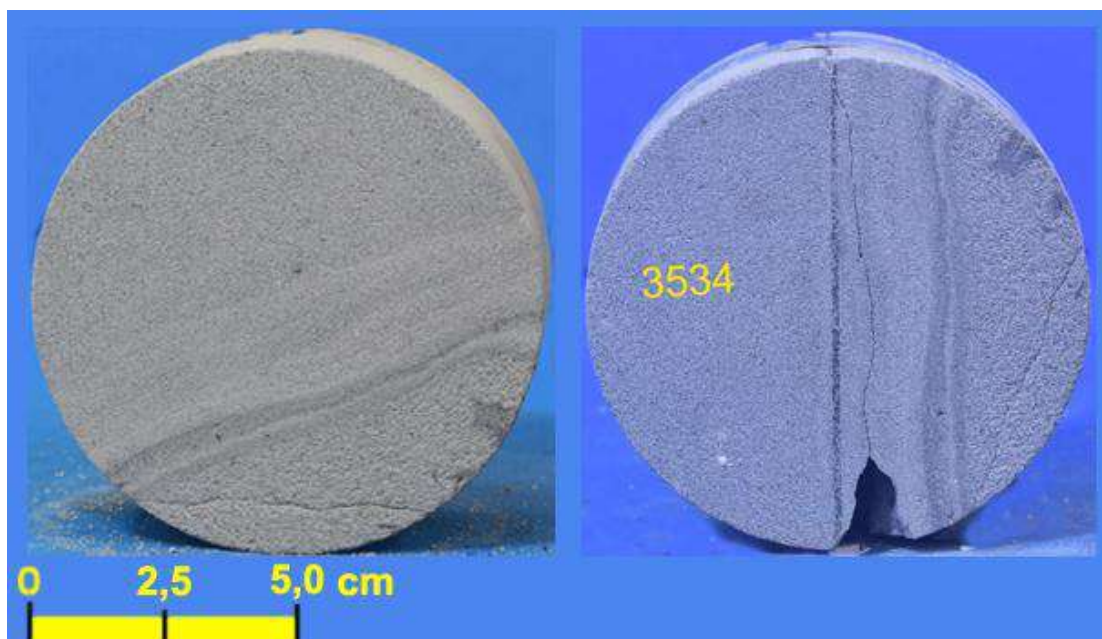
#### 3.4.26. CORPO DE PROVA 3529





Corpo de prova 3529 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: arenito.

### 3.4.27. CORPO DE PROVA 3534



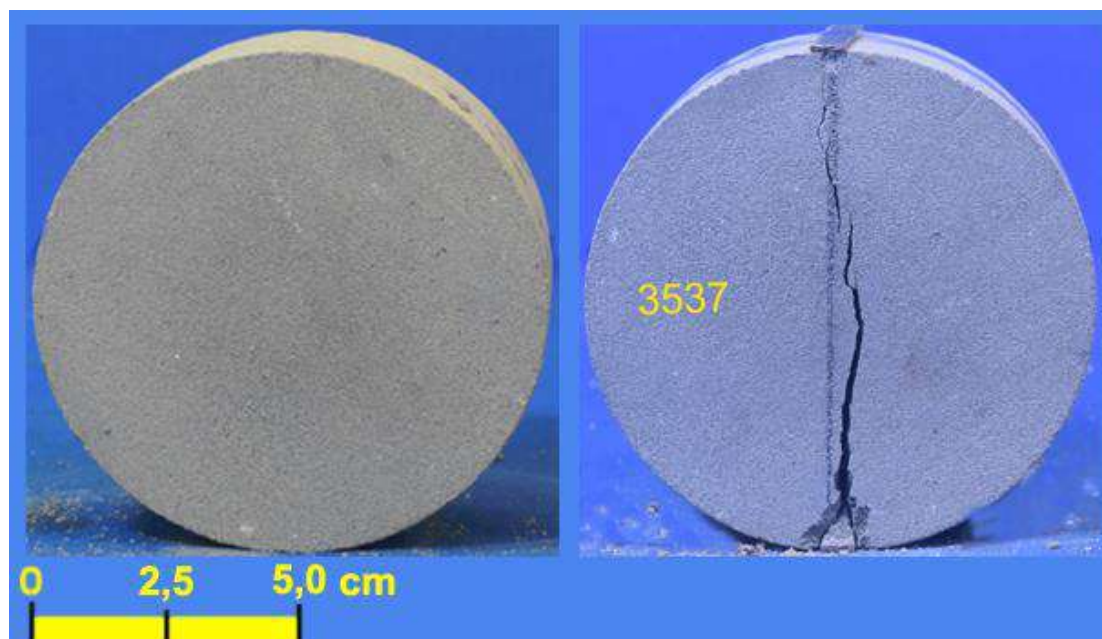
Corpo de prova 3534 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: Poção folhelho.

### 3.4.28. CORPO DE PROVA 3535



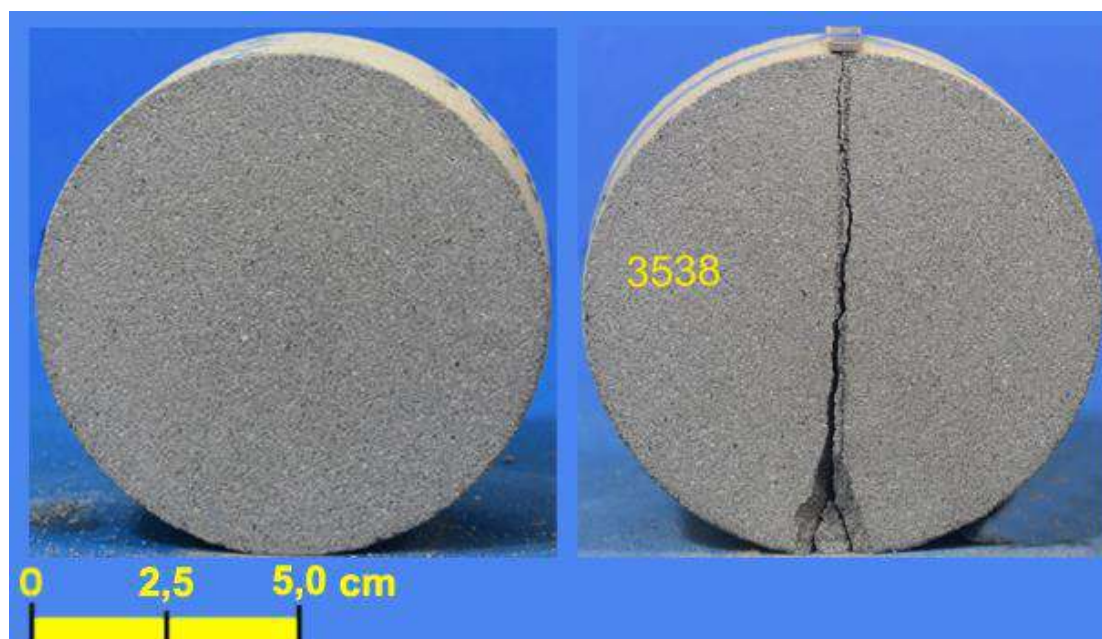
Corpo de prova 3535 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: Poção folhelho.

#### **3.4.29. CORPO DE PROVA 3537**



Corpo de prova 3537 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: Poção folhelho.

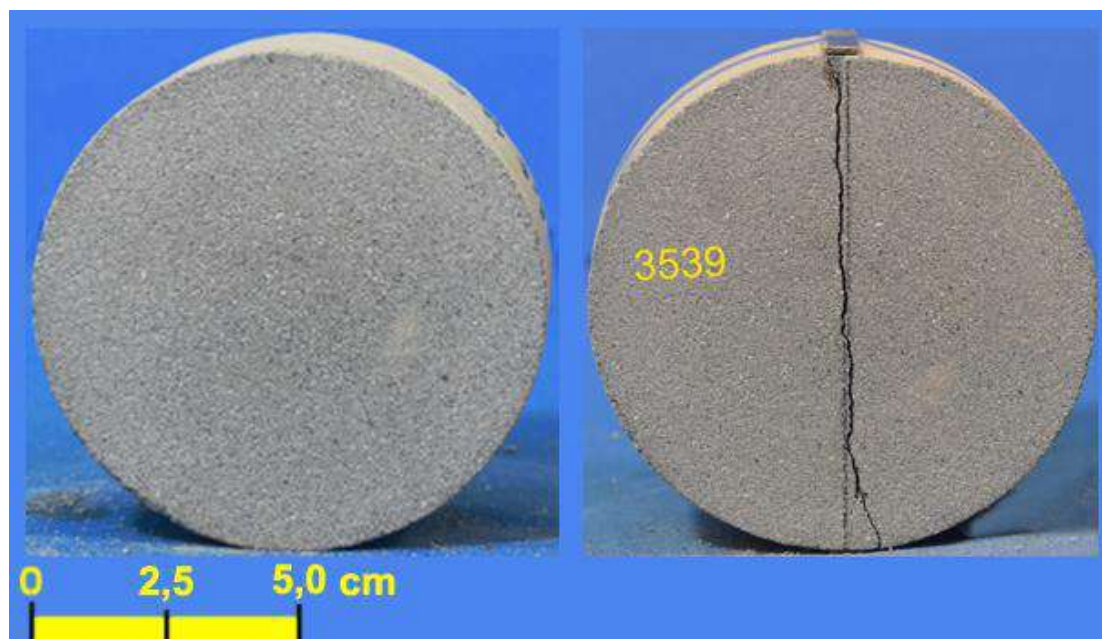
#### **3.4.30. CORPO DE PROVA 3538**





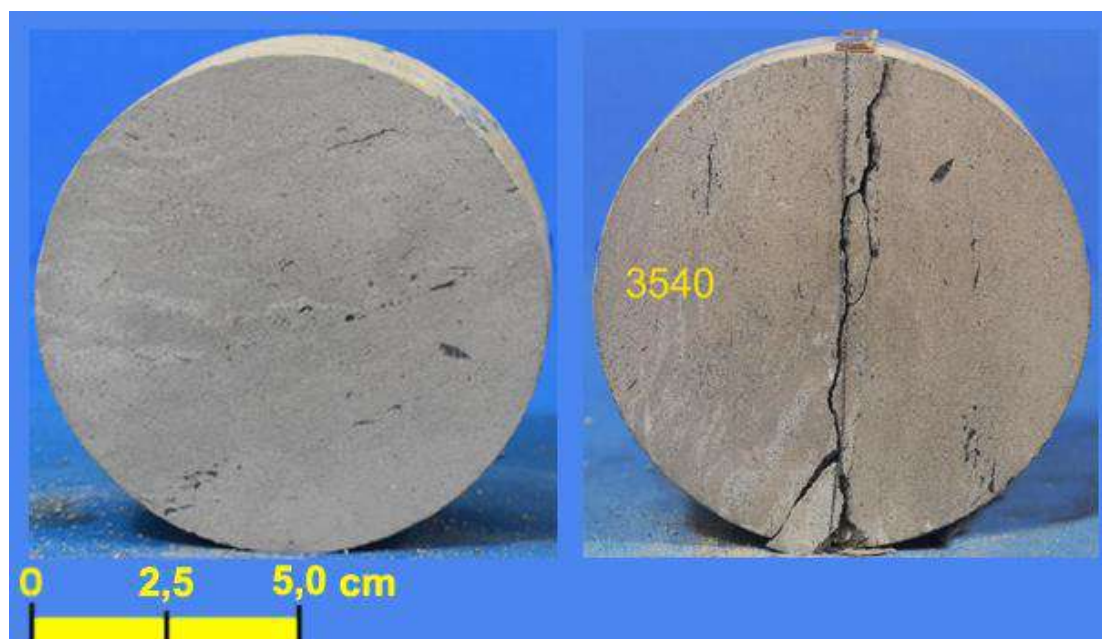
Corpo de prova 3538 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: Poção folhelho.

#### **3.4.31. CORPO DE PROVA 3539**



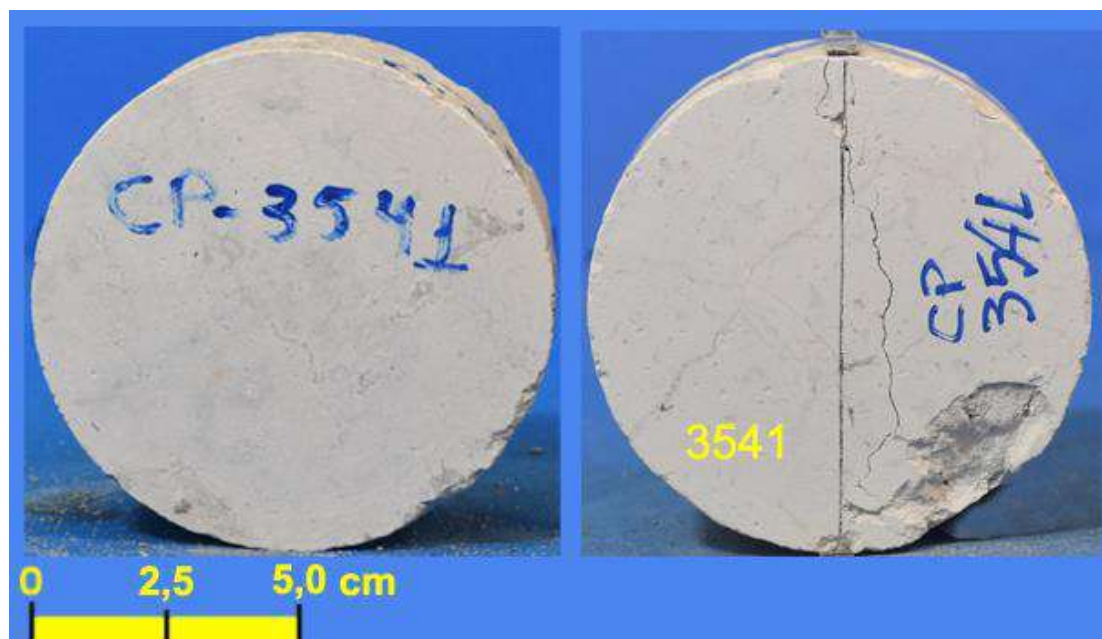
Corpo de prova 3539 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: Poção folhelho.

#### **3.4.32. CORPO DE PROVA 3540**



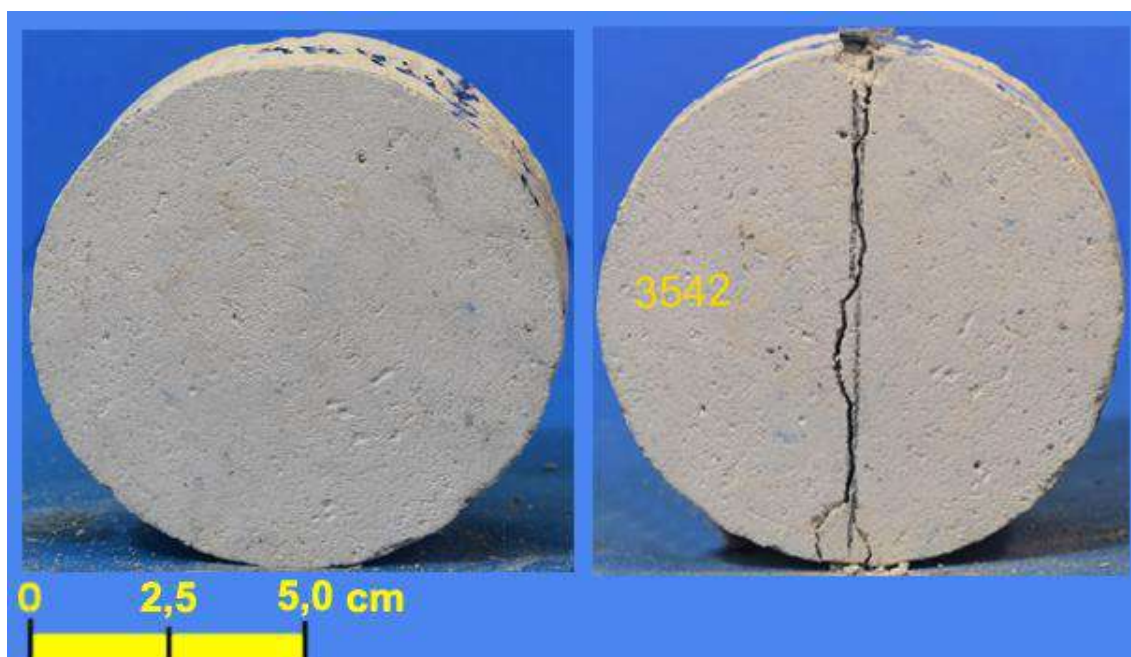
Corpo de prova 3540 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: Poção folhelho.

### 3.4.33. CORPO DE PROVA 3541



Corpo de prova 3541 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: calcilutito / calcarenito.

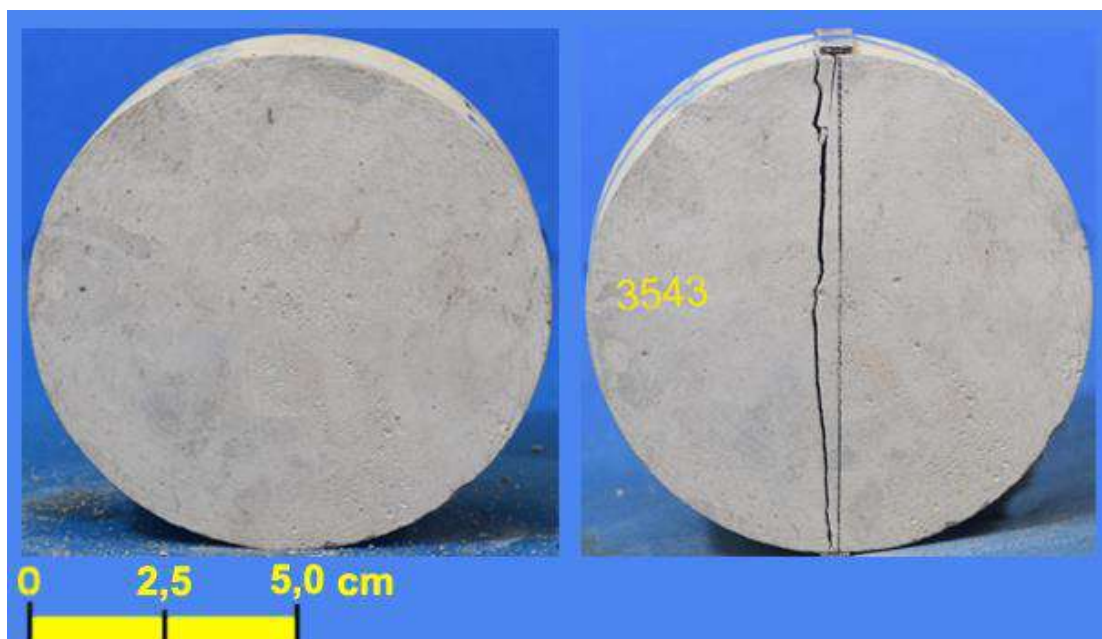
### 3.4.34. CORPO DE PROVA 3542





Corpo de prova 3542 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: calcilutito / calcarenito.

### 3.4.35. CORPO DE PROVA 3543



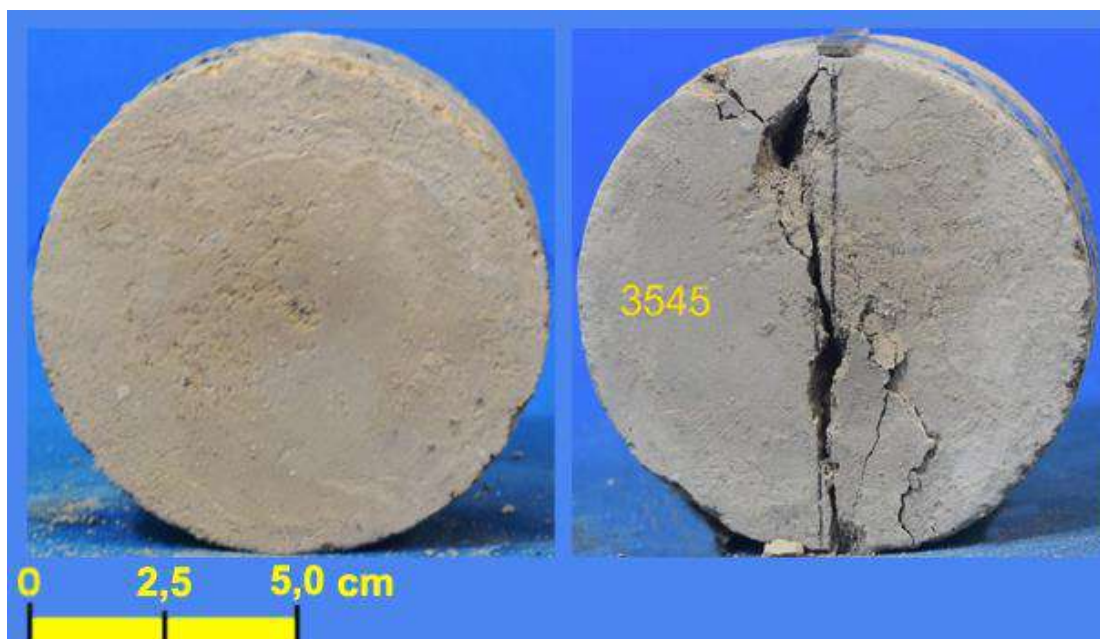
Corpo de prova 3543 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: calcilutito / argila.

### 3.4.36. CORPO DE PROVA 3544



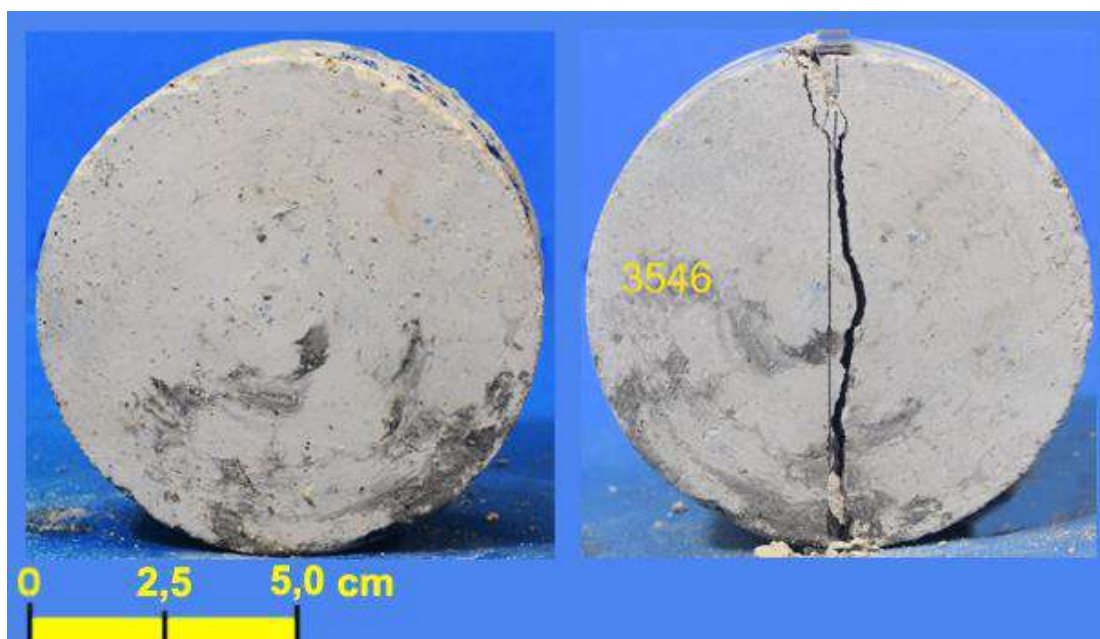
Corpo de prova 3544 antes e após realização do ensaio de compressão diametral.  
Litotipo: calcarenito.

### 3.4.37. CORPO DE PROVA 3545



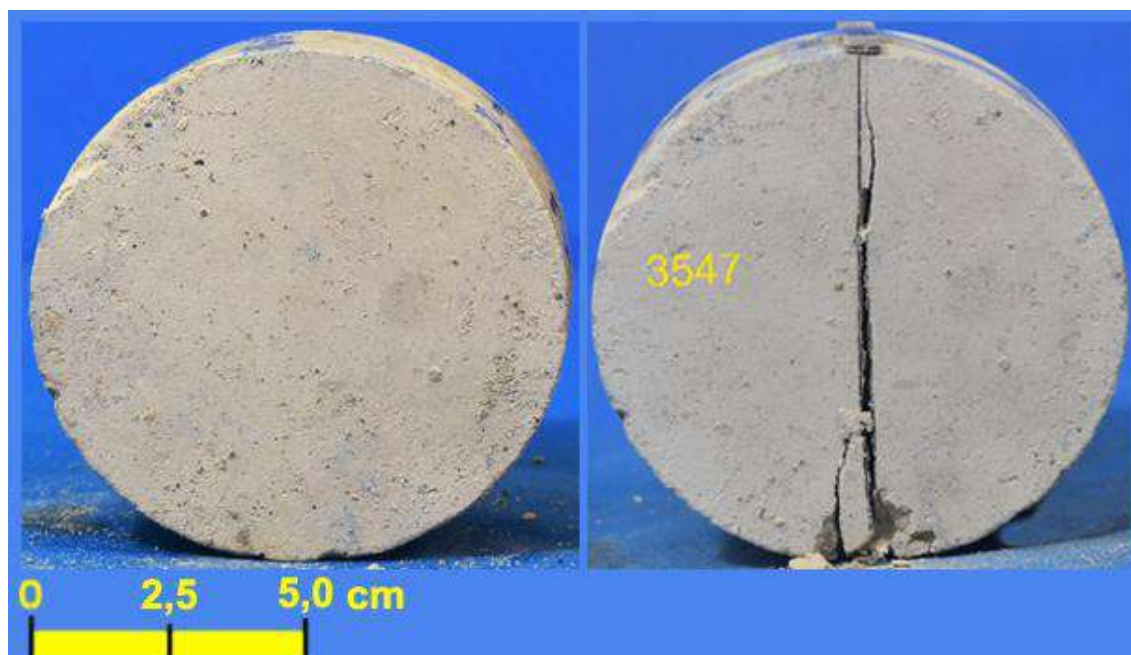
Corpo de prova 3545 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: calcarenito.

### 3.4.38. . CORPO DE PROVA 3546



Corpo de prova 3546 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: calcilutito / calcarenito.

**3.4.39. CORPO DE PROVA 3547**



Corpo de prova 3547 antes e após realização do ensaio de compressão diametral. Litotipo: calcilutito / calcarenito.



### 3.5. Fluência Triaxial com Temperatura

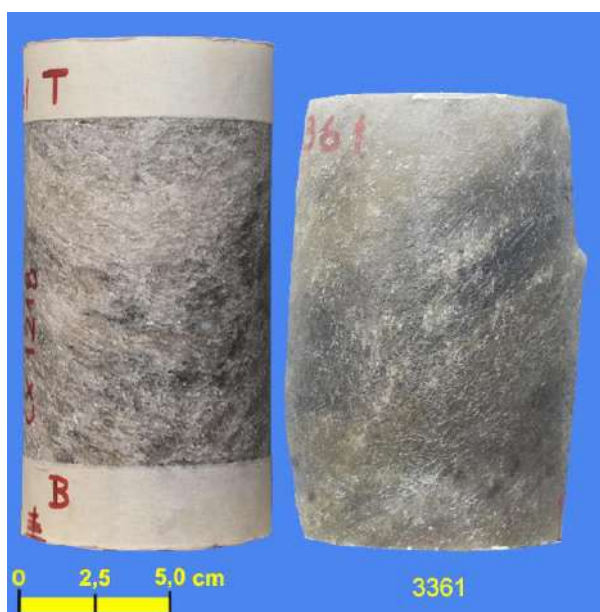
#### 3.5.1. CORPO DE PROVA 3360



Corpo de prova 3360 antes e após realização do ensaio de fluência.

Litotipo: sal-gema cinza homogêneo.

#### 3.5.2. CORPO DE PROVA 3361





Corpo de prova 3361 antes e após realização do ensaio de fluência.

Litotipo: sal-gema cinza homogêneo.

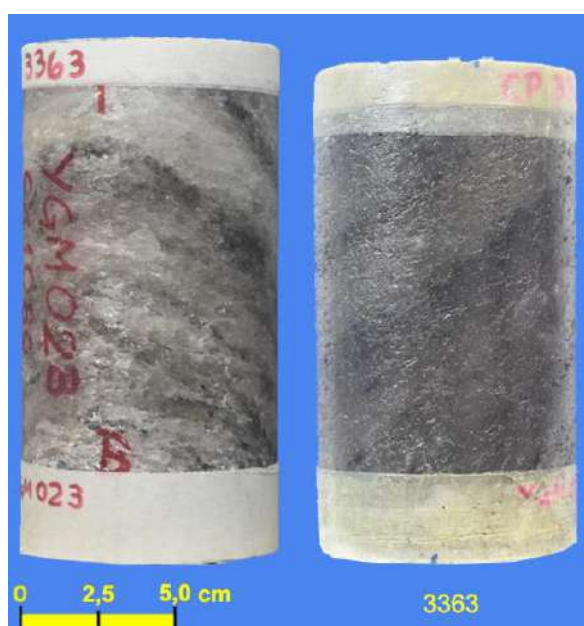
### 3.5.3. CORPO DE PROVA 3362



Corpo de prova 3362 antes e após interrupção do ensaio de fluência.

Litotipo: sal-gema amarelo acinzentado mosqueado.

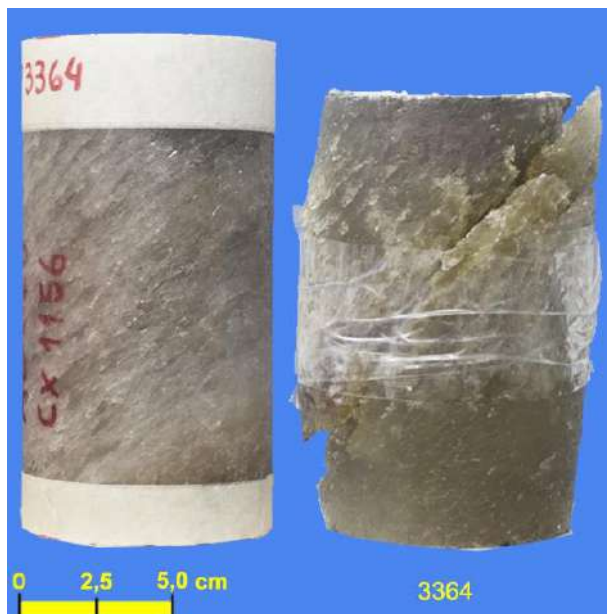
### 3.5.4. CORPO DE PROVA 3363



Corpo de prova 3363 antes e após realização do ensaio de fluência.

Litotipo: sal-gema amarelo acinzentado mosqueado.

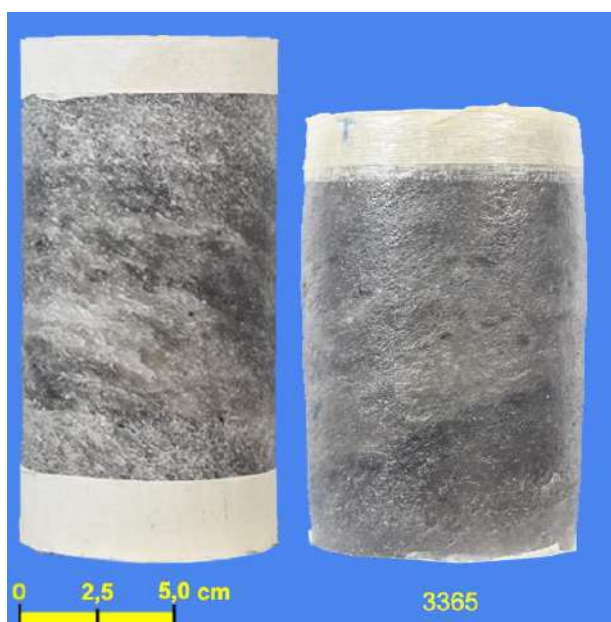
### 3.5.5. CORPO DE PROVA 3364



Corpo de prova 3364 antes e após realização do ensaio de fluência.

Litotipo: sal-gema bandas alternadas diferentes cores / composições.

### 3.5.6. CORPO DE PROVA 3365



Corpo de prova 3365 antes e após realização do ensaio de fluência.

Litotipo: sal-gema bandas alternadas diferentes cores / composições.

## **ANEXO B**

### **RT N° 165 434-205 - ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DOS SERVIÇOS DE SONDAÇÃO DO POÇO ESTRATIGRÁFICO PE-04 - ÁREA DE ESTUDO DA BRASKEM, BAIRRO PINHEIRO, MACEIÓ - ALAGOAS.**

**TÍTULO DO RELATÓRIO**

Acompanhamento técnico dos serviços de sondagem do  
poço estratigráfico PE-04 - Área de estudo da Braskem,  
bairro Pinheiro, Maceió - Alagoas.

**CLIENTE**

Braskem S.A.

**UNIDADE RESPONSÁVEL**

**Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente**

Seção de Obras Civas – SOC

Laboratório de Mecânica de Rochas - LMR



## RESUMO

Este relatório contém a descrição das atividades de campo desenvolvidas pelos técnicos deste Instituto durante o acompanhamento da sondagem do poço estratigráfico PE-04, localizado no município de Maceió - AL, no bairro Pinheiro. Os serviços previstos na Proposta Técnica nº 35.760/19, firmada entre o IPT e a Braskem, envolviam acompanhamento da sondagem, auxílio na seleção de amostras, diretrizes para conservação e transporte das amostras para o IPT, em São Paulo, onde seriam submetidas para ensaios de caracterização geomecânica no Laboratório de Mecânica das Rochas (LMR).

As atividades do IPT se desenvolveram ao longo de 10 meses, de julho de 2020 a abril de 2021. A seleção de amostras de rochas realizada balizou-se nos tipos de ensaios previstos na Proposta Técnica supracitada, em orientações de consultores especializados contratados pela Braskem e nas normas e diretrizes técnicas de referência para a execução dos ensaios previstos em contrato. A lista de ensaios (tipos e quantidades) foi modificada ao longo do desenvolvimento das atividades, dinamizando-se conforme as necessidades dos estudos geológico-geotécnicos em desenvolvimento pela Braskem e por sua equipe de consultores. As amostras recebidas por este Instituto, em São Paulo-SP, e os corpos de prova produzidos, se encontram armazenados nas câmaras do Laboratório de Mecânica de Rochas (LMR) do IPT. As amostras são constituídas de litotipos da Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas, tais quais: argilitos, siltitos, arenitos, folhelhos, conglomerados, calcilutitos, calcarenitos e evaporitos. São previstos os seguintes ensaios no LMR: compressão uniaxial e confinada (triaxial), tração direta e indireta (ensaio brasileiro), cisalhamento direto e fluência sob temperatura.

**Palavras-chave:** Bacia Sergipe-Alagoas, Braskem, Evaporitos, Ensaios Geomecânicos; Mecânica das Rochas; Bairro Pinheiro; Alagoas; Maceió.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS E LOCALIZAÇÃO.....	1
3. HISTÓRICO DAS ATIVIDADES RELACIONADAS AO PE-04.....	3
4. METODOLOGIA DE TRABALHO E RESUMO DAS ATIVIDADES.....	6
4.1 Pré-seleção de amostras .....	7
4.2 Acondicionamento.....	19
4.3 Viabilização para transporte das amostras .....	25
4.4 Diretrizes de boas práticas de sondagem .....	28
4.5 Resumo de campo .....	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Localização do poço estratigráfico PE-04 no município de Maceió, nas proximidades da Lagoa Mundaú e da empresa Braskem S.A.....	2
<b>Figura 2:</b> Sonda utilizada para as extrações de testemunho do poço PE-04, durante a retirada do barrilete vermelho (destacado em vermelho) contendo o testemunho para colocação no berço (destacado em amarelo na parte inferior direita da figura)...	4
<b>Figura 3:</b> Exemplos de trechos de testemunhos com amostras consideradas como extremamente brandas. ....	10
<b>Figura 4:</b> Trecho de dois testemunhos considerados como muito brando a brando. Nota-se que foi possível riscar/descascar o trecho com o canivete, porém, os sulcos não foram profundos .....	10
<b>Figura 5:</b> À esquerda, amostra com presença de trincas devido à perda de umidade no trecho. À direita, fissuras (destacadas em vermelho) presentes na amostra de folhelho. Na foto inferior, trecho de margas, que sofreram trincas de retração.....	12
<b>Figura 6:</b> As fotos superior e inferior esquerda apresentam trechos de testemunhos onde as cavidades interferem no diâmetro do cilindro de rocha. A foto inferior direita apresenta uma rocha com uma cavidade pontual, provavelmente devido ao descolamento de um clasto durante a sondagem. Essa amostra poderia ser utilizada para ensaios, sendo descartado o trecho com cavidade.....	13
<b>Figura 7:</b> Trecho de um testemunho com grande quantidade de argila. Nota-se que o trecho destacado em vermelho sofreu um “estrangulamento”, tendo o diâmetro do cilindro de rocha diminuído drasticamente se comparado com o restante do trecho na caixa. ....	14
<b>Figura 8:</b> Trecho de um testemunho apresentando alinhamento irregular (apontado em vermelho). Nota-se a diferença nos diâmetros ao longo do trecho. A seta verde indica a dimensão regular do testemunho. Apontado em vermelho, o trecho com redução.....	14
<b>Figura 9:</b> Foto superior apresenta uma das calhas de alumínio com parte do trecho de rocha “colado”, devido à secagem rápida do fluído de sondagem. Na foto inferior, um trecho em arenito, já limpo, na calha de alumínio. Nota-se que a porção destacada em vermelho teve parte “descolada”, sendo necessário “descascar” manualmente o restante do trecho para regularização da superfície da amostra. ....	15
<b>Figura 10:</b> Caixa plástica para acomodação do testemunho.....	19
<b>Figura 11:</b> Caixa contendo um trecho do testemunho com proteções provisórias em plástico-bolha, para proteção apenas em canteiro, sem transporte por veículos.....	20
<b>Figura 12:</b> Final do testemunho 196, com a plaqueta de madeira identificando o avanço (A= 2,0 m), recuperação (R= 2,0 m) e profundidade final do testemunho (693,49).....	20
<b>Figura 13:</b> Limpeza e análise inicial do testemunho para programação de corte da rocha. ....	21
<b>Figura 14:</b> À esquerda, divisão do teste no berço com o uso de talhadeira e martelo (nas mãos do operador a esquerda da foto). À direita, corte do sal com uso de serra elétrica circular.....	22

- Figura 15:** À esquerda, testemunho no berço, logo após abertura do barrilete e limpeza da rocha. Na foto superior à direita, a rocha foi dividida em trechos, que foram dispostos nas calhas e ordenados na mesa para secagem, da esquerda (topo) para a direita (base). Na foto inferior à direita, testemunhos já colocados nas caixas segundo a ordem e orientação correta..... 23
- Figura 16:** Contêineres para armazenamento dos testemunhos. A figura à direita, apresenta o interior do contêiner, no processo de organização, para amostras não evaporíticas..... 24
- Figura 17:** Contêiner com ar-condicionado para o armazenamento das rochas evaporíticas em canteiro de sondagem..... 25
- Figura 18:** Carregamento do caminhão de caixas contendo amostras destinadas ao IPT. Nota-se a proteção das laterais (à esquerda), do fundo e entre caixas (à direita). ... 26
- Figura 19:** Apresenta-se uma sequência de fotos de um trecho do testemunho contendo três amostras de sal a serem cortadas. A primeira foto à esquerda demonstra como a caixa, contendo o trecho, chegou às dependências do IPT, contendo o trecho embalado, e caixa protegida por espumas nas laterais e fundo. A segunda foto à esquerda expõe a situação após a abertura da embalagem. O trecho se encontra selado em uma calha de alumínio e devidamente identificado. A terceira foto apresenta o trecho após a abertura da calha e embalado em plástico filme, com identificação das amostras na etiqueta e no plástico. A quarta foto, à direita, apresenta o trecho de rocha evaporítica desembalado e pronto corte e separação de amostras. .... 27
- Figura 20:** Abrigo provisório construído para armazenamento dos recipientes contendo os testemunhos. A cobertura de lona e plástico que normalmente recobria as caixas foi retirada (à esquerda da foto) para retirada de caixas durante processo de pré-seleção. .... 29
- Figura 21:** À esquerda, a caixa 645 com lamina d'água em seu interior. À direita, a caixa 669 com lâmina d'água. .... 30
- Figura 22:** Trecho-teste retirado de um testemunho de evaporito para verificar a sua deterioração superficial caso a rocha ficasse exposta à umidade relativa do ambiente. Na foto é possível ver o acúmulo de "água" proveniente da deterioração do trecho-teste, com sua dissolução devido à umidade ambiente (destacado em vermelho)..... 32
- Figura 23:** Informações básicas do poço, encontradas no trecho do RDT nº 219, fornecido pela Braskem ao IPT e referentes à sondagem do dia 07/04/2021. .... 34
- Figura 24:** Apresentação de parte do RDT nº 219, onde possuem informações acerca da metragem programada e executada do dia, além de informações quanto a recuperação da sondagem, geologia e fotos ilustrativas das rochas do testemunho. .... 35

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Apresentação das dimensões utilizadas para seleção das amostras, segundo normas supracitadas e margem de segurança para execução de corpos de prova..	18
--	----

## ÍNDICE DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Ensaios previstos inicialmente pela consultoria especializada contratada pela Braskem.....	5
<b>Quadro 2:</b> Normas e diretrizes utilizadas para os ensaios e que balizaram a pré-seleção de amostras. ....	8
<b>Quadro 3:</b> Procedimentos para caracterização e classificações dos graus de coerência de uma rocha.....	9



## 1. INTRODUÇÃO

Em atendimento à solicitação da empresa Braskem S.A., em conformidade com a Proposta Comercial nº 35.760/19, aprovada por meio da Autorização de Serviço enviada por *e-mail* e confirmada em 22 de maio de 2020, a Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (FIPT), através da Unidade de Negócios em Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente – Seção de Obras Civas (CIMA-SOC) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, vem por meio deste Relatório Técnico apresentar os resultados das atividades de campo de acompanhamento da extração de testemunhos e seleção de amostras de litotipos presentes na Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas, por meio da sondagem do poço estratigráfico PE-04.

Os litotipos visados são aqueles que constituem o arcabouço estrutural da antiga área de mineração de sal-gema da Braskem, em Maceió-AL, que serão caracterizados geomecanicamente por meio de ensaios mecânicos desenvolvidos no Laboratório de Mecânica de Rochas (LMR) do IPT, situado no município de São Paulo/SP. Os ensaios geomecânicos se encontram em andamento até a data de emissão deste relatório, e abrangem ensaios de compressão uniaxial e compressão confinada (triaxial), tração direta e indireta (ensaio brasileiro), cisalhamento direto e fluência.

## 2. OBJETIVOS E LOCALIZAÇÃO

O escopo das atividades desenvolvidas foi o acompanhamento da extração de testemunhos de rocha e da amostragem do poço estratigráfico PE-04. As amostras selecionadas pela Braskem foram destinadas a ensaios no Laboratório de Mecânica de Rochas do IPT, em São Paulo. A previsão dos litotipos a serem amostrados e dos ensaios laboratoriais foi baseada, inicialmente, em especificação técnica e na Proposta Comercial nº 35.760/19. Posteriormente, a pré-seleção foi embasada nas orientações do corpo consultivo especializado da Braskem.

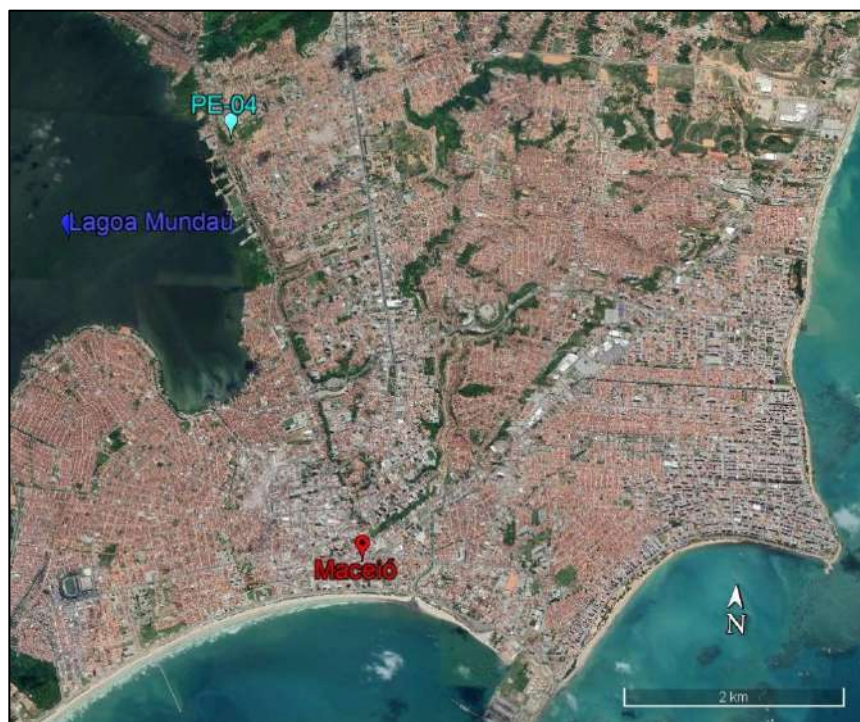
O acompanhamento das extrações pela equipe técnica do IPT visou identificar e auxiliar em boas práticas relacionadas à extração, manuseio, acomodação e transporte

dos testemunhos, de modo a preservar suas características geomecânicas para ensaios posteriores. Adicionalmente, objetivou-se aperfeiçoar as boas práticas de sondagem desenvolvidas em canteiro de atividades, de modo a viabilizar o máximo número de amostras possíveis de ensaio.

Além do acompanhamento da perfuração, a equipe técnica do Instituto teve como objetivo principal selecionar dentre os testemunhos, as amostras mais adequadas para os diversos tipos de ensaios previstos. Ressalta-se que a seleção dos litotipos e trechos a serem ensaiados, assim como a definição da representatividade das amostras, foram realizadas pelos consultores especialistas e balizadas pelas descrições litológicas dos geólogos a serviço da Braskem. À equipe do IPT, coube indicar entre os trechos selecionados, aqueles que fossem mais adequados aos futuros ensaios, segundo as recomendações e normas técnicas vigentes, garantindo-se assim, o envio de amostras em número e qualidades suficientes.

Na **Figura 1** é indicada a localização do poço PE-04 situado próximo à Lagoa Mundaú, no bairro Pinheiro, em Maceió.

**Figura 1:** Localização do poço estratigráfico PE-04 no município de Maceió, nas proximidades da Lagoa Mundaú e da empresa Braskem S.A.



Fonte: Google Earth Pró, 31/08/2021.

### **3. HISTÓRICO DAS ATIVIDADES RELACIONADAS AO PE-04**

As atividades de perfuração foram realizadas no bairro Pinheiro, no ponto cujas coordenadas são: Longitude UTM 198.342 m e Latitude UTM 8.934.056 m (UTM SIRGAS 2000). O poço estratigráfico vertical foi executado para amostrar os diferentes litotipos, realizar caracterização petrográfica, petrofísica, geofísica bem como selecionar amostras para ensaios geomecânicos. A perfuração e testemunhagem desse poço estratigráfico foi um esforço em conjunto das empresas Tucano, Reservoir Group do Brasil Serviços de Petróleo Ltda e Schlumberger.

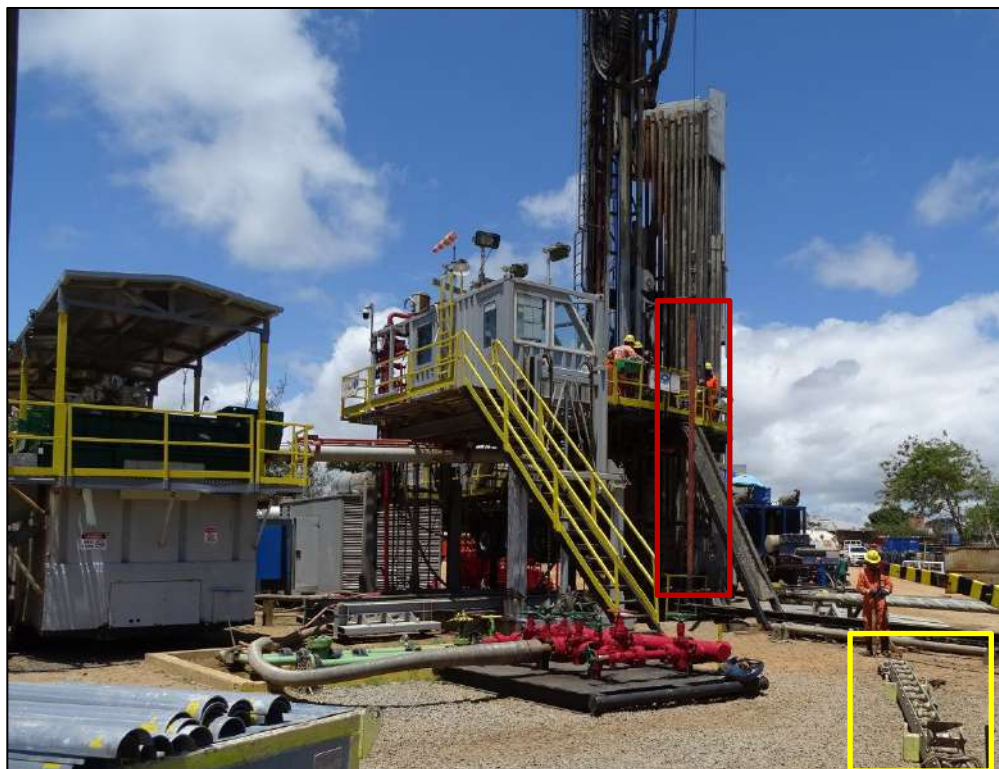
Segundo informações da empresa Braskem, os trabalhos de sondagem teriam um período de execução entre 30 dias a 90 dias, tendo início a partir do dia 13 de julho de 2020. No entanto, devido a pandemia mundial de Covid-19, as atividades de sondagem no poço se iniciaram em 22 de julho de 2020, finalizando-se em 7 de abril de 2021.

O bom desenvolvimento da sondagem ao longo desse período dependia de uma série de fatores inerentes ou não à atividade, dentre eles: os cuidados para se promover uma melhor recuperação do testemunho, paradas para medição de inclinação do poço, desenvolvimento de estudos geofísicos no poço e desafios impostos pela pandemia do coronavírus.

Na fase inicial da sondagem, enquanto não havia litotipos previstos de serem amostrados segundo a “Especificação técnica para realização de ensaios laboratoriais de mecânica das rochas” (providenciada por um dos consultores especialistas contratados da Braskem em agosto de 2019), a equipe do IPT se ateve à verificação superficial dos testemunhos, apenas para fins de conferência de litologia. Ressalta-se que, no decorrer das atividades de sondagem e desenvolvimento dos estudos, tal especificação foi complementada pelos consultores da Braskem. Assim, a seleção do IPT se balizou apenas nos tipos de ensaios descritos na especificação e nas orientações posteriores dos consultores.

Ressalta-se que, no sistema de sondagem utilizado nessa atividade, o processo de desmontagem, retirada do barrilete contendo o testemunho e nova montagem do BHA (Bore Hole Assemble) levava algumas horas, podendo aumentar o tempo da manobra completa caso houvesse troca de coroa. A **Figura 2** apresenta a sonda utilizada para as extrações dos testemunhos de sondagem, no momento em que o barrilete (destacado em vermelho) é retirado para colocação no berço (destacado em amarelo) e coleta do testemunho.

**Figura 2:** Sonda utilizada para as extrações de testemunho do poço PE-04, durante a retirada do barrilete vermelho (destacado em vermelho) contendo o testemunho para colocação no berço (destacado em amarelo na parte inferior direita da figura).



Fonte: IPT, tirada em 15.12.2020.

A lista de ensaios previstos pelos consultores técnicos da Braskem, e utilizadas para a pré-seleção das amostras em campo pelo IPT é a que segue no **Quadro 1**. Nesta lista, eram previstos 256 ensaios, distribuídos segundo litotipos e ensaios.



**Quadro 1:** Ensaios previstos inicialmente pela consultoria especializada contratada pela Braskem.

Ensaios	Litotipo
Triaxial (compressão confinada - célula Hoek), Compressão Uniaxial, Tração Indireta (diametral), Cisalhamento Direto	Calcilutitos, Arenitos, Conglomerados, Folhelhos
Fluência Triaxial	Halita

A quantidade de rocha testemunhada e amostras aptas para os ensaios laboratoriais para alguns litotipos selecionados não eram suficientes para atender as previsões do **Quadro 1**, e em 3 de setembro de 2020, em reunião com a equipe da Braskem e seus consultores, ficou definido que outros litotipos, que fossem recorrentes, seriam elegíveis para pré-seleção. Por este motivo, modificou-se parcialmente os quantitativos previstos. Para facilitar a posterior escolha definitiva das amostras ensaiáveis pelos consultores contratados da Braskem, ficou definido que a pré-seleção envolveria todos os litotipos existentes no poço. Deste modo, ficou ao encargo do corpo consultivo definir quais amostras pré-selecionadas seriam elegíveis para ensaios, de acordo com a necessidade de seus estudos.

Vale registrar que a modificação dos quantitativos estava prevista na Proposta Comercial, admitindo-se que a quantidade dos ensaios poderia ser alterada em função dos achados de campo e das demandas técnicas da Braskem para desenvolver os estudos geológicos regionais e compreensão do fenômeno em tela.

Entre outubro e novembro de 2020, uma nova bateria de ensaios foi programada pelos consultores técnicos. Dentre os novos ensaios previstos, o IPT não poderia atender alguns deles, havendo a necessidade de a Braskem enviar amostras a outro laboratório para sua realização. A definição quanto às quantidades de amostras ensaiadas por ensaio foi postergada, sendo dada a continuidade na pré-seleção das amostras com base nos tipos de ensaios definidos em proposta e orientação dos consultores especializados, sendo possível alterar a quantidade ou realocar amostras para outros ensaios, quando estes fossem definidos, sem, no entanto, atrasar as atividades desenvolvidas pelos técnicos do IPT em campo. A escolha das amostras



pela Braskem, para envio ao IPT para ensaios, foi postergada para aguardar a definição dos consultores acerca das necessidades de seus estudos.

O envio de amostras ao IPT ficou suspenso por um determinado período de tempo para que fosse efetuada a compra de material para a proteção dos testemunhos no interior das caixas. A equipe do IPT recomendou o transporte das amostras com proteção das caixas, para evitar quebras ou danos às amostras. O material sugerido para a proteção foi de espuma com densidade D28 e espessura entre 20 mm a 50 mm, para serem colocadas no fundo e laterais das caixas. A proteção das caixas foi fornecida no final de novembro e início de dezembro de 2020.

As amostras foram destinadas ao Instituto em 05 de abril e 05 de maio de 2021, e se encontram armazenadas em câmaras do LMR do IPT. Entre o período de chegada das amostras até a emissão deste relatório, algumas modificações na lista de ensaios foram realizadas, como a inserção dos ensaios de Tração Direta (*direct tensile*), com realocação de amostras de outros ensaios para a sua realização. Como a lista de ensaios geomecânicos proposta pela consultoria é dinâmica, modificações podem ocorrer ao longo do desenvolvimento desse projeto, a depender dos resultados obtidos em ensaios e nas condições das rochas escolhidas, assim como já previsto em contrato e aditivos. Nota-se que no **Quadro 1** os ensaios de tração direta não estavam inicialmente previstos. Contudo, a seleção feita em campo possibilitou acrescentar este tipo de ensaio em determinados litotipos escolhidos pelo corpo de consultores da Braskem.

#### 4. METODOLOGIA DE TRABALHO E RESUMO DAS ATIVIDADES

Os trabalhos executados pela equipe do IPT para a empresa Braskem foram divididos em duas etapas: I) a etapa relacionada à própria sondagem na área de estudo da Braskem; e II) a etapa realizada no Laboratório de Mecânica de Rochas (LMR) do IPT.

A etapa I relacionada à sondagem foi realizada em Maceió, na antiga área de mineração da Braskem no bairro Pinheiro, onde foi instalada a sonda para a testemunhagem do poço PE-04. Essa etapa foi balizada por quatro pilares, a citar:

- ✓ Pré-seleção de amostras;
- ✓ Acondicionamento;
- ✓ Viabilização para transporte das amostras; e
- ✓ Diretrizes de boas práticas de sondagem e manuseio dos testemunhos.

Assim, nos subitens que se seguem, são descritos cada um desses itens que compõe a metodologia e as diretrizes observadas durante a seleção das amostras, além de apresentar exemplos de ocorrências verificadas e um resumo de campo.

As atividades da etapa II supracitada (resultados dos ensaios geomecânicos do LMR), não serão apresentadas neste Relatório de Atividades.

#### **4.1 Pré-seleção de amostras**

A fase de pré-seleção consistiu em uma triagem com foco em trechos dos testemunhos que poderiam ser utilizáveis como amostras para ensaios no LMR do IPT. A triagem desses trechos foi uma etapa que dependeu da definição do Cliente em relação aos tipos de ensaios geomecânicos a serem realizados, das características relacionadas à geologia, profundidade, dentre outras características requeridas para as necessidades de sua investigação. Assim, a pré-seleção foi uma etapa programada para facilitar as escolhas de amostras finais por parte da equipe da Braskem e seus consultores contratados.

A escolha inicial dos trechos destinados para amostragem se baseou na análise conjunta dos critérios, que foram subsidiados pelas normas vigentes e sugestões de procedimentos para moldagem das amostras em corpos de prova (CPs) e para os ensaios laboratoriais. As normas e sugestões de procedimento referenciadas para este trabalho recomendam características mínimas que um corpo de prova deve ter para que um ensaio válido seja realizado, e não como proceder para escolher tais amostras.

O **Quadro 2** apresenta as diretrizes que balizam os ensaios geomecânicos, e abrange as recomendações do órgão ASTM (American Society for Testing and Materials, órgão estadunidense de normalização) e da ISRM (International Society for

Rock Mechanics and Rock Engineering), além do procedimento do IPT para identificar a taxa de fluência estacionária no ensaio de fluência triaxial.

**Quadro 2:** Normas e diretrizes utilizadas para os ensaios e que balizaram a pré-seleção de amostras.

Ensaio	Normas/Procedimentos
Compressão Triaxial	ASTM D7012-18 e ISRM Suggested Method
Tração indireta (Ensaio Brasileiro)	ASTM D3967-16 e ISRM Suggested Method
Cisalhamento	ASTM D5607-16 & ISRM Suggested Method
Fluência triaxial	ASTM 7070 - 16 e PE - IPT - LMR

Ressalta-se que os critérios utilizados pelo IPT e discriminados nesse documento, também foram detalhados a pedido da Braskem na Carta CIMA/SOC nº. 014/21, de 15 de fevereiro de 2021.

Destaca-se ainda que, somente a classificação do testemunho como “rocha” segundo critérios do Cliente, não o imputou como ensaiável no LMR do IPT, sendo necessário que fossem avaliados os critérios descritos subsequentemente. O teste final para que uma amostra se transforme em corpo de prova para determinado ensaio, é a amostra ficar conservada após todas as atividades de preparo do CP. Inicialmente ao corte com serra, e operações subsequentes do torno mecânico para o paralelismo das faces extremas.

### **Graus de Coerência da rocha**

Em laboratório, a confecção dos corpos de prova para ensaios geomecânicos está sendo realizada em amostras de rocha selecionadas pela Braskem. Para tanto, as amostras devem apresentar um grau de coerência suficiente para que a rocha se mantenha íntegra no manuseio e utilização de maquinário para esse processo, sem que haja interferência em suas características naturais intrínsecas. Por exemplo, em uma das etapas de transformação da amostra em CPs envolve o uso de torno para a retificação e paralelismo das geratrizes. Caso a amostra não apresente um grau de coerência adequado, ou seja, “extremamente fraco” a “muito fraco”, a amostra pode ser

danificada no torno, perdendo a altura desejada ou até se partir de maneira que não possa mais ser aproveitável para qualquer ensaio.

Quando testes laboratoriais não são possíveis de serem executados diretamente no local de aquisição dos testemunhos, os procedimentos de campo descritos em Hoek & Brown (1997) podem ser utilizados para se inferir o grau de coerência que seja plausível para a seleção de rochas para ensaios geomecânicos. Os métodos de campo variam desde testes com canivete a golpes de martelo de geólogo, para fins de conhecimento das características físicas das amostras/rochas, como dureza e friabilidade.

A partir das informações retiradas da literatura supracitada, foi adaptado o **Quadro 3**, onde são indicados os procedimentos para identificação do grau de coerência da rocha a ser amostrada, ainda em campo.

**Quadro 3:** Procedimentos para caracterização e classificações dos graus de coerência de uma rocha.

<b>Termo</b>	<b>Estimativa de campo de força</b>
Extremamente Resistente	Rocha só pode ser lascada com golpes de martelo geológico.
Muito Resistente	Rocha necessita de muitos golpes de martelo geológico para fraturá-la
Resistente	Rocha necessita de mais que um golpe de martelo geológico para fraturá-la
Medianamente Resistente	Não pode ser raspada ou descascada com um canivete. Pode ser fraturada com apenas um golpe de martelo geológico
Branda	Rocha pode ser descascada, com dificuldade, através do uso de canivete. Um golpe com a ponta do martelo geológico pode fazer chanfradura rasa
Muito Branda	Rocha pode ser descascada com um canivete e se despedaça sob firmes golpes de martelo geológico
Extremamente Branda	Rocha pode ser marcada/chanfrada com a unha do polegar

Fonte: Adaptado e traduzido de Hoek & Brown, 1997.

Assim, de acordo com as informações do **Quadro 3**, as rochas classificadas como “extremamente brandas” não foram consideradas elegíveis na etapa de pré-seleção das amostras (**Figura 3**), principalmente quando estas se fragmentavam ou esfarelavam facilmente. Já nos trechos classificados como muito brandos a brandos

(**Figura 4**), cujo grau de coerência não se mostrou um fator limitante para a escolha, foram ponderados outros critérios concomitantemente (explanados a seguir), para validá-los e incorporá-los ou não na pré-seleção. Cabe destacar que, apesar de listado no quadro acima, o uso de martelo geológico não foi empregado na caracterização das amostras, apenas canivetes ou canetas risca-rocha e unha do polegar. O uso do martelo pode alterar as propriedades físicas das amostras, não sendo recomendado seu uso para a seleção.

**Figura 3:** Exemplos de trechos de testemunhos com amostras consideradas como extremamente brandas.



Fonte: IPT. Da esquerda para direita, fotos tiradas em 18/08 e 20/07 de 2020.

**Figura 4:** Trecho de dois testemunhos considerados como muito brando a brando. Nota-se que foi possível riscar/descascar o trecho com o canivete, porém, os sulcos não foram profundos



Fonte: IPT, fotos tiradas em 18/08/2020.

Ressalta-se que o IPT utilizou os critérios descritos na literatura como uma ferramenta de auxílio à pré-seleção das amostras que foram encaminhadas para a



execução dos ensaios geomecânicos laboratoriais, e não com o objetivo de classificar todos os testemunhos segundo o seu grau de coerência.

### **Existência de irregularidades no corpo**

Um dos critérios considerados no processo de pré-seleção foi a existência ou não de irregularidades significativas na superfície da amostra, e o quanto as mesmas afetavam a integridade e a elegibilidade dos testemunhos.

Caso a superfície circunferencial do testemunho apresente irregularidades ou ondulações que possam interferir em seu diâmetro, a amostra deve passar por um processo de acabamento, envolvendo sua retificação (torno), tal que as geratrizes devem estar paralelas entre si e perpendiculares às superfícies extremas do corpo de prova (D4543-19 da ASTM).

Assim, durante a pré-seleção das amostras, procurou-se analisar se as irregularidades poderiam afetar seu diâmetro ou a integridade do litotipo a ponto de inviabilizar a confecção de corpos de provas para algum dos ensaios requeridos. As irregularidades averiguadas consistiram em:

- ✓ Existência de trincas e fissuras superficiais provenientes das características intrínsecas do próprio litotipo, ou resultantes dos esforços da perfuração do poço, devido à sonda ou devido à descompressão do maciço (especialmente em estratos mais profundos de folhelhos). Em alguns casos, as trincas e fissuras também estavam relacionadas à perda de umidade em extratos mais argilosos (retração). Testemunhos trincados não foram pré-selecionados. Alguns exemplos podem ser demonstrados na **Figura 5**.

**Figura 5:** À esquerda, amostra com presença de trincas devido à perda de umidade no trecho. À direita, fissuras (destacadas em vermelho) presentes na amostra de folhelho. Na foto inferior, trecho de margas, que sofreram trincas de retração.



Fonte: IPT. Fotos tiradas em 08/01 e 11/01 de 2021, respectivamente. Foto Inferior tirada em 31/08/2020.

- ✓ Existência de cavidades na amostra, sejam elas provenientes do processo de dissolução de minerais da rocha, de sua porosidade primária ou inerentes ao processo de sondagem (**Figura 6**). Trechos com cavidades em grandes números e profundidades, que poderiam afetar significativamente o diâmetro da amostra, não foram pré-selecionados. Em casos em que apenas parte da amostra apresentasse essa característica, ela pôde ser escolhida e em laboratório o trecho com cavidades pôde ser retirado. A presença de cavidades significativas na amostra não foi indicada para os CPs utilizados nos ensaios triaxiais, pois poderiam romper a membrana que encamisa o corpo de prova no ponto de contato da membrana com as bordas da cavidade do CP. Além disso, o torneamento das amostras para regularizar os CPs para os ensaios triaxiais poderia levar a redução do diâmetro para dimensões menores às

mínimas exigidas. Ressalta-se ainda que para os ensaios de compressão simples, as amostras com porosidade alta ou a presença de inúmeras cavidades de dissolução impossibilitariam a colagem de sensores do tipo extensômetros elétricos (*strain gage*);

**Figura 6:** As fotos superior e inferior esquerda apresentam trechos de testemunhos onde as cavidades interferem no diâmetro do cilindro de rocha. A foto inferior direita apresenta uma rocha com uma cavidade pontual, provavelmente devido ao descolamento de um clasto durante a sondagem. Essa amostra poderia ser utilizada para ensaios, sendo descartado o trecho com cavidade.



Fonte: IPT. Fotos superior e inferior esquerda tiradas em 26/08/2020 e inferior direita em 08/01/2021.

- ✓ Ocorrências comuns de sondagem, como o estrangulamento (**Figura 7**) e a presença de ondulações nos testemunhos (alinhamento irregular, **Figura 8**). Tais incidentes poderiam ocorrer durante o processo de testemunhagem por diversos motivos, tais como: a vibração das hastes da sonda; velocidade e esforço da perfuração, ou a diferença brusca de granulometria dentro do estrato, com consequente “lavagem” parcial do



material de granulometria mais fina pelo fluxo de alta vazão do fluido utilizado para perfurar o litotipo consecutivo, de granulometria mais grossa. Testemunhos com estes tipos de ocorrências não foram pré-selecionados;

**Figura 7:** Trecho de um testemunho com grande quantidade de argila. Nota-se que o trecho destacado em vermelho sofreu um “estrangulamento”, tendo o diâmetro do cilindro de rocha diminuído drasticamente se comparado com o restante do trecho na caixa.



Fonte: IPT. Foto tirada em 27/08/2020.

**Figura 8:** Trecho de um testemunho apresentando alinhamento irregular (apontado em vermelho). Nota-se a diferença nos diâmetros ao longo do trecho. A seta verde indica a dimensão regular do testemunho. Apontado em vermelho, o trecho com redução.

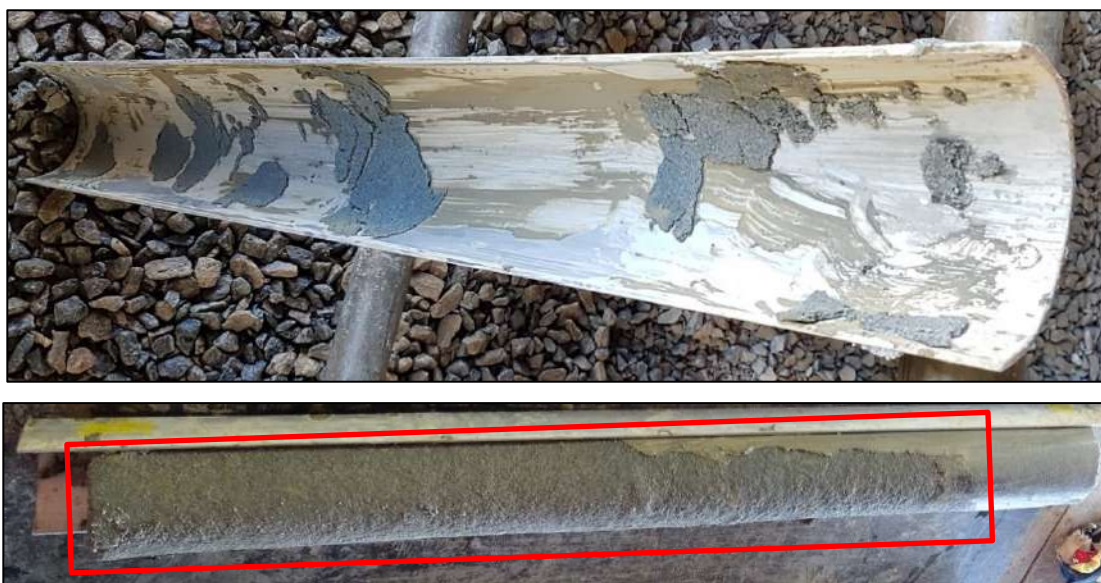


Fonte: IPT. Foto tirada em 13/01/2021.

- ✓ Ocorrências pós-sondagem, que estão relacionadas ao manuseio e cuidado dos testemunhos após a sondagem e retirada do barrilete. Esses incidentes abrangem situações como a “colagem” de parte do tarugo (cilindro de testemunho) de rocha nas calhas de alumínio, devido à secagem rápida do fluido; ou quebra de testemunhos durante seu manuseio. Incidentes como a “colagem” foram pontuais e ocorreram principalmente nos arenitos da Formação Poção. A ocorrência foi apenas em determinados trechos, e foi rapidamente solucionado. Os testemunhos que tiveram parte “descolada” na retirada da calha foram

avaliados quanto ao diâmetro e possibilidade de redução para regularizar a superfície da amostra.

**Figura 9:** Foto superior apresenta uma das calhas de alumínio com parte do trecho de rocha “colado”, devido à secagem rápida do fluido de sondagem. Na foto inferior, um trecho em arenito, já limpo, na calha de alumínio. Nota-se que a porção destacada em vermelho teve parte “descolada”, sendo necessário “descascar” manualmente o restante do trecho para regularização da superfície da amostra.



Fonte: IPT. Fotos tiradas em 16/12/2020.

## Diâmetro

Outro aspecto analisado na seleção de amostras foi o diâmetro do cilindro de rocha. A norma da ASTM D7012 - 18 - “Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures” - direcionada a ensaios de Compressão Simples e Compressão Triaxial, sugere que o diâmetro do corpo de prova deve ser pelo menos dez vezes maior que o diâmetro do maior grão de mineral. Para rochas mais brandas, com comportamento parecido com o de solo (por exemplo, arenitos pouco cimentados) sugere-se que o diâmetro da amostra seja pelo menos seis vezes o diâmetro máximo do mineral. Geralmente, o diâmetro mínimo de 47 mm satisfaz esse critério na maioria dos casos.



No que diz respeito aos ensaios de compressão triaxial, os consultores especialistas recomendaram que as amostras submetidas a tal ensaio tivessem um diâmetro de 4 polegadas (101,6 mm). Considerando-se algumas limitações internas referentes aos equipamentos do IPT, neste ensaio não é possível que as amostras tenham diâmetros menores que 98 mm, pois havia um impedimento físico da interação membrana-câmara. Por este motivo, um dos critérios específicos para os ensaios triaxiais foi que o diâmetro não fosse menor que 98 mm.

Para os ensaios de compressão simples não foram definidos critérios específicos relativos ao diâmetro das amostras. Sendo assim, como a norma ASTM D7012 – 18 permite a sua execução utilizando-se CPs com diâmetros superiores a 54 mm, o IPT admitiu pré-selecionar amostras com pequenas cavidades superficiais, desde que não alterassem significativamente o diâmetro da amostra quando torneadas para obter-se a retificação e paralelismo das geratrizes. Isso porque não é recomendada a redução drástica do diâmetro da amostra com o uso de torno, pois há grande probabilidade de danos ou perdas da amostra.

Já as normas e recomendações referentes aos ensaios de Cisalhamento Direto são mais flexíveis em relação ao tamanho e forma dos CPs. Segundo a norma ASTM D5607 – 16, “Standard Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens Under Constant Normal Force”, o ensaio pode ser realizado em qualquer espécime, desde que seja possível estipular sua área transversal. Além disso, o plano de teste deve ter uma área mínima de 1900 mm<sup>2</sup>. A largura do corpo não deve ter grandes variações ao longo do teste, e a largura mínima não deve ser menor que 75% da largura máxima.

Para ensaios de tração direta, a norma D 3967-16 “Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens” sugere que o diâmetro da amostra deve ser pelo menos 10 vezes maior do que o maior constituinte do grão mineral. Geralmente um diâmetro de 54 mm satisfaz este critério.

No caso dos ensaios de fluência triaxial, ressalta-se que os equipamentos do LMR do IPT encontravam-se preparados para realizarem ensaios com corpos de prova com 88 mm de diâmetro. Dessa forma, as amostras teriam que, obrigatoriamente

passar por redução do diâmetro, e poderiam admitir alguma irregularidade superficial, obedecendo ao diâmetro mínimo de 88 mm. Como critério principal, os evaporitos escolhidos não deveriam apresentar deterioração excessiva por fluído utilizado na perfuração, de maneira que alterassem as características geomecânicas das amostras.

Em campo, para verificação do diâmetro das amostras, foi feita uma primeira avaliação a olho nu e, em seguida, com o uso de paquímetro. Caso os diâmetros medidos fossem inferiores a 98 mm ao longo de todo trecho da amostra, as mesmas eram destinadas a ensaios como compressão simples, cisalhamento ou tração indireta, desde que os diâmetros não fossem menores do que os especificados em norma (54 mm para compressões simples e tração indireta). Caso o diâmetro fosse superior a 98 mm priorizava-se a escolha de testemunhos para os ensaios triaxiais. Para os evaporitos, satisfeito o diâmetro mínimo de 88 mm, as amostras foram selecionadas para a execução dos ensaios de fluência e *direct tensile*, conforme proposto pelo corpo de consultores da Braskem.

Ressalta-se que a aferição mais diligente foi realizada no Instituto, por meio de instrumentos calibrados e em ambiente laboratorial. As averiguações das dimensões em campo foram realizadas para fins de orientação e cuidados nas sondagens seguintes.

## **Altura**

A altura das amostras pode variar conforme o ensaio ao qual a amostra será destinada. Para ensaios de Compressão Simples e de Compressão Triaxial, a relação entre a altura (A) e o diâmetro (D) da amostra deve ser entre 2:1 a 2,5:1. Amostras com a relação de A/D menores que 2:1 não são aceitas pela norma que rege esses tipos de ensaios (ASTM D7012 - 2018). No caso dos ensaios de compressão simples e triaxial, os corpos de prova devem ter suas faces extremas paralelas. Por este motivo, as amostra para esse tipo ensaio deveriam ter as extremidades que pudessem ser serradas e torneadas para se alcançar o correto paralelismo.

Já para os ensaios de Cisalhamento Direto, a norma ASTM 5607 – 16 recomenda-se que a altura de cada amostra deva ser maior que a espessura da zona de cisalhamento (área de teste). Além disso, a altura deve ser suficiente para embutir a amostra nos anéis de retenção. Para os ensaios de Tração Indireta, a norma ASTM 3967 – 16 recomenda que a relação de altura (espessura) por diâmetro (A/D) deva ser entre 0,2 e 0,75.

Para os ensaios de Fluência Triaxial em evaporitos, a altura estipulada pela norma para a amostra é de 2,5 vezes o seu diâmetro, ou seja, 230 mm. As relações supracitadas de A/D ou da altura recomendada para o cisalhamento se refere às dimensões do corpo de prova já confeccionado e pronto para ensaio.

Ressalta-se que durante a etapa de pré-seleção das amostras em campo foram selecionadas aquelas com alturas maiores que as recomendadas para os ensaios para que, durante a moldagem e confecção do corpo de prova em laboratório, o corpo técnico do IPT tivesse uma margem de segurança para confeccioná-los adequadamente. A margem de segurança para os ensaios de compressão considerou a relação A/D de 3:1, para os de tração indireta é de 0,75:1, enquanto que para os de fluência é de 3,5:1. Já para as amostras destinadas aos ensaios de cisalhamento, esse foi limitado pelo equipamento utilizado para ensaios no IPT, consistindo na altura máxima com margem de segurança de 160 mm.

Assim, seguindo-se as recomendações das normas e especificações técnicas acima apresentadas, expõem-se na **Tabela 1** as alturas mínimas utilizadas na escolha das amostras em campo, inseridas as margens de segurança para a preparação dos corpos de prova.

**Tabela 1:** Apresentação das dimensões utilizadas para seleção das amostras, segundo normas supracitadas e margem de segurança para execução de corpos de prova.

Ensaio Previsto*	Diâmetro (mm)	Altura Mínima das Amostras (mm)
Compressão Triaxial	101,6	304,8
Compressão Simples	101,6	304,8
Cisalhamento	101,6	160,0
Tração Indireta (Ensaio Brasileiro)	101,6	78,0
Fluência	88,0	308,0

Assim, com base nos critérios descritos nesse capítulo, nas especificidades de cada ensaio determinado pelos consultores especializados da Braskem e suas orientações complementares, o IPT realizou a pré-seleção dos testemunhos extraídos do poço estratigráfico PE-04.

#### 4.2 Acondicionamento

As caixas utilizadas para acomodação dos testemunhos era composta de polipropileno, com tampas com travas para evitar abertura durante o transporte. As caixas, inicialmente, não apresentavam proteção para acomodação dos testemunhos em seu interior, como observado na **Figura 10**. O comprimento, largura e altura da caixa são de aproximadamente 1,0 m X 0,19 m X 0,185 m, com encaixes existentes nas laterais externas, para auxiliar no carregamento.

**Figura 10:** Caixa plástica para acomodação do testemunho.



Fonte: IPT, tirada em 22/07/2020.

Para impedir a movimentação dos trechos de rochas dentro das caixas, foi solicitado à Braskem, em campo e posteriormente via Carta CT-Obras/SG nº. 022/20, que fosse colocada proteção nos fundos das caixas e em suas laterais. Foi sugerido o uso de espuma de densidade D28 com espessura entre 20 mm a 50 mm, para serem utilizadas principalmente no transporte para o LMR. No entanto, na conjuntura de pandemia de COVID-19 daquele período, o material necessário para proteção das caixas (espumas sugeridas pelo IPT) demandou tempo para serem entregues.

Sendo assim, as caixas contendo os testemunhos tiveram o seu interior protegido provisoriamente com plástico-bolha. A proteção provisória foi utilizada

apenas para movimentação das caixas em canteiro, sem utilização de veículos de transporte, para sua acomodação em contêineres e tenda provisória. (**Figura 11**)

**Figura 11:** Caixa contendo um trecho do testemunho com proteções provisórias em plástico-bolha, para proteção apenas em canteiro, sem transporte por veículos.



Fonte: IPT, tirada em 26/01/2021.

As caixas de testemunho possuíam uma etiqueta de identificação colada, com dados como: poço extraído, número do testemunho, profundidade do testemunho, número da caixa e profundidades do topo e base do trecho do testemunho alocado na caixa. As caixas que contivessem algum trecho ensaiável eram marcadas pelo IPT na face externa, próximo à etiqueta de identificação supracitada.

No interior das caixas, os testemunhos eram identificados com plaquetas de madeira, contendo as dimensões do avanço da sondagem (A), recuperação (R) e profundidade final do testemunho. (**Figura 12**).

**Figura 12:** Final do testemunho 196, com a plaqueta de madeira identificando o avanço (A= 2,0 m), recuperação (R= 2,0 m) e profundidade final do testemunho (693,49).



Fonte: IPT, tirada em 23/02/2021.



A divisão dos testemunhos de rocha ocorria quando a manobra da sondagem tinha uma recuperação maior que 0,94 m. Procurou-se dividir as rochas em trechos que pudessem se encaixar nas dimensões úteis das caixas e de modo que, quando cortados, pudessem gerar o maior número de amostras possíveis, de acordo com as dimensões requeridas para cada ensaio (**Figura 13**). Procurou-se dividir o testemunho em trechos onde já havia uma fratura natural ou quebras durante a sondagem, evitando-se a perda desnecessária de amostras em tamanho favorável. Quando não fosse possível, a divisão era realizada com talhadeiras ou serra manual (**Figura 14**, à esquerda). No caso do sal, a divisão foi realizada através do uso de serra elétrica circular, pois a resistência da rocha no corte era maior, e com o auxílio da serra, o corte era mais preciso e sem danos excessivos às amostras. (**Figura 14**, à direita).

**Figura 13:** Limpeza e análise inicial do testemunho para programação de corte da rocha.



Fonte: IPT, fotos tiradas em 14/01/2021 e 11/12/2020, respectivamente.

**Figura 14:** À esquerda, divisão do teste no berço com o uso de talhadeira e martelo (nas mãos do operador a esquerda da foto). À direita, corte do sal com uso de serra elétrica circular.



Fonte: IPT, tiradas em 19/08/2020 e 23/02/2021, respectivamente.

Após o corte, os trechos do testemunho eram postos em calhas de alumínio para a limpeza do fluído e secagem da rocha. As calhas eram dispostas de forma ordenada, sempre orientadas conforme o topo e a base de cada trecho em relação ao testemunho. O topo do testemunho sempre se encontrava à esquerda, enquanto que a base, à direita da mesa de trabalho. No caso da **Figura 15**, a rocha conglomerática possuía clastos de grandes dimensões que poderiam se soltar durante o corte. Para evitar a perda de dimensão devido à soltura dos clastos, a rocha foi cortada em trechos mais arenosos da matriz, evitando-se o corte em regiões onde havia clastos. Quando não foi possível, foram escolhidas para corte regiões com clastos de menores dimensões, pois no caso de se soltarem, as perdas de trechos ensaiáveis seriam menores. Por este motivo, na **Figura 15** existem alguns trechos que possuem dimensões menores que 90 cm, embora o testemunho tenha sido retirado do barrilete sem muitas fraturas ou quebras.

**Figura 15:** À esquerda, testemunho no berço, logo após abertura do barrilete e limpeza da rocha. Na foto superior à direita, a rocha foi dividida em trechos, que foram dispostos nas calhas e ordenados na mesa para secagem, da esquerda (topo) para a direita (base). Na foto inferior à direita, testemunhos já colocados nas caixas segundo a ordem e orientação correta.



Fonte: IPT, fotos tirada em 03/12/2020.

Após a análise por parte da Braskem e IPT, as caixas eram guardadas no canteiro, dentro de contêineres (**Figura 16**). Inicialmente, as amostras seriam enviadas regularmente ao laboratório do IPT em São Paulo.



**Figura 16:** Contêineres para armazenamento dos testemunhos. A figura à direita, apresenta o interior do contêiner, no processo de organização, para amostras não evaporíticas.



Fonte: IPT, tiradas em 14/01/2021 e 23/09/2020, respectivamente.

Quando os contêineres atingiram suas capacidades limites, segundo um empilhamento plausível de caixas, foi providenciada uma tenda provisória para armazenamento das amostras além de pallets no próprio espaço de trabalho na tenda dos contêineres. Foi sugerido pela equipe do IPT no início das atividades, em julho de 2020, que as rochas fossem protegidas contras as intempéries, como a incidência solar e a entrada de água da chuva no interior dos recipientes. A sugestão foi dada de forma a evitar maior deterioração das amostras de rocha enquanto as mesmas não fossem encaminhadas para o LMR do IPT, localizado em São Paulo-SP. Essa recomendação também foi descrita também na Carta CT-Obras/SG nº. 022/20, de 05 de setembro de 2020, e enquanto as caixas foram guardadas em contêineres, a recomendação do IPT foi seguida.

Nesse sentido, para o armazenamento das amostras de evaporitos (que requerem um cuidado maior), seguindo as recomendações do IPT, a Braskem providenciou mais dois contêineres equipados com ar-condicionado (**Figura 17**), para controle de umidade do ambiente de acondicionamento das amostras dessa rocha em campo.

**Figura 17:** Contêiner com ar-condicionado para o armazenamento das rochas evaporíticas em canteiro de sondagem.



Fonte: IPT, tirada em 17/02/2021.

#### **4.3 Viabilização para transporte das amostras**

O transporte das amostras deve ser realizado com a proteção do interior das caixas, para impedir que os trechos selecionados de rocha se choquem e trepidem em seu interior de modo a comprometer as amostras. Por este motivo, as espumas de densidade e espessuras sugeridas são de suma importância.

As amostras destinadas ao laboratório do IPT foram transportadas por meio do modal rodoviário, com acolchoados para a proteção exterior das caixas, que foram acomodadas e fixadas no compartimento de carga de uma van ou um caminhão baú, como visto na **Figura 18**.

Num esforço para garantir uma melhor conservação e proteção das rochas escolhidas, as amostras passaram por um processo de conservação, além do sugerido pelo IPT, e efetuado pela empresa Reservoir. Nesse processo, as amostras foram



embaladas, parafinadas e novamente embaladas, para evitar perda de umidade excessiva e garantir uma proteção adicional no transporte.

**Figura 18:** Carregamento do caminhão de caixas contendo amostras destinadas ao IPT. Nota-se a proteção das laterais (à esquerda), do fundo e entre caixas (à direita).



Fonte: IPT, tiradas em 01/04/2021.

Os pacotes contendo as amostras parafinadas foram colocados nas caixas com espuma e enviadas para os laboratórios. No caso das rochas evaporíticas, essas foram envoltas em plástico filme, dispostas em calhas e tiveram suas extremidades vedadas para evitar entrada de umidade. As calhas vedadas foram colocadas em um plástico laminado e vedadas, para então serem dispostas nas caixas com espuma. (**Figura 19**).

**Figura 19:** Apresenta-se uma sequência de fotos de um trecho do testemunho contendo três amostras de sal a serem cortadas. A primeira foto à esquerda demonstra como a caixa, contendo o trecho, chegou às dependências do IPT, contendo o trecho embalado, e caixa protegida por espumas nas laterais e fundo. A segunda foto à esquerda expõe a situação após a abertura da embalagem. O trecho se encontra selado em uma calha de alumínio e devidamente identificado. A terceira foto apresenta o trecho após a abertura da calha e embalado em plástico filme, com identificação das amostras na etiqueta e no plástico. A quarta foto, à direita, apresenta o trecho de rocha evaporítica desembalado e pronto corte e separação de amostras.



Fonte: IPT, tiradas em 06/04/2021.

#### **4.4 Diretrizes de boas práticas de sondagem**

Durante a sondagem do poço PE-04, a equipe do IPT procurou observar práticas de sondagem e incidentes que pudessem ocasionar a perda de amostras de rocha e/ou afetarem suas integridades e se tornar um empecilho para a pré-seleção.

As ocorrências estão relacionadas direta ou indiretamente aos outros três pilares supramencionados, e são descritos nos itens seguintes, assim como as diretrizes de boas práticas sugeridas:

##### **✓ Manuseio dos testemunhos**

Devido aos litotipos mais frágeis em algumas profundidades, foi visto que o manuseio das rochas poderia influenciar na integridade dos trechos para amostra. Assim sendo, a manipulação dos testemunhos foi orientada por técnicos da Braskem e IPT durante a sondagem, para que as equipes presentes em campo não causassem danos às rochas.

As instruções abrangeram ações como: evitar choques bruscos ou quebras no momento da transferência dos trechos cortados das calhas para as caixas; carregamento das caixas com os devidos cuidados, evitando-se inclinações exageradas e solavancos; evitar quedas ou tombamento dos recipientes ou seu empilhamento excessivo nos contêineres.

##### **✓ Proteção das amostras contra intempéries**

Enquanto as rochas pré-selecionadas aguardavam seleção final para envio ao laboratório do IPT, estas foram armazenadas em dois contêineres dispostos no canteiro de sondagem, seguindo-se as recomendações em termos de acomodação descritas na Carta CT-Obras/SG nº. 022/20, de setembro de 2020, onde é sugerido que o armazenamento das caixas fosse realizado em “ambiente fresco, seco e protegido de incidência solar direta até o envio das mesmas à sede do IPT...”

Com o aumento no volume de testemunhos, necessitou-se construir um abrigo provisório para o armazenamento de testemunhos que não couberam nos contêineres. O abrigo construído era fechado por lonas na parte superior, as laterais abertas para

ventilação e as caixas se encontravam suspensas do assoalho por pallets de madeira. (Figura 20).

No entanto, durante o período de chuvas, percebeu-se que o abrigo apresentava furos na lona, permitindo a entrada de água no abrigo. Os recipientes contendo os testemunhos foram cobertos por lona e plástico, mas, no entanto, ainda era possível observar o acúmulo de água na parte superior das tampas das caixas. A exposição das caixas de testemunho à água da chuva poderia, eventualmente, acarretar na entrada de água no interior das caixas, pelos respiros ou se a caixa não estivesse adequadamente tampada, refutando as sugestões supracitadas.

**Figura 20:** Abrigo provisório construído para armazenamento dos recipientes contendo os testemunhos. A cobertura de lona e plástico que normalmente recobria as caixas foi retirada (à esquerda da foto) para retirada de caixas durante processo de pré-seleção.



Fonte: IPT, tiradas em 17/12/2020.

Por este motivo, foram realizadas revisões da pré-seleção, ainda em campo, para verificação da integridade das amostras já pré-selecionadas e armazenadas em canteiro (contêineres e abrigo provisório), principalmente devido ao tempo de armazenamento das amostras fora do ambiente de laboratório e à escassez de amostras em alguns litotipos. A revisão da pré-seleção garantiu que as amostras fossem elegíveis para os ensaios laboratoriais.

As recomendações quanto ao armazenamento das amostras foram iteradas em janeiro de 2021, principalmente quanto ao reforço na lona de proteção superior do



abrigo provisório e à celeridade no envio das amostras aos laboratórios responsáveis pela execução dos ensaios geomecânicos.

Durante as revisões, foram encontrados três casos em que os recipientes acomodando trechos de rocha continham água em seu interior (**Figura 21**), todas armazenadas no abrigo provisório. A água foi retirada, os trechos de rocha foram secos à temperatura ambiente e verificados quanto a alterações em sua integridade. Até o momento do envio aos laboratórios não foram detectadas alterações significativas nessas amostras. As caixas que se apresentaram neste estado foram: caixas 469, 645 e 669.

**Figura 21:** À esquerda, a caixa 645 com lamina d'água em seu interior. À direita, a caixa 669 com lâmina d'água.



Fonte: IPT, tiradas em 11/02/2021 e 12/02/2021, respectivamente.



Em relação ao abrigo provisório, a Braskem alertou o IPT quanto à dificuldade na aquisição de lonas para reforçar a proteção do abrigo, devido à falta de fornecedores e produto no mercado.

✓ Limpeza e conservação dos evaporitos

A sondagem dos evaporitos foi realizada com o auxílio de fluido constituído por salmoura. Para que as condições da rocha não fossem afetadas, a salinidade e outras características do fluido foram constantemente testadas pela equipe da empresa Schlumberger.

Foi recomendado pelo IPT que o processo de limpeza, corte e acondicionamento da rocha fosse feita de forma célere, sem exposição prolongada dos trechos à umidade ambiente. Ressalta-se que esta etapa foi de responsabilidade da Reservoir, sendo que o IPT apenas sugeriu melhores métodos para a limpeza e conservação das rochas evaporíticas.

A conservação dos evaporitos se iniciou ainda no barrilete, com a secagem da salmoura (fluido de sondagem) impregnada no testemunho. Após o corte do testemunho em trechos, as rochas foram limpas com vaselina líquida, embaladas em camadas de plástico filme e vedadas com fita crepe.

Para melhor conservação das amostras, foi sugerido que as rochas fossem armazenadas em ambientes com umidade controlada, por exemplo, um contêiner com ar-condicionado. A Braskem providenciou para o acondicionamento das amostras, dois contêineres com ar-condicionado instalado para controle de umidade. Nesses contêineres, sempre que possível, as rochas eram desembaladas, descritas, pré-selecionadas e novamente embaladas e armazenadas.

Ressalta-se que não foi detectado processos de deterioração, conforme supracitado, nas rochas evaporíticas sondadas, sendo que os diâmetros se mostraram conservados.

A **Figura 22** apresenta um trecho do testemunho que foi separado e testado para verificar a velocidade de deterioração do evaporito em umidade ambiente sem

qualquer tipo de proteção prévia. Para que a deterioração fosse tal qual a foto, levou-se um tempo estimado de 20 a 24 horas.

**Figura 22:** Trecho-teste retirado de um testemunho de evaporito para verificar a sua deterioração superficial caso a rocha ficasse exposta à umidade relativa do ambiente. Na foto é possível ver o acúmulo de “água” proveniente da deterioração do trecho-teste, com sua dissolução devido à umidade ambiente (destacado em vermelho).



Fonte: IPT, tirada em 18/02/2021.

Nesse sentido, comprova-se que a limpeza e o armazenamento dos evaporitos em campo foram feitas de forma adequada, sem ter sido detectada deteriorações evidentes nas amostras.

✓ Sinalização de ocorrências

Quando às ocorrências supracitadas nos subitens anteriores ocorriam, os alertas eram realizados em campo, para as equipes responsáveis presentes no canteiro de sondagem e reforçadas, via *e-mail* ou carta, posteriormente.

Também foram sinalizadas possibilidade de melhoria nos processos abrangidos na sondagem, como no armazenamento das amostras (contêineres com ar-condicionado para os evaporitos e proteção do interior das caixas com espuma) e melhorias no abrigo provisório (instalação de nova lona no teto).

Ressalta-se que os alertas foram dados como forma de oportunidades de melhoria no processo de amostragem do poço PE-04 de modo a proporcionar as melhores amostras possíveis para ensaios geomecânicos a partir das rochas testemunhadas, evitando desperdícios de material testemunhado e de amostras passíveis de serem ensaiadas em laboratório.

✓ Verificação dos Relatórios Diários de Testemunhagem

Durante a sondagem do poço PE-04, a Braskem produziu Relatórios Diários de Testemunhagem (RDT), onde são dadas informações diárias da sondagem do poço. O RDT era produzido pela equipe da Braskem em campo, responsável pela descrição geológica e acompanhamento da sondagem. A análise do RDT pela equipe do IPT iniciou-se com regularidade a partir do RDT nº 31, quando os calcários da Formação Mosqueiro começaram a ocorrer, próximo da litologia prevista para ensaios geomecânicos.

As fichas de RDT eram fornecidas ao IPT depois de finalizadas e revisadas pelo geólogos consultores da Braskem, para que fossem verificadas quanto a sua coerência em relação aos dados coletados em campo, e demais informações presentes no RDT. Ressalta-se que não foram encontradas incoerências a serem destacadas.

Nessa ficha, são dadas informações básicas de projeto, como a localização do poço e sua identificação (PE-04), além de coordenadas UTM e elevação (**Figura 23**).

No RDT foi informado o progresso total da sondagem, com dados acerca da metragem programada e metragem testemunhada de fato, a diferença entre as duas metragens, além de informações acerca da recuperação total do poço. (**Figura 23**)

**Figura 23:** Informações básicas do poço, encontradas no trecho do RDT nº 219, fornecido pela Braskem ao IPT e referentes à sondagem do dia 07/04/2021.

Relatório Diário de Testemunhagem

Equipe de Geologia Braskem

Braskem

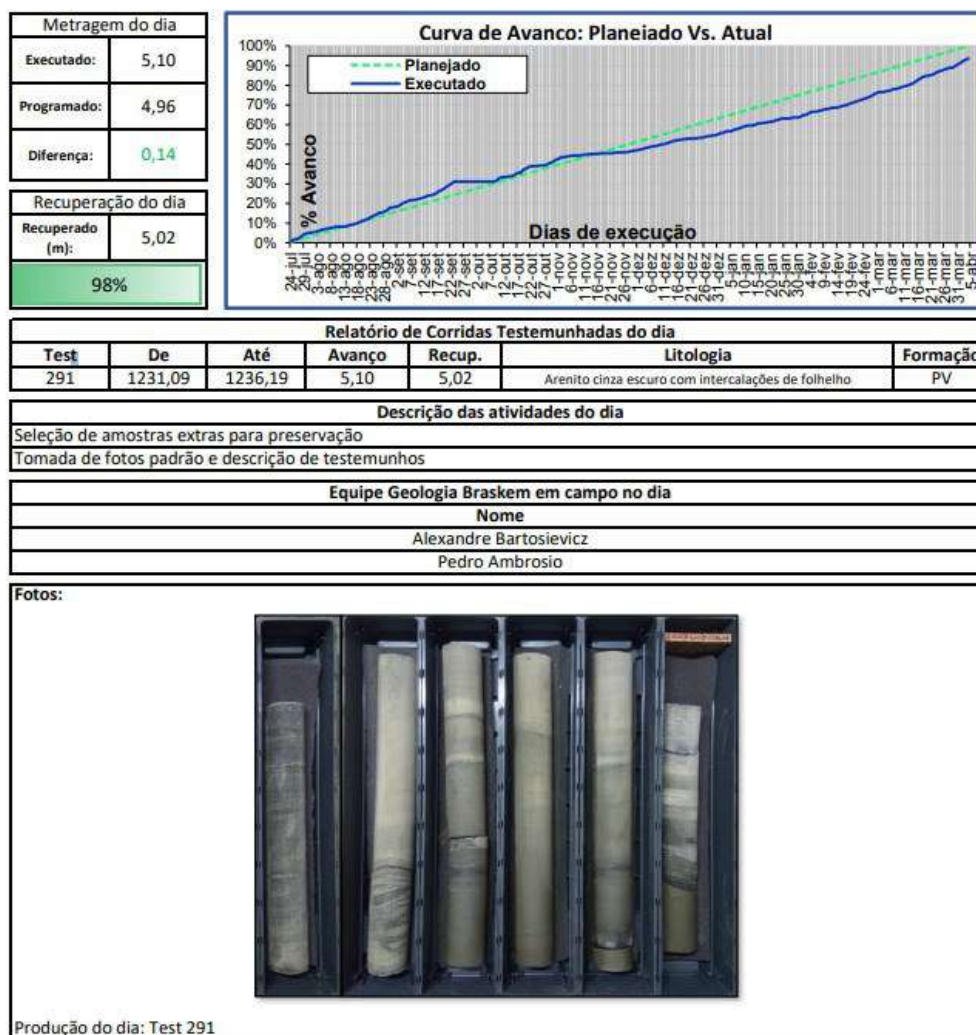
Poço Estratigráfico Braskem Alagoas						
Projeto:						
Poço Nº:	PE-04	Projeto Nº:	GEOBRK-001	Localidade:	Maceió/AL	
Coordenadas do PE-04	Datum:	UTM SIRGAS 2000	Zona:	25 L	Elevação (m):	30,00
Longitude (UTM E) (m):	198.342		Latitude (UTM N) (m):	8.934.056		
Início da execução:	24/07/2020	Relatório Nº  219	Progresso Total (metro)			
Data atual:	07/04/2021		Programado:	1.265,50		
Dias de execução:	258		Testemunhado:	1201,69		
			Diferença:	63,81		
Recuperação total do Poço (m):	1079.50	Recuperação total do Poço (%):	90%			

Fonte: Braskem.

Em relação às informações diárias da sondagem, são dadas as metragens programadas para a sondagem e a realmente executada, além da recuperação do dia. Com essas informações é possível elaborar um gráfico como a curva de avanço da sondagem ao longo do projeto.

As informações referentes ao número designado ao testemunho, sua profundidade sondada inicial e final, além do avanço e recuperação do testemunho são dadas juntamente com a descrição geológica da rocha recuperada e sua Formação. Também são notificadas ocorrências diárias, como as atividades de pré-seleção do IPT, tomada de fotos dos testemunhos pela Braskem, as visitas de técnicos da ANM (Agência Nacional de Mineração) ou de consultores contratados da Braskem, paralisações para medição da inclinação do poço. São discriminados os integrantes da equipe de geologia da Braskem presente em campo no dia da testemunhagem, além da ilustração do testemunho através da foto tomada das rochas sondadas (**Figura 24**).

**Figura 24:** Apresentação de parte do RDT nº 219, onde possuem informações acerca da metragem programada e executada do dia, além de informações quanto a recuperação da sondagem, geologia e fotos ilustrativas das rochas do testemunho.



Fonte: Braskem.

## 4.5 Resumo de campo

As atividades desenvolvidas pelo corpo técnico do IPT em campo compreenderam o acompanhamento da sondagem do poço PE-04, a fim de se garantir o aproveitamento máximo dos testemunhos de rocha para ensaios geomecânicos, desde sua retirada do poço PE-04 até a chegada ao LMR no IPT.

No decorrer das atividades, foram encontradas algumas ocorrências relacionadas aos itens de pré-seleção das amostras, acondicionamento, viabilização do



transporte e diretrizes de boas práticas, que podem ser elencadas a seguir, assim como suas resoluções:

- ✓ Pré-seleção das amostras: irregularidades no corpo (fissuras inerentes ou não às atividades de sondagem, cavidades, estrangulamentos, colagem de fluido na rocha), redução de diâmetro. As ocorrências inerentes ao processo de sondagem por vezes são inevitáveis e não puderam ser sanadas, apenas remediadas ou contornadas. As que não eram inerentes, como a colagem por fluido ou estrangulamento, foram alertadas às empresas de sondagem pela Braskem (por iniciativa própria ou a pedido do IPT), e foram tomadas medidas corretivas como monitoramento constante do fluido e alteração na velocidade de perfuração.
- ✓ Acondicionamento: acondicionamento dos evaporitos de forma adequada. Foi providenciado pela Braskem vaselina líquida para limpeza dos testemunhos e contêineres com ar-condicionado para acomodar as caixas contendo evaporitos, para controle de umidade e temperatura.
- ✓ Viabilização para transporte das amostras: caixas para armazenamento de testemunhos sem proteção interna. Para aumentar a proteção do testemunho, foi sugerido espuma de densidade D28 e espessura entre 20 mm e 50 mm. Posteriormente, a Braskem foi além das expectativas e contratou a Reservoir para efetuar um processo adicional de proteção das amostras a serem enviadas aos laboratórios.
- ✓ Diretrizes de boas práticas: no manuseio dos testemunhos, foi orientado pelo corpo técnico da Braskem e IPT os cuidados no manuseio dos testemunhos. Na proteção das amostras contra intempéries, em parte a sugestão foi atendida, embora o abrigo provisório fornecido tivesse alguns defeitos que levaram a ocorrência de encharcamento do interior de 3 caixas de testemunho. Depois de secas as amostras não apresentaram problemas de integridade até o envio ao laboratório. Já na limpeza e

armazenamento dos evaporitos, foi providenciado pela Braskem, por sugestão do IPT, vaselina líquida e plásticos filme para acondicionar essas rochas de forma adequada nos contêineres com ar-condicionado.

Diante da metodologia de trabalho pormenorizada nos subitens anteriores, da apresentação das ocorrências de campo relacionadas aos quatro itens que balizaram os trabalhos do IPT, e nas ocorrências e resoluções, afirma-se que as amostras enviadas aos laboratórios onde foram desenvolvidos os ensaios geomecânicos são de qualidade satisfatória, sendo aptas para os ensaios previstos. Antes do envio ao LMR, as amostras já pré-selecionadas pelo IPT foram revisadas pela equipe, a fim de garantir a qualidade amostral.

Salienta-se que as escolhas e revisões são baseadas em análises *in situ*, e não laboratoriais.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente relatório apresenta, em suma, as atividades desenvolvidas pela equipe do IPT em campo ao longo dos 10 meses de sondagem do poço PE-04, localizado em Maceió, Alagoas. Os trabalhos desenvolvidos pelo IPT consistiram no acompanhamento da sondagem deste poço para retirada de amostras e seleção daquelas que passíveis de ensaios geomecânicos em rochas, inicialmente pré-determinados, segundo as normas e diretrizes técnicas pertinentes à execução dos ensaios.

Ao longo do período de sondagem, procurou-se verificar não somente as questões que envolvessem as boas práticas de sondagem, como problemas relacionados ao diâmetro dos testemunhos ou eventuais danos às rochas, mas também as questões relacionadas ao armazenamento e transporte das amostras selecionadas para o LMR – IPT a partir do canteiro do PE-04.

Diante do exposto, é possível afirmar que as amostras selecionadas para envio aos laboratórios (IPT e externos) se apresentaram satisfatórias quanto às suas integridades e suas qualidades amostrais, apesar das ocorrências durante a sondagem

do poço estratigráfico PE-04. As amostras selecionadas pela Braskem e seus consultores, e destinadas ao IPT, se encontram devidamente armazenadas nas dependências do Laboratório de Mecânica de Rochas desse Instituto. Parte das amostras já foi ensaiada até o presente momento, enquanto outras amostras estão em via de serem ensaiadas.

São Paulo, 17 de setembro de 2021.

**CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE**  
Seção de Obras Civas  
Engº Civil Diego Lapolli Bressan  
Gerente Técnico  
CREA 170028342-1 – RE 8733  
[Assinado Digitalmente](#)

**CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE**  
Geól. Me. Fabrício Araujo Mirandola  
Diretor Técnico  
CREASP Nº 5062055808 – RE 8658  
[Assinado Digitalmente](#)



Documento assinado digitalmente.  
Sua validade legal e autenticidade são vinculadas às assinaturas digitais do(s) responsável(is) técnico(s) e à assinatura digital certificada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.

## **EQUIPE TÉCNICA**

### **CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE**

#### **Seção de Obras Civas**

Diego Lapolli Bressan, Engenheiro Civil

Felipe Schaeffer Santos, Especialista, Geólogo – FIPT

João Pedro Silva Pereira, Geólogo – FIPT

Luan Ferreira de Santana Souza, Técnico - FIPT

Patricia Del Gaudio Orlando, Mestre, Engenheira Civil

Paula Sayuri Tanabe Nishijima, Especialista, Geóloga

#### **Laboratório de Mecânica de Rochas**

Thiago Souza e Silva, Técnico

Lúcio Flávio Maia Coelho, Engenheiro de Minas

Luis Carlos Agostini, Técnico

#### **Apoio Administrativo**

Silmara Frari Landim , Técnica Administrativa

Ludmila Souto Lima Parisi, Secretária– FIPT

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society for Testing and Materials. **ASTM D3967 – 16**: Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens. Estados Unidos, 2016.

American Society for Testing and Materials. **ASTM D4543 – 19**: Standard Practices for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerances. Estados Unidos, 2019.

American Society for Testing and Materials. **ASTM D5607 – 16**: Standard Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens Under Constant Normal Force. Estados Unidos, 2016.

American Society for Testing and Materials. **ASTM D7012 - 14E1**: Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures. Estados Unidos, 2014.

American Society for Testing and Materials. **ASTM D7070 - 16**: Standard Test Methods for Creep of Rock Core Under Constant Stress and Temperature. Estados Unidos, 20016.

BIGARELLA, J. J; ANDRADE, G. O. de . **Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozoicos em Pernambuco (Grupo Barreiras)**. UR. ICT. Arquivos, n.2, p. 2 - 14, 1964.

BIZZI, Luiz Augusto *et al* (org.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas & sig. Texto, mapas & SIG. 2003. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/publique/media/recursos\\_minerais/livro\\_geo\\_tec\\_rm/abertura.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/recursos_minerais/livro_geo_tec_rm/abertura.pdf). Acesso em: 16 ago. 2021..

BRITO NEVES, B. B. de et. al. **U-Pb zircon ages of some classic granites of the Borborema Province**. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4, 24-27 Aug. 2003, Salvador-Ba. Short papers. Salvador: CBPM, 2004. 2v. v.1. p.158-159.

CAMPOS NETO, O. P. A, SOUZA LIMA, W., CRUZ, F.E.G., 2007. **Bacia de Sergipe-Alagoas**. Boletim de Geociências da Petrobras. 2007. V. 15, n. 2, p. 405-415.

HOEK, E., & BROWN, E. T. (1997). **Practical estimates of rock mass strength**. In: *The International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, pp. 1165-1186



International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering. **Rock Characterization Testing and Monitoring. ISRM Suggested Methods.** Ed. Pergamon Press, Oxford, 1981.

MENDES, Vanildo Almeida (Org.) et al. **Geologia e recursos minerais do estado de Alagoas:** escala 1:250.000. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2017. 113 p. 1 DVD 2 mapas, color. Escala 1:250.000. Programa Geologia do Brasil. Consultado em 16 de julho de 2020. Website: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17649?show=full>

MOHRIAK, Webster *et al* (org.). **Sal: Geologia e Tectônica:** exemplos nas bacias brasileiras. São Paulo: Editora Beca, 2008.

MORAES REGO, L. F. **Notas sobre a geologia, a geomorfologia e os recursos minerais de Sergipe.** Anais da Escola de Minas de Ouro Preto, n. 24, p. 31-84. 1933.

SANTOS, E. J. dos. **Geologia, Evolução Tectônica e Recursos Minerais da Província Borborema.** Disciplina do Curso de Doutorado do Departamento de Geologia da UFPE. Março/Junho de 2003.

SILVA F., M. A.; SANTANA, A. C.; BONFIM, L. F. C. **Evolução tectono-sedimentar do Grupo Estância: suas correlações.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1978. v. 2, p. 685-699.

**ANEXO C**  
**RELATÓRIO DE ENSAIO N° 1 128 900-203 –**  
**LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS**

**RELATÓRIO DE ENSAIO N° 1 128 900-203****CLIENTE: BRASKEM PETROQUÍMICA S.A****CNPJ: 04.705.090/0003-39****Endereço: Avenida Ailton Sena da Silva, 2700 – Jardim Oratório****CEP: 09.380-901 – Mauá – SP****NATUREZA DO TRABALHO: Ensaio geotécnicos de laboratório****REFERÊNCIA: Proposta IPT N° 60440/21****1. MATERIAL**

O material entregue constituía-se de 26 (vinte e seis) amostras de solo na condição deformada, obtidas a partir de testemunhos de sondagem e enviadas em sacos com pesos variados. Na chegada ao Laboratório de Mecânica dos Solos, as amostras receberam um número de identificação, apresentado no decorrer do relatório como número IPT.

A Tabela 1 a seguir relaciona o número IPT com a identificação enviada pelo Cliente para cada amostra.

**Tabela 1 – Identificação das amostras**

Nº IPT	Identificação das Amostras	Tipo
20207	Amostra: BAR-01 Profundidade (m): 34,50 a 37,50	Deformada
20208	Amostra: BAR-02 Profundidade (m): 37,50 a 47,70	Deformada
20209	Amostra: BAR-03 Profundidade (m): 47,70 a 53,70	Deformada
20210	Amostra: BAR-04 Profundidade (m): 55,20 a 56,30	Deformada
20211	Amostra: BAR-05 Profundidade (m): 56,20 a 59,46	Deformada
20212	Amostra: BAR-06 Profundidade (m): 59,46 a 61,72	Deformada
20213	Amostra: BAR-07 Profundidade (m): 61,72 a 62,72	Deformada
20214	Amostra: BAR-08 Profundidade (m): 62,72 a 70,72	Deformada
20215	Amostra: BAR-09 Profundidade (m): 70,72 a 72,91	Deformada

(continua)

(continuação)

Nº IPT	Identificação da Amostra	Tipo
20216	Amostra: BAR-10 Profundidade (m): 72,91 a 74,76	Deformada
20217	Amostra: BAR-11 Profundidade (m): 74,76 a 76,22	Deformada
20218	Amostra: BAR-12 Profundidade (m): 76,22 a 77,56	Deformada
20219	Amostra: BAR-13 Profundidade (m): 77,56 a 88,07	Deformada
20220	Amostra: BAR-14 Profundidade (m): 88,07 a 88,75	Deformada
20221	Amostra: BAR-15 Profundidade (m): 88,75 a 90,49	Deformada
20222	Amostra: BAR-16 Profundidade (m): 90,49 a 91,55	Deformada
20223	Amostra: BAR-17 Profundidade (m): 91,55 a 93,55	Deformada
20224	Amostra: BAR-18 Profundidade (m): 97,00 a 98,50	Deformada
20225	Amostra: BAR-19 Profundidade (m): 99,50 a 101,50	Deformada
20226	Amostra: BAR-20 Profundidade (m): 101,50 a 105,84	Deformada
20227	Amostra: BAR-21 Profundidade (m): 105,84 a 106,21	Deformada
20228	Amostra: BAR-22 Profundidade (m): 106,21 a 107,41	Deformada
20229	Amostra: BAR-23 Profundidade (m): 107,41 a 113,36	Deformada
20230	Amostra: BAR-24 Profundidade (m): 113,36 a 115,45	Deformada
20231	Amostra: BAR-25 Profundidade (m): 117,45 a 121,95	Deformada
20232	Amostra: BAR-26 Profundidade (m): 121,95 a 122,43	Deformada

## 2. MÉTODOS UTILIZADOS

Ensaio de granulometria realizados de acordo com o método NBR 7181:2016, da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (Procedimentos CT-OBRS/SG-MS-PE-01). A preparação da amostra foi realizada com secagem prévia ao ar. Os ensaios foram realizados com uso de solução defloculante a base de hexametáfosfato de sódio e carbonato de sódio.

Ensaio de massa específica dos grãos, realizados de acordo com o método NBR-6458:2016 – Anexo B, da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (Procedimento CT-OBRAS/SG-MS-PE-02). Os ensaios foram realizados com secagem prévia da amostra ao ar.

Ensaio de limites de liquidez e plasticidade, realizados de acordo com os métodos NBR 6459:2016 e NBR 7180:2016, da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, respectivamente (Procedimentos CT-OBRAS/SG-MS-PE-03 e CT-OBRAS/SG-MS-PE-04). A preparação da amostra foi realizada com secagem prévia ao ar.

Na Tabela 2, a seguir, relacionam-se os equipamentos utilizados nos ensaios, com as correspondentes validades de calibração e/ou verificação.

**Tabela 2** – Equipamentos utilizados nos ensaios com as correspondentes validades de calibrações

Descrição	Código	Validade da calibração
BALANÇA ELETRÔNICA AS-5500	BAL-02	07/2028
BALANÇA DE PRECISÃO	BAL-06	10/2025
DISPERSOR	DIS-03	04/2022
DISPERSOR	DIS-04	03/2022
PAQUIMETRO	PAQ-01	01/2024
PENEIRA 100	PEN-05	09/2022
PENEIRA 3/8"	PEN-15	04/2022
PENEIRA 10	PEN-19	02/2024
PENEIRA 10	PEN-108	06/2023
PENEIRA 40	PEN-110	09/2024
PENEIRA 16	PEN-114	09/2024
PENEIRA 30	PEN-116	02/2024
PENEIRA 200	PEN-120	09/2024
PENEIRA 4	PEN-124	09/2024
PENEIRA 50	PEN-207	08/2024
TERMÔMETRO LÍQUIDO VIDRO	TER-04	09/2024
TERMÔMETRO LÍQUIDO VIDRO	TER-08	06/2022



### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Granulometria

Os resultados dos ensaios de distribuição granulométrica das amostras indicadas na Tabela 1 estão apresentados nos desenhos A-01 a A-26 do Anexo A.

#### 3.2. Massa Específica dos Grãos, Limites de Liquidez e Plasticidade

Os resultados dos ensaios de determinação da massa específica dos grãos e dos limites de liquidez e de plasticidade estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** – Resultados dos ensaios de massa específica dos grãos e dos limites de liquidez e de plasticidade.

Nº IPT	Identificação da Amostra	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	IP (%)
20207	Amostra: BAR-01 Profundidade (m): 34,50 a 37,50	2816*	125	99	26
20208	Amostra: BAR-02 Profundidade (m): 37,50 a 47,70	2704	34	17	17
20209	Amostra: BAR-03 Profundidade (m): 47,70 a 53,70	2743*	90	32	58
20210	Amostra: BAR-04 Profundidade (m): 55,20 a 56,30	2759*	NP		
20211	Amostra: BAR-05 Profundidade (m): 56,20 a 59,46	2726*	79	23	56
20212	Amostra: BAR-06 Profundidade (m): 59,46 a 61,72	2669*	NP		
20213	Amostra: BAR-07 Profundidade (m): 61,72 a 62,72	2670*	NP		
20214	Amostra: BAR-08 Profundidade (m): 62,72 a 70,72	2696	NP		
20215	Amostra: BAR-09 Profundidade (m): 70,72 a 72,91	2676	NP		
20216	Amostra: BAR-10 Profundidade (m): 72,91 a 74,76	2664*	48	19	29
20217	Amostra: BAR-11 Profundidade (m): 74,76 a 76,22	2688*	34	18	16

(continua)

(continuação)

Nº IPT	Identificação da Amostra	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	IP (%)
20218	Amostra: BAR-12 Profundidade (m): 76,22 a 77,56	2642*	31	17	14
20219	Amostra: BAR-13 Profundidade (m): 77,56 a 88,07	2652	NP		
20220	Amostra: BAR-14 Profundidade (m): 88,07 a 88,75	2565*	32	22	10
20221	Amostra: BAR-15 Profundidade (m): 88,75 a 90,49	2895*	23	13	10
20222	Amostra: BAR-16 Profundidade (m): 90,49 a 91,55	2686*	64	26	38
20223	Amostra: BAR-17 Profundidade (m): 91,55 a 93,55	2733*	59	22	37
20224	Amostra: BAR-18 Profundidade (m): 97,00 a 98,50	2727*	38	21	17
20225	Amostra: BAR-19 Profundidade (m): 99,50 a 101,50	2673	NP		
20226	Amostra: BAR-20 Profundidade (m): 101,50 a 105,84	2716*	21	14	7
20227	Amostra: BAR-21 Profundidade (m): 105,84 a 106,21	2672	NP		
20228	Amostra: BAR-22 Profundidade (m): 106,21 a 107,41	2633*	NP		
20229	Amostra: BAR-23 Profundidade (m): 107,41 a 113,36	2645*	NP		
20230	Amostra: BAR-24 Profundidade (m): 113,36 a 115,45	2738*	20	12	8
20231	Amostra: BAR-25 Profundidade (m): 117,45 a 121,95	2665*	38	19	19
20232	Amostra: BAR-26 Profundidade (m): 121,95 a 122,43	2702*	37	16	21

**Nota:** \*Material passado na peneira 2mm

Ensaio de limite de liquidez e limite de plasticidade, realizados com material passado na peneira de número 40 (0,425 mm)

#### 4. NOTAÇÕES

$\rho_s$  – massa específica dos grãos

IP – índice de plasticidade

LL – limite de liquidez

LP – limite de plasticidade

NP – não plástico

#### 5. ANEXO A – Gráficos (26 págs).

#### 6. EQUIPE TÉCNICA

Engenheiro, Gerente Técnico, Diego Lapolli Bressan – IPT

Engenheiro, Rodrigo Serafim – IPT

Técnico Antônio Carlos Peroni – FIPT

Técnico Benedito Mota – IPT

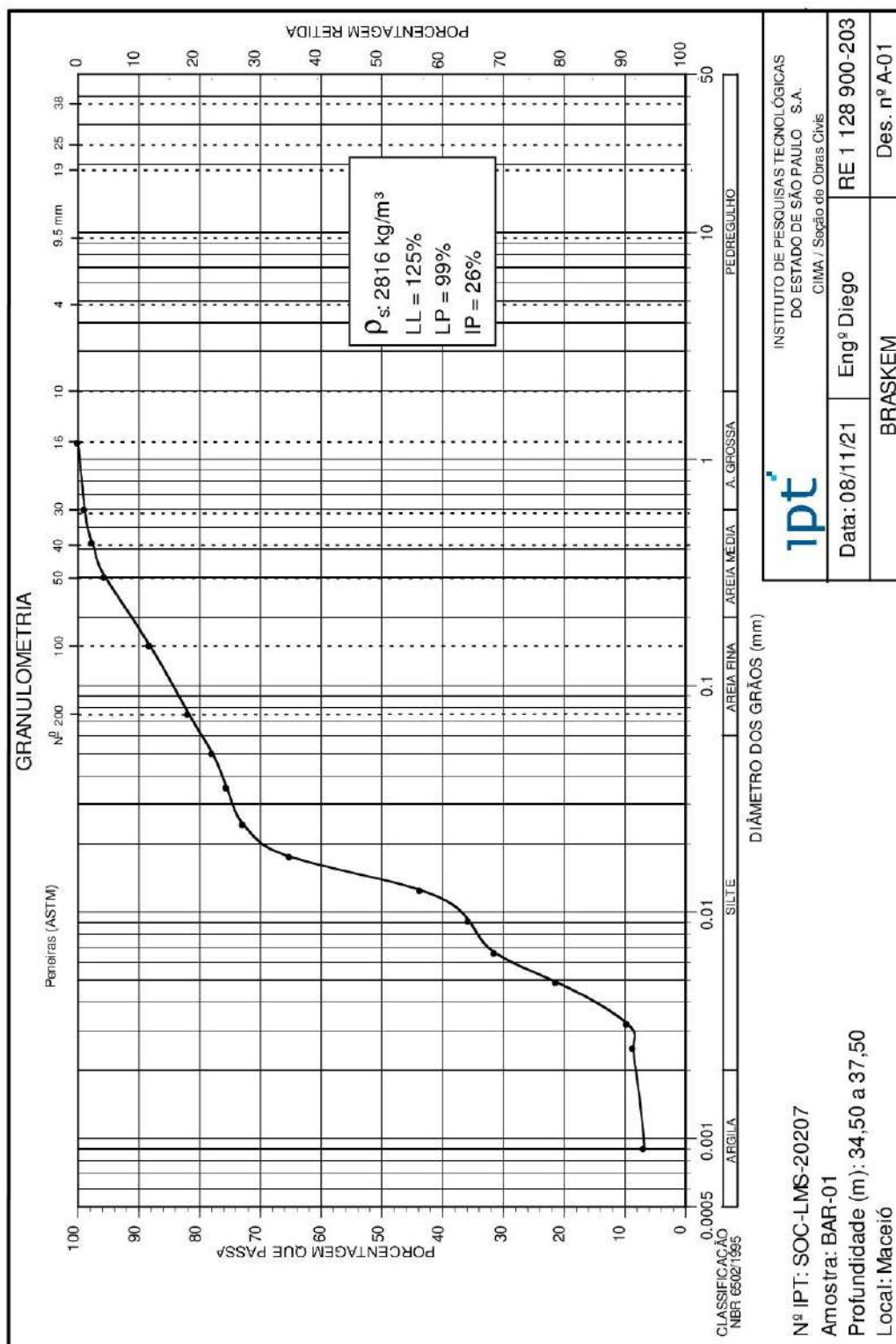
Técnico Marcelo Pasquallucci Marzullo – IPT

São Paulo, 25 de janeiro de 2022.

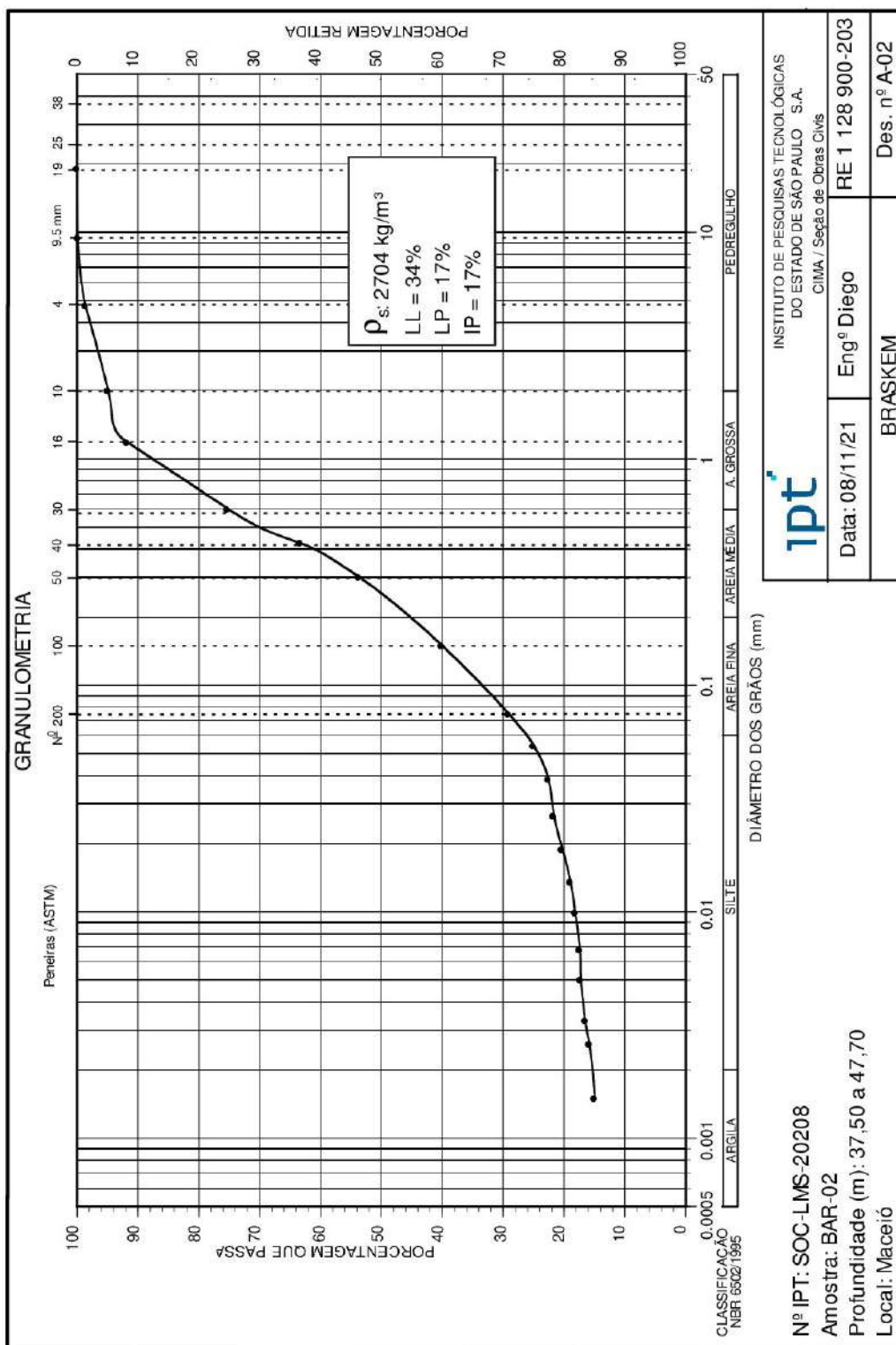
CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE  
Seção de Obras Civas  
Engº Civil Rodrigo Serafim  
Supervisor de Ensaio  
CREA 5069488730 – RE 8740  
Assinado Digitalmente

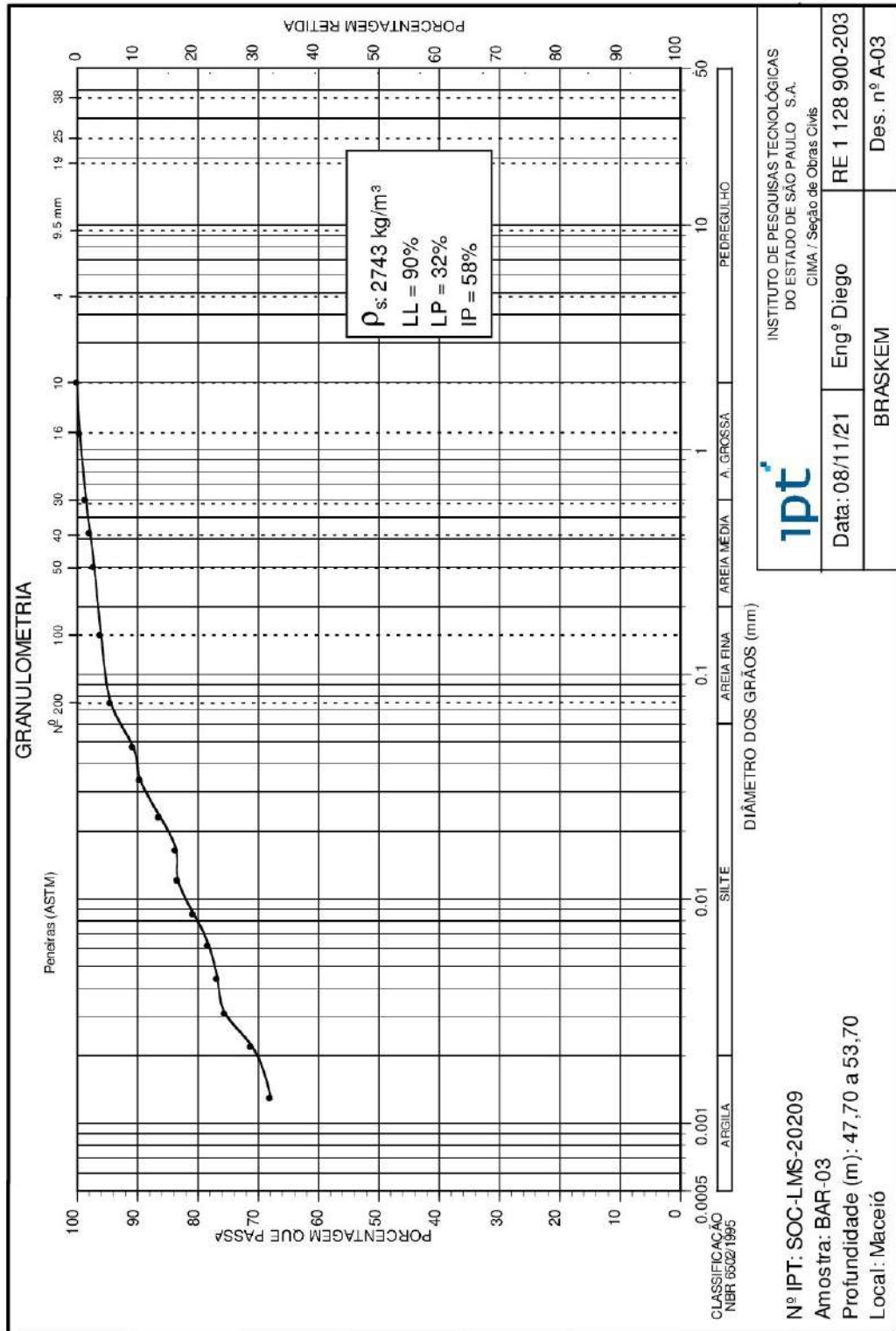
CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE  
Seção de Obras Civas  
Engº Civil Diego Lapolli Bressan  
Gerente Técnico  
CREA 170028342-1 – RE 8733  
Assinado Digitalmente

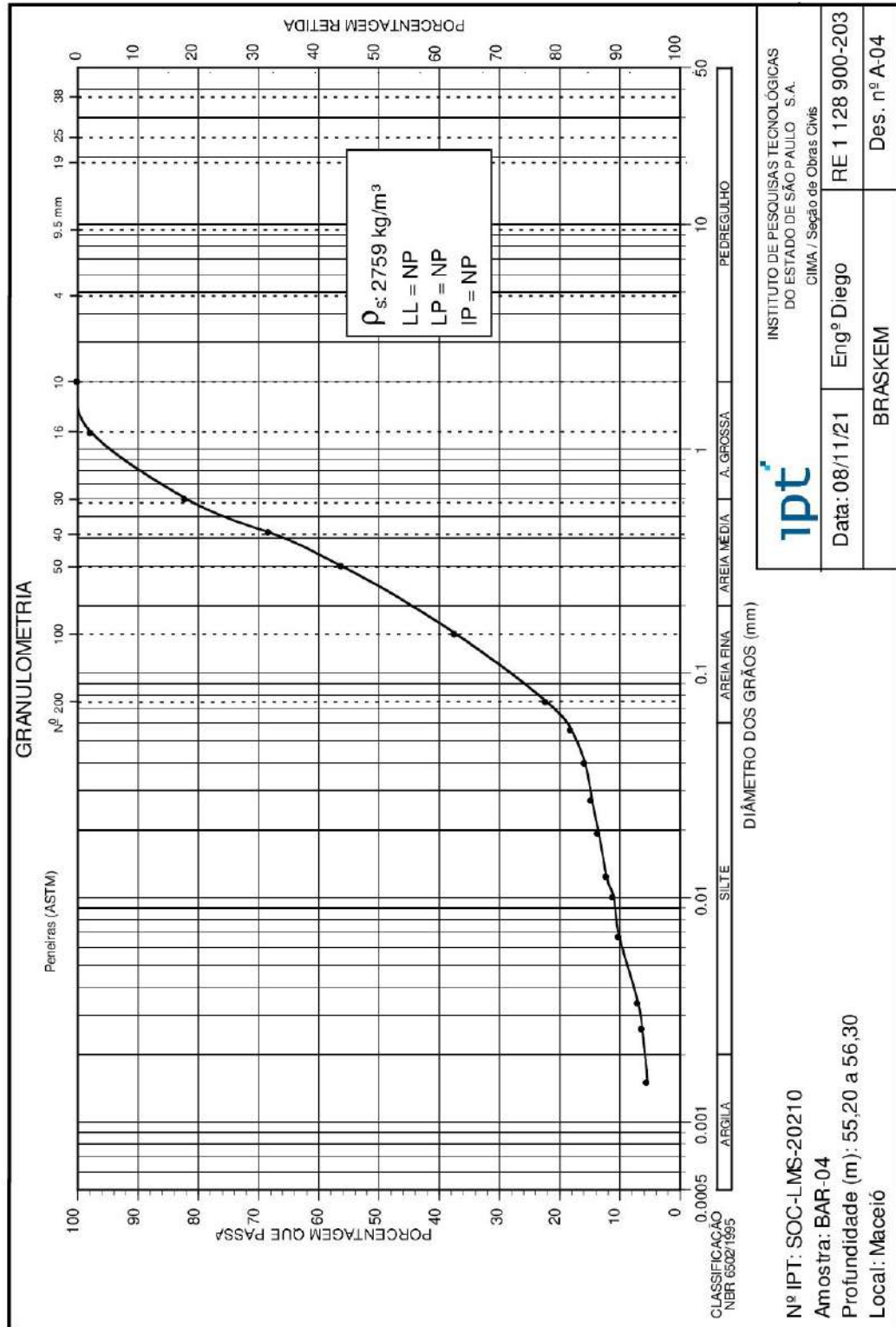
## Anexo A – Gráficos

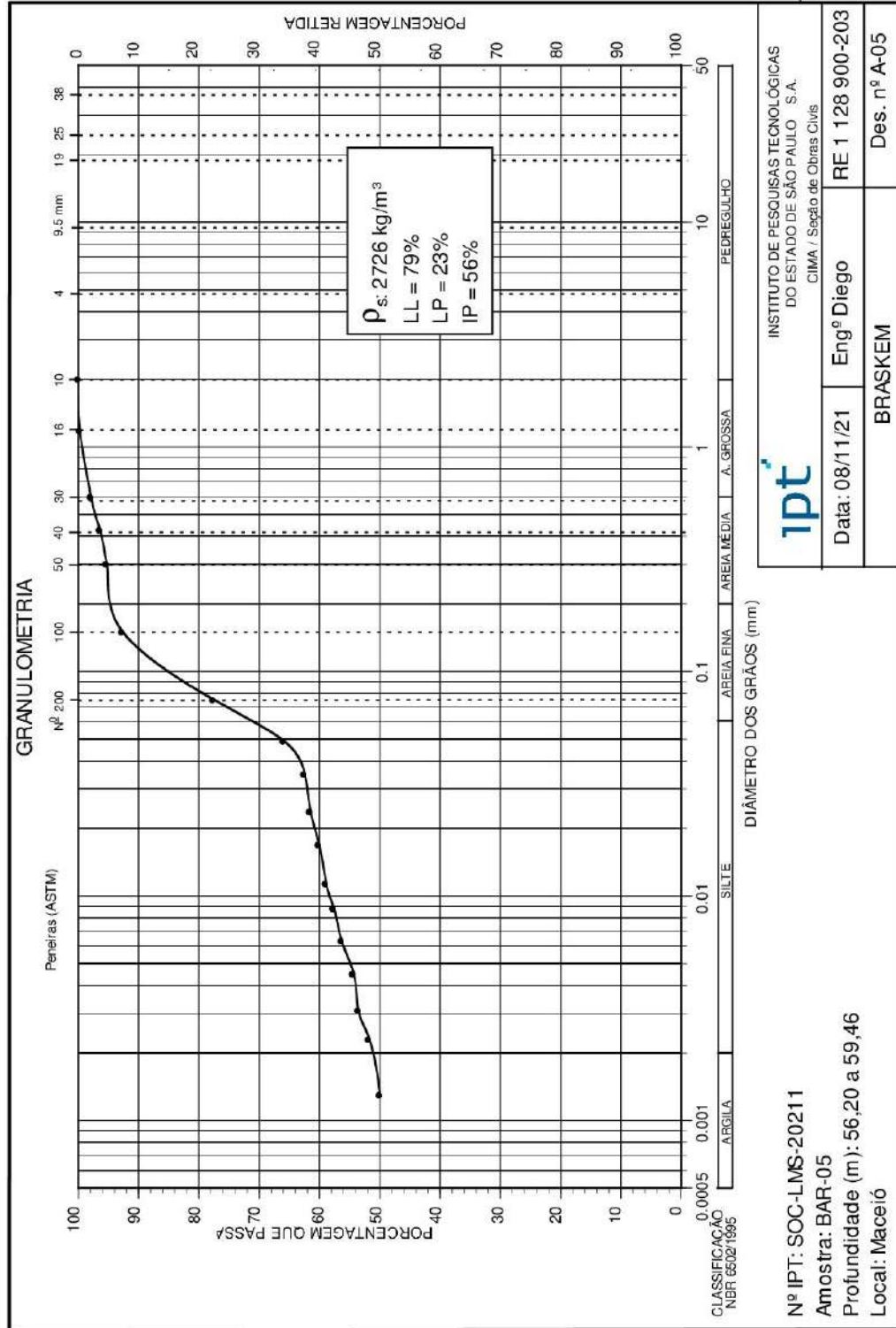


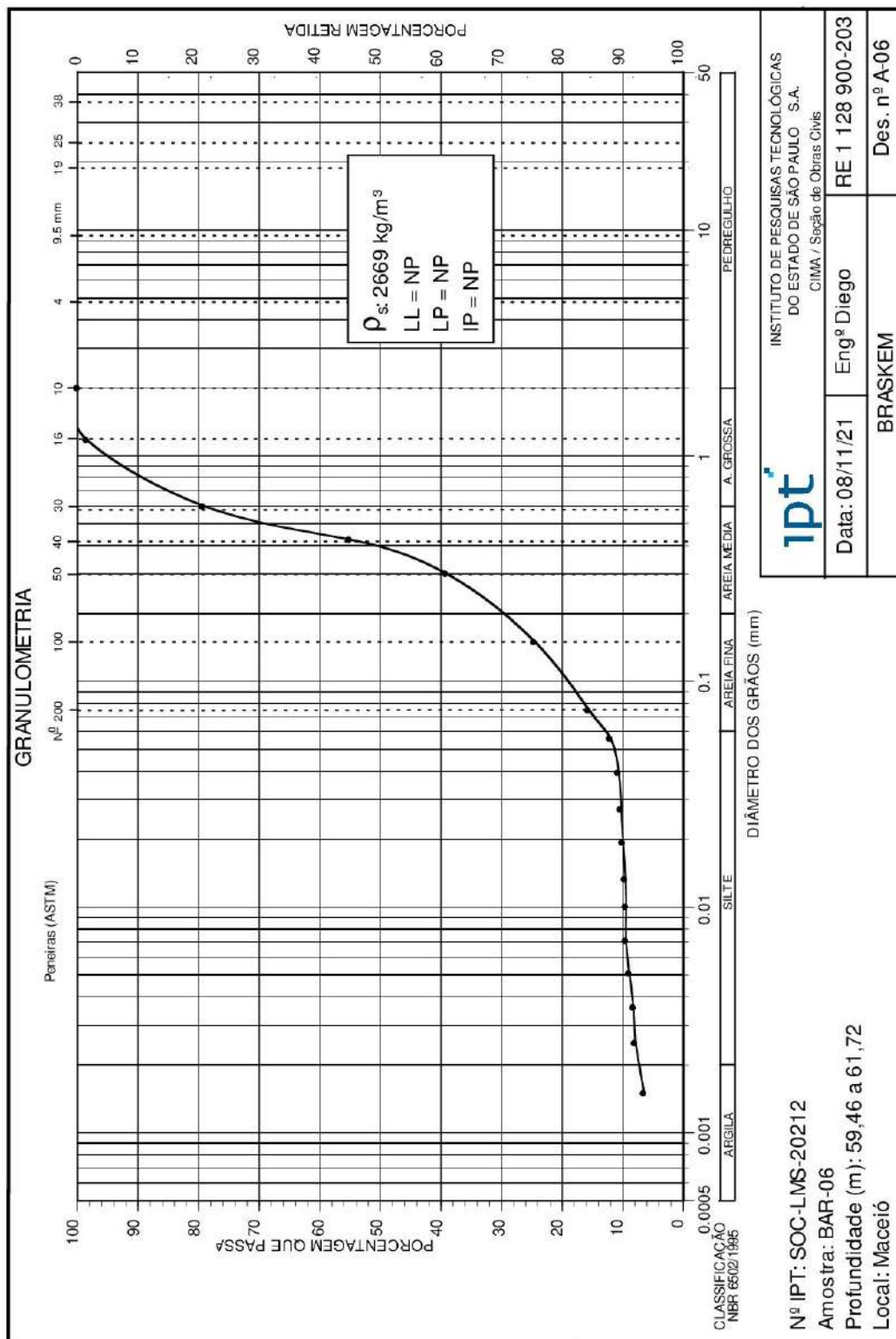




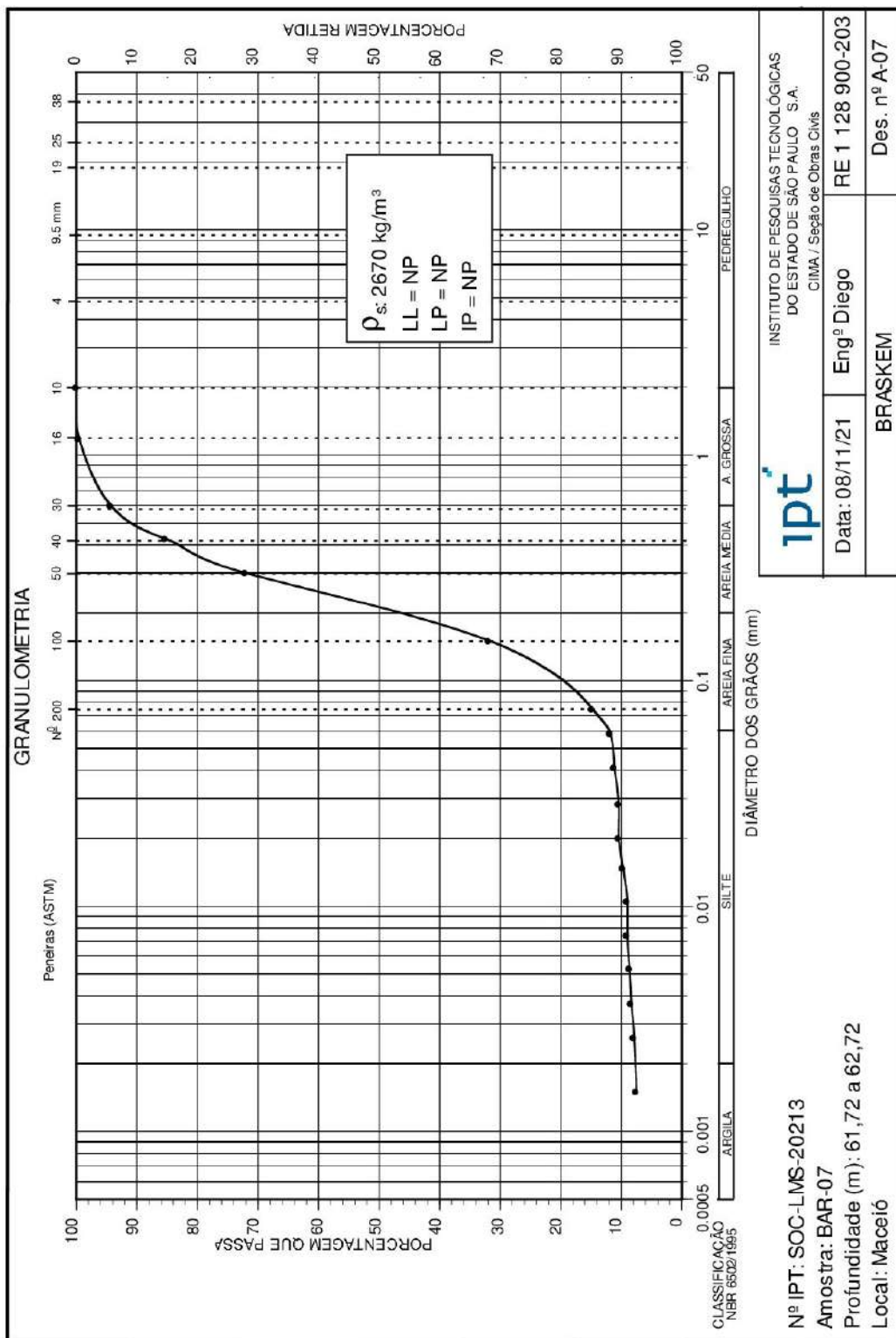


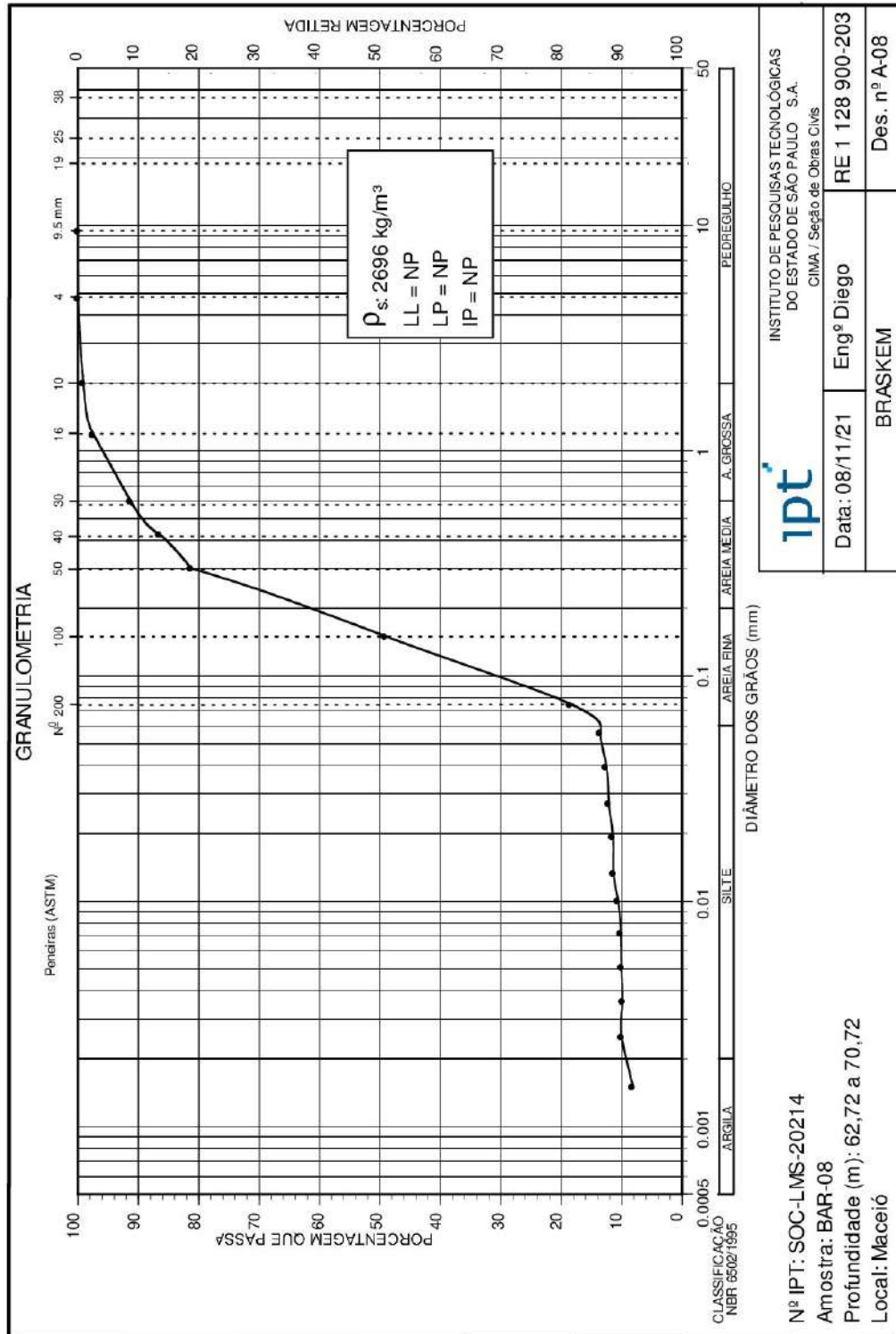


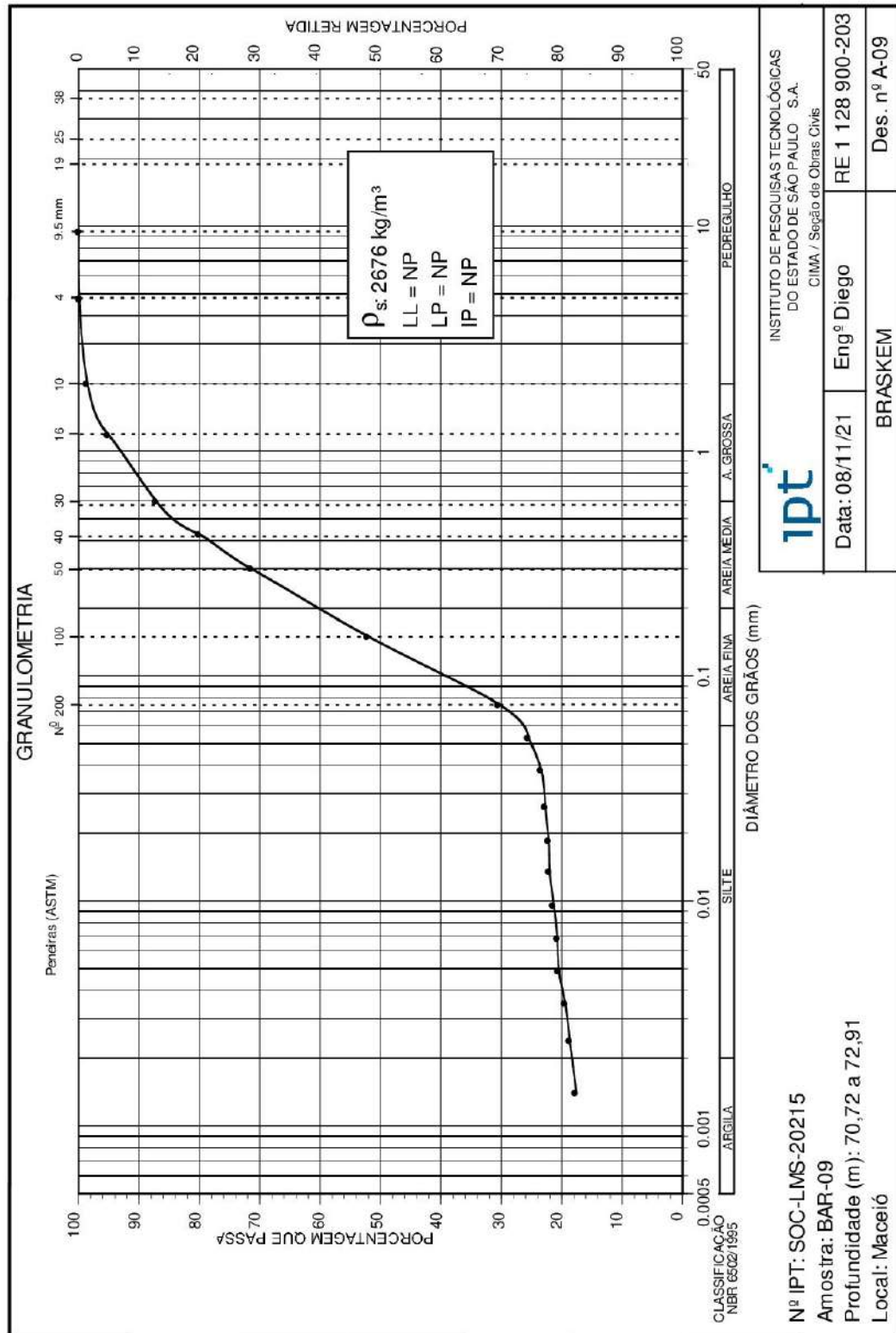


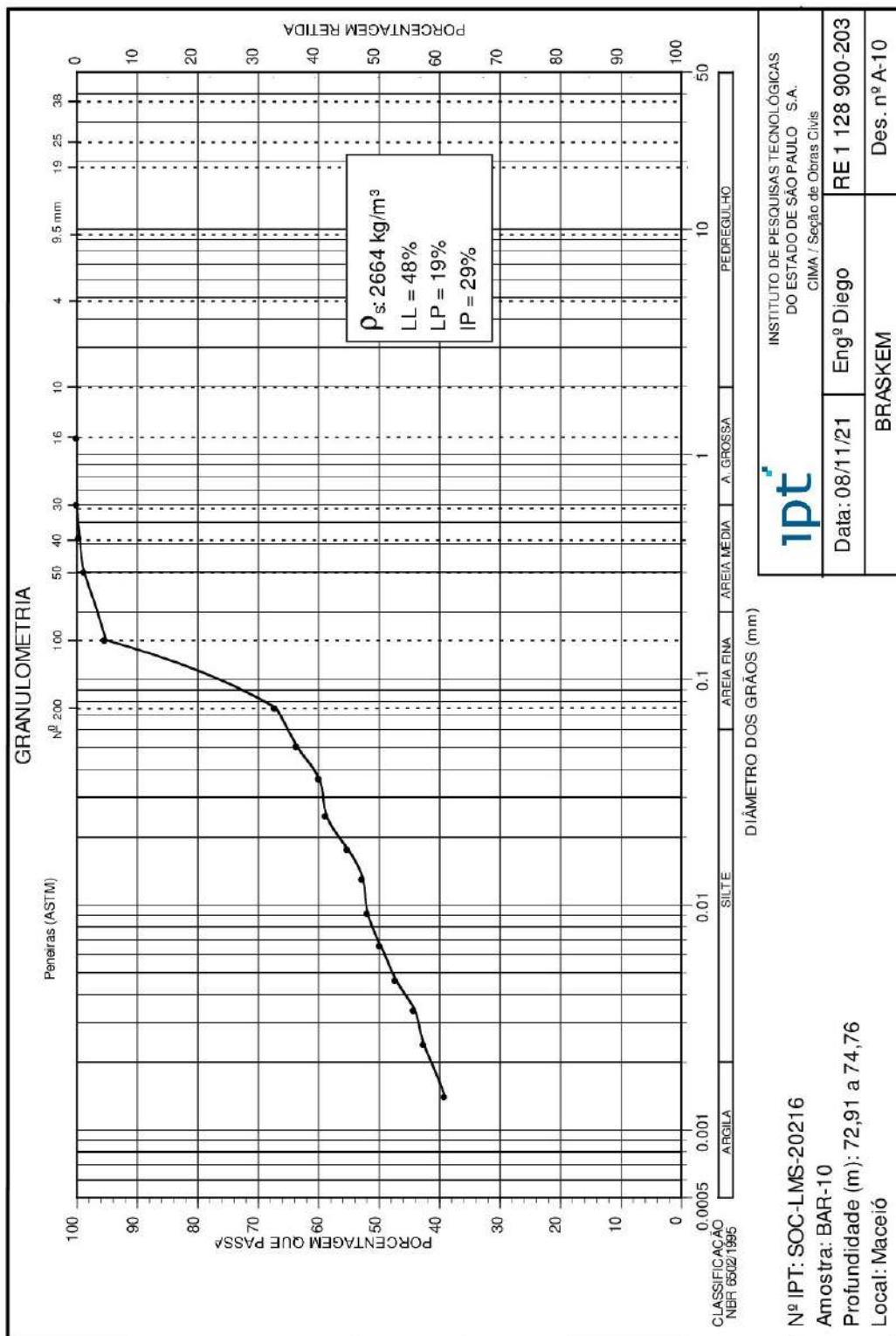


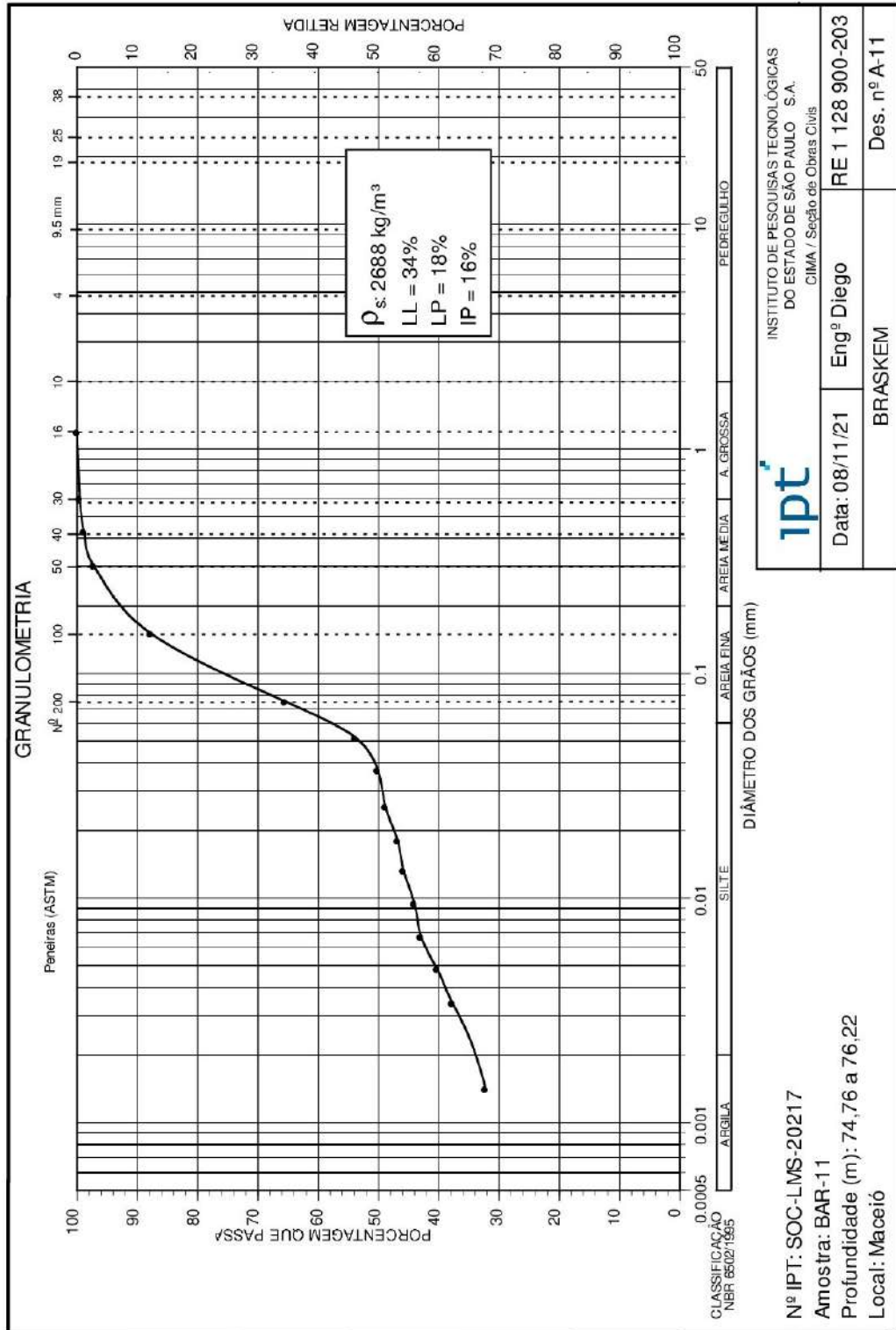




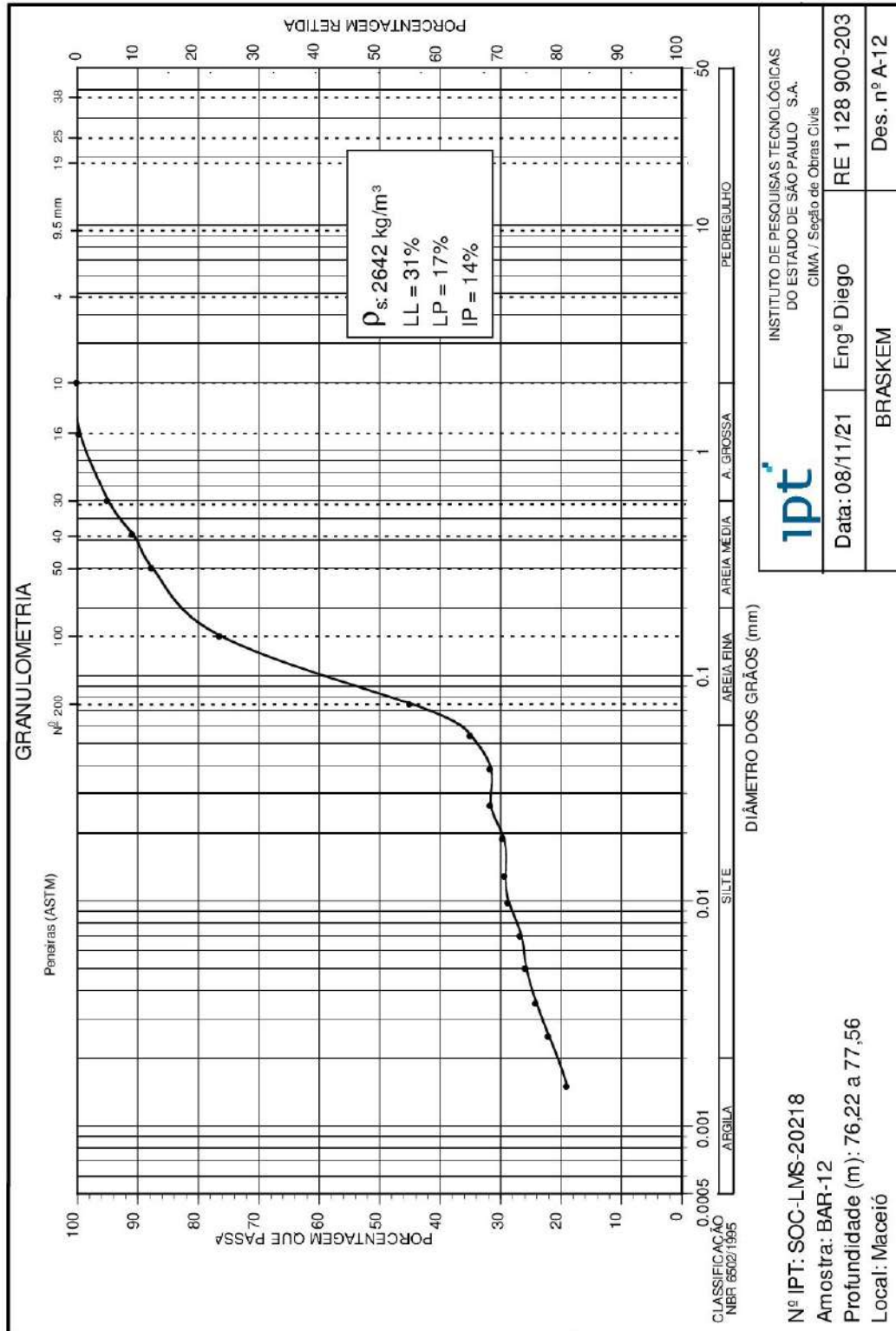


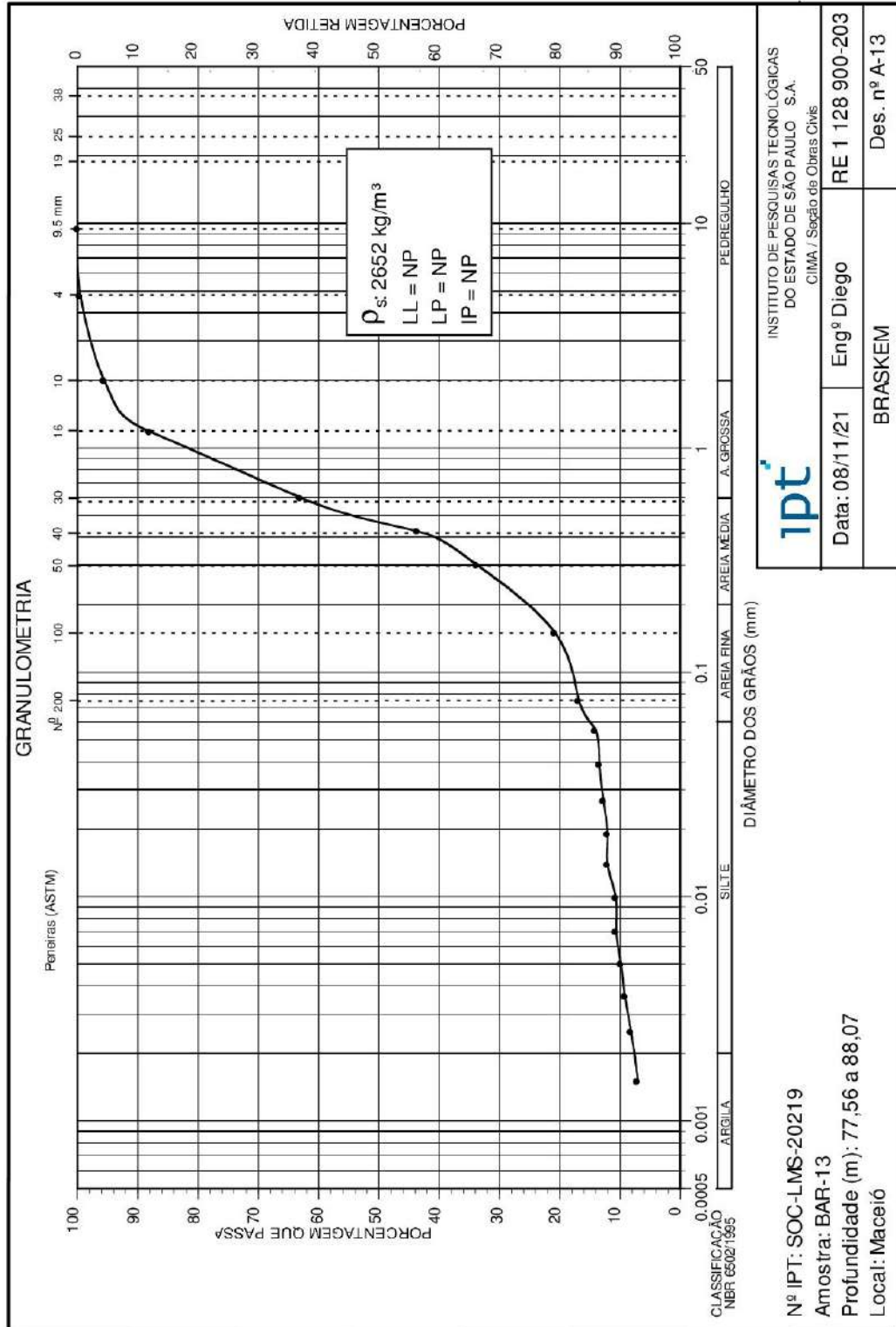


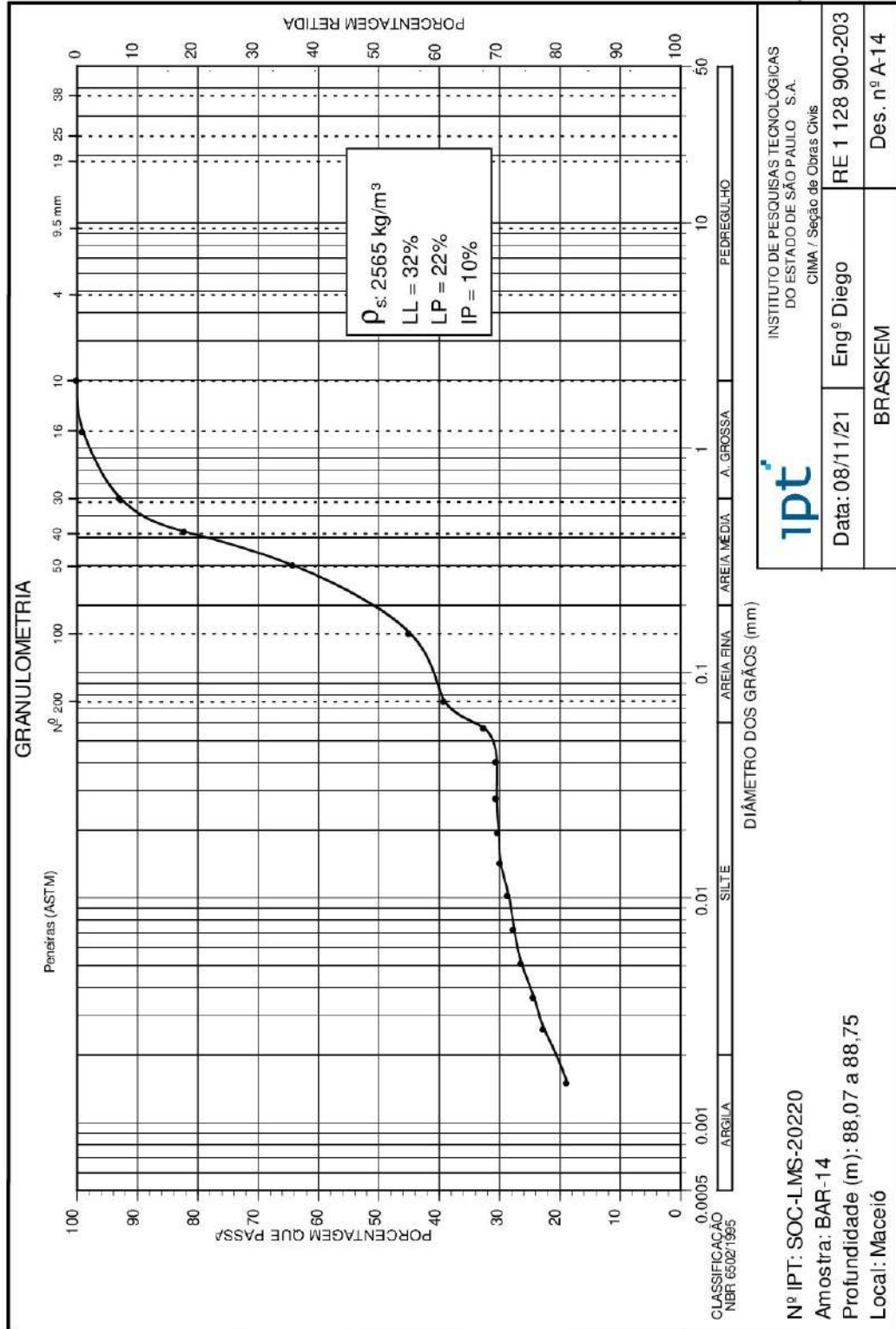


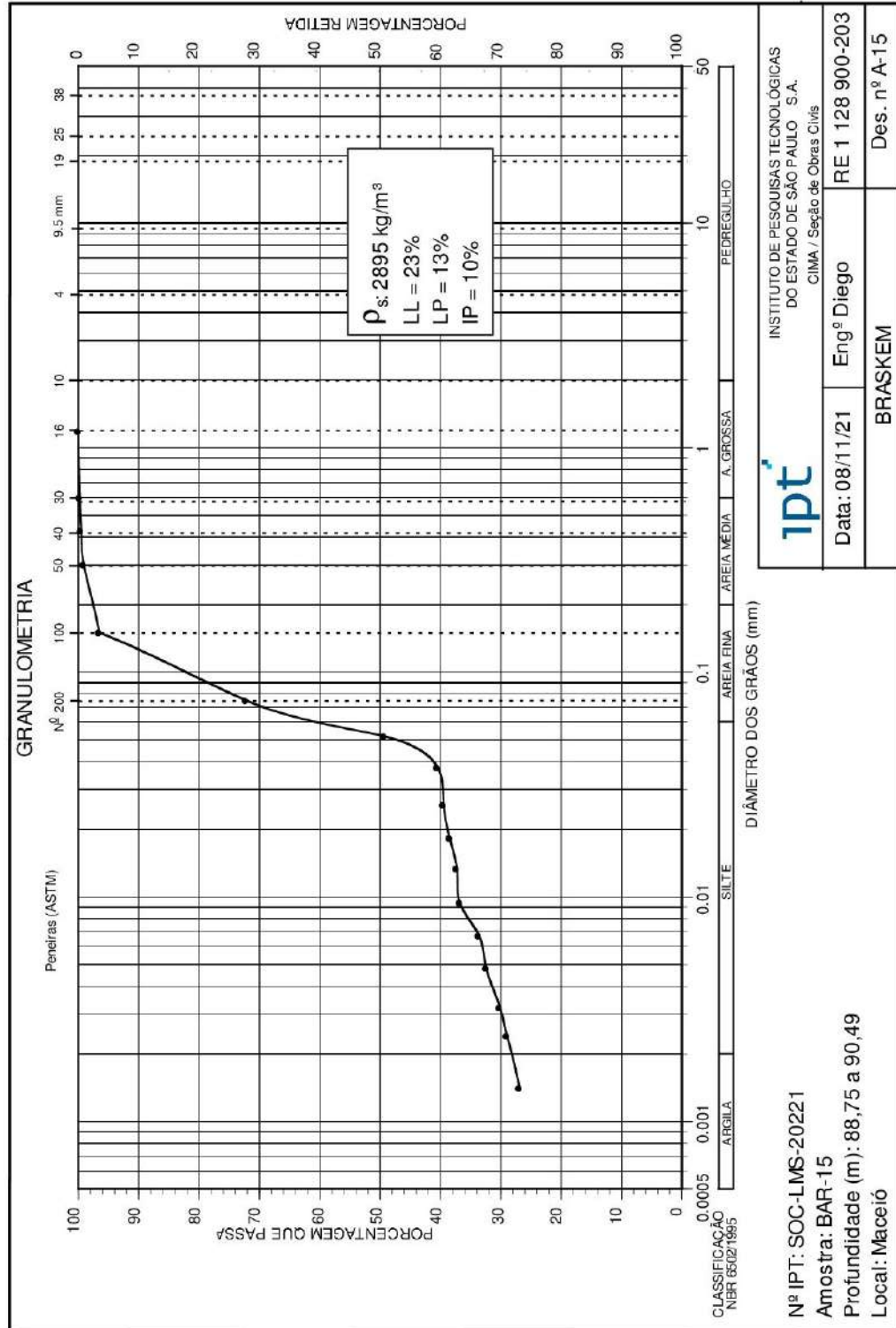


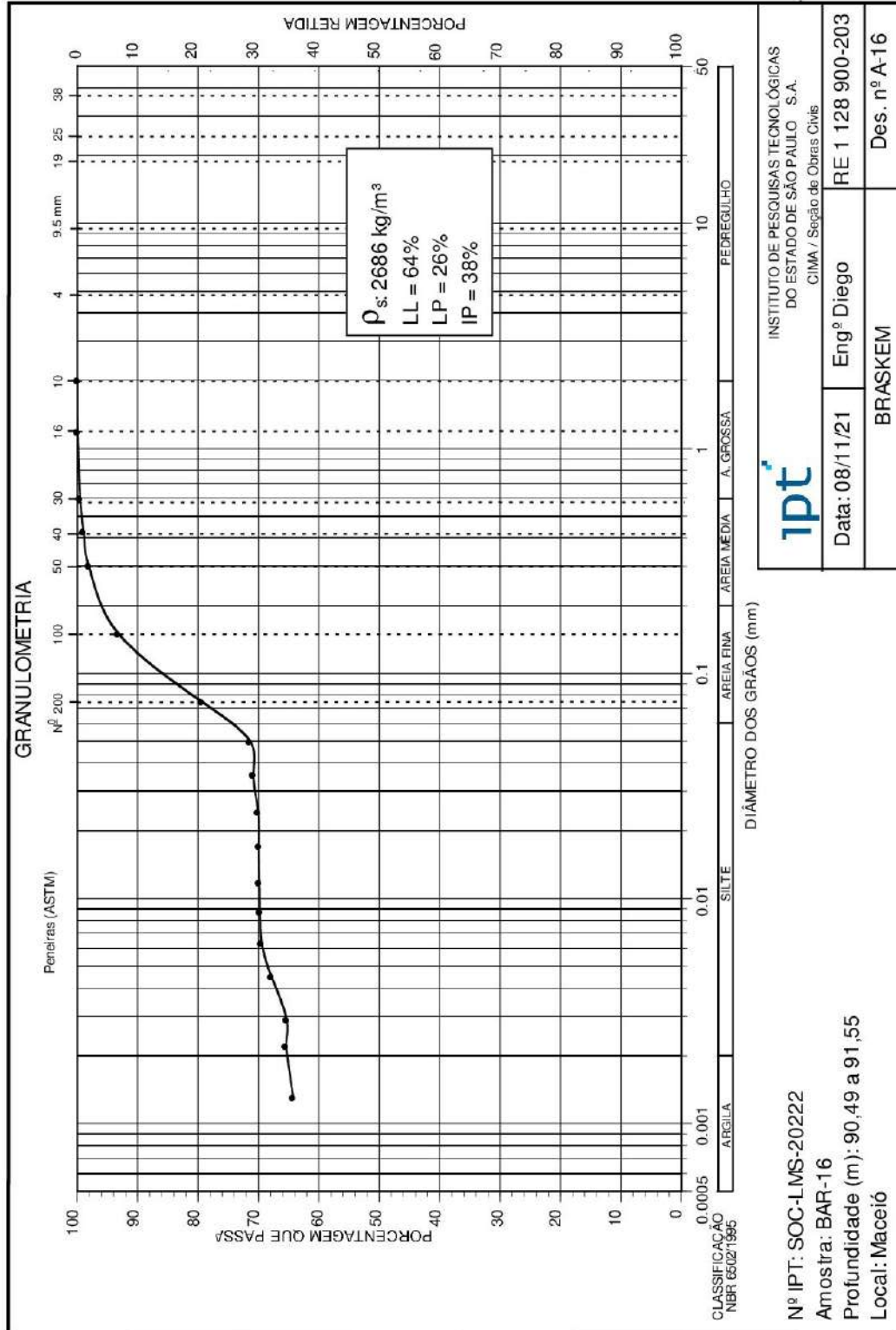




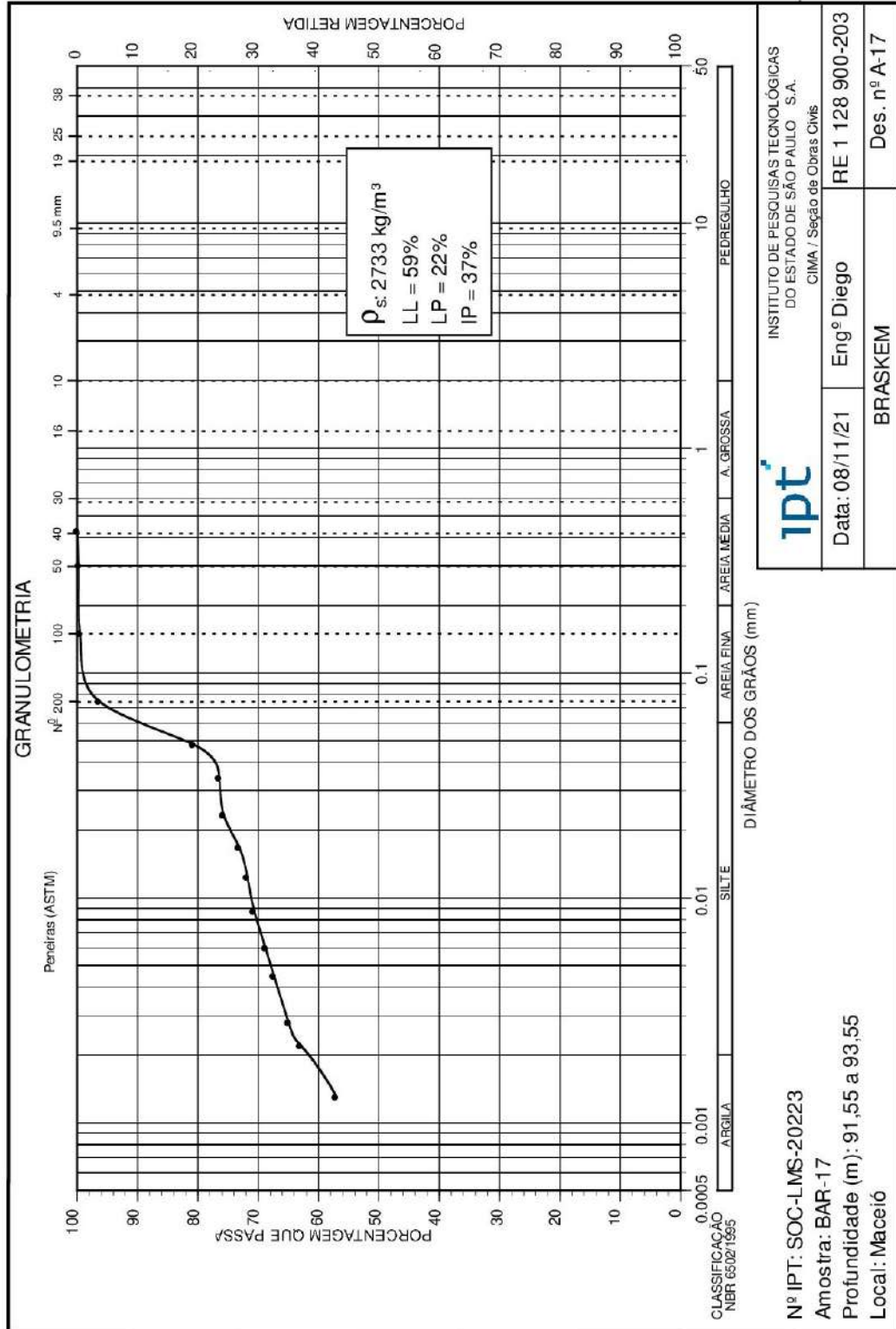


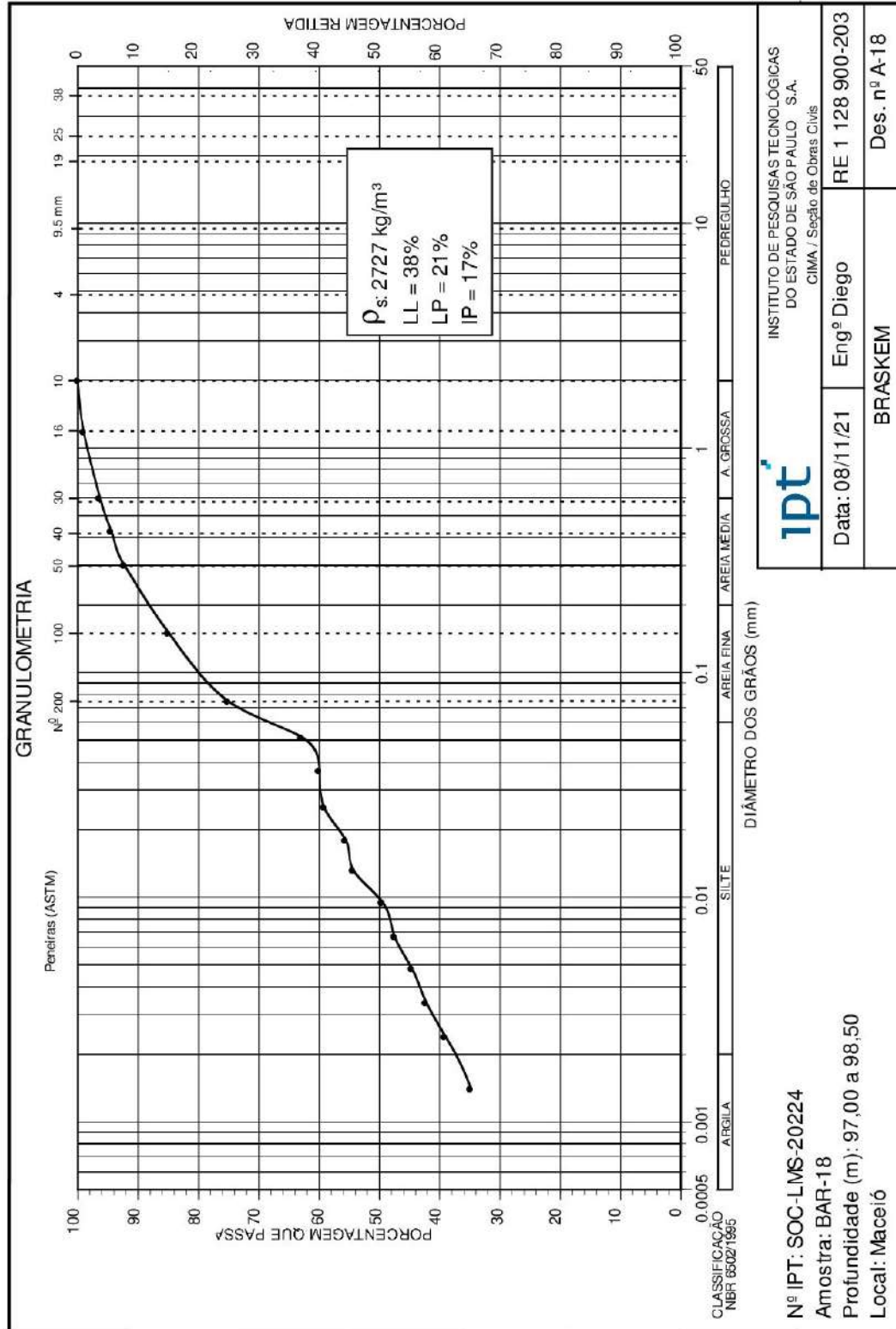


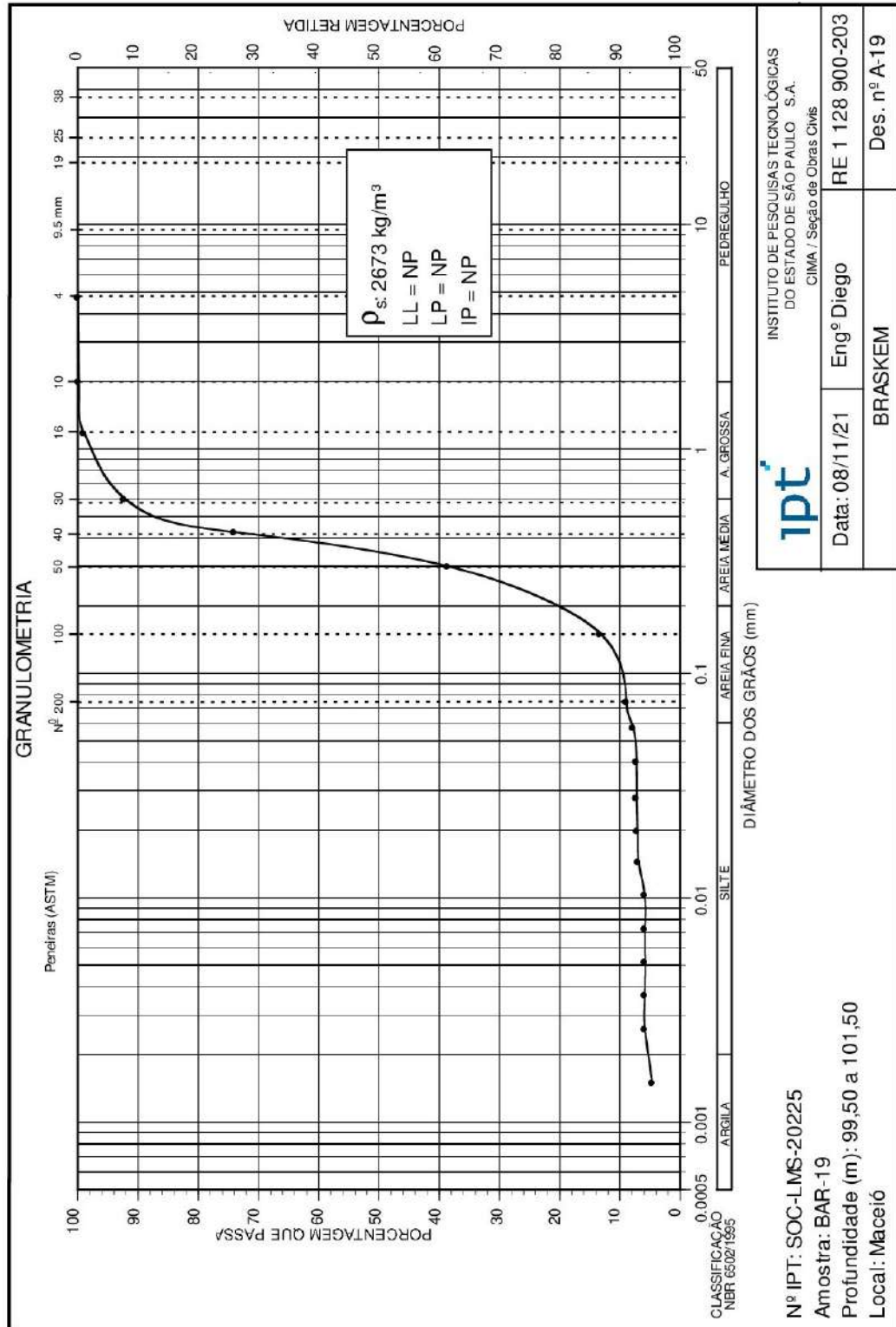


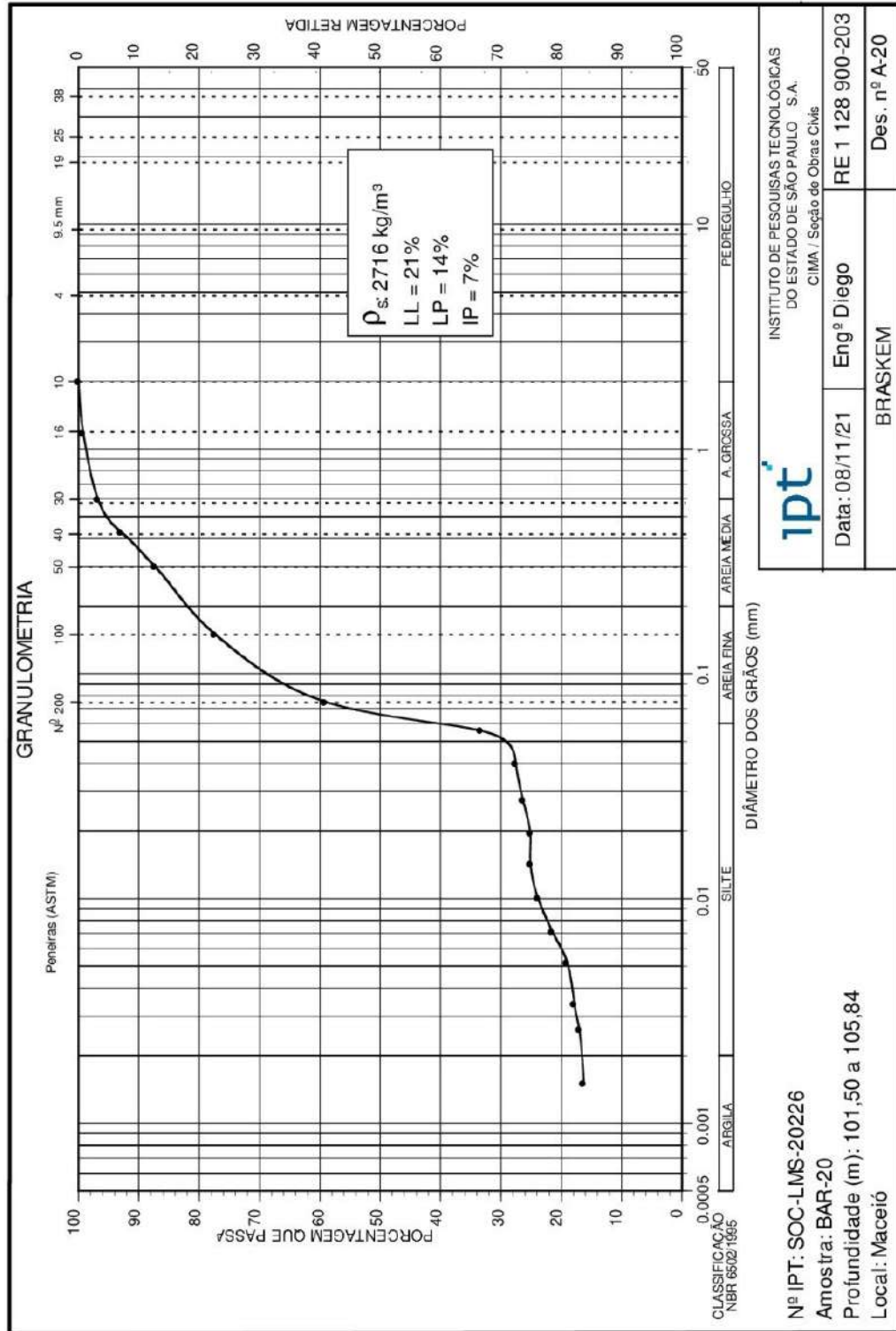


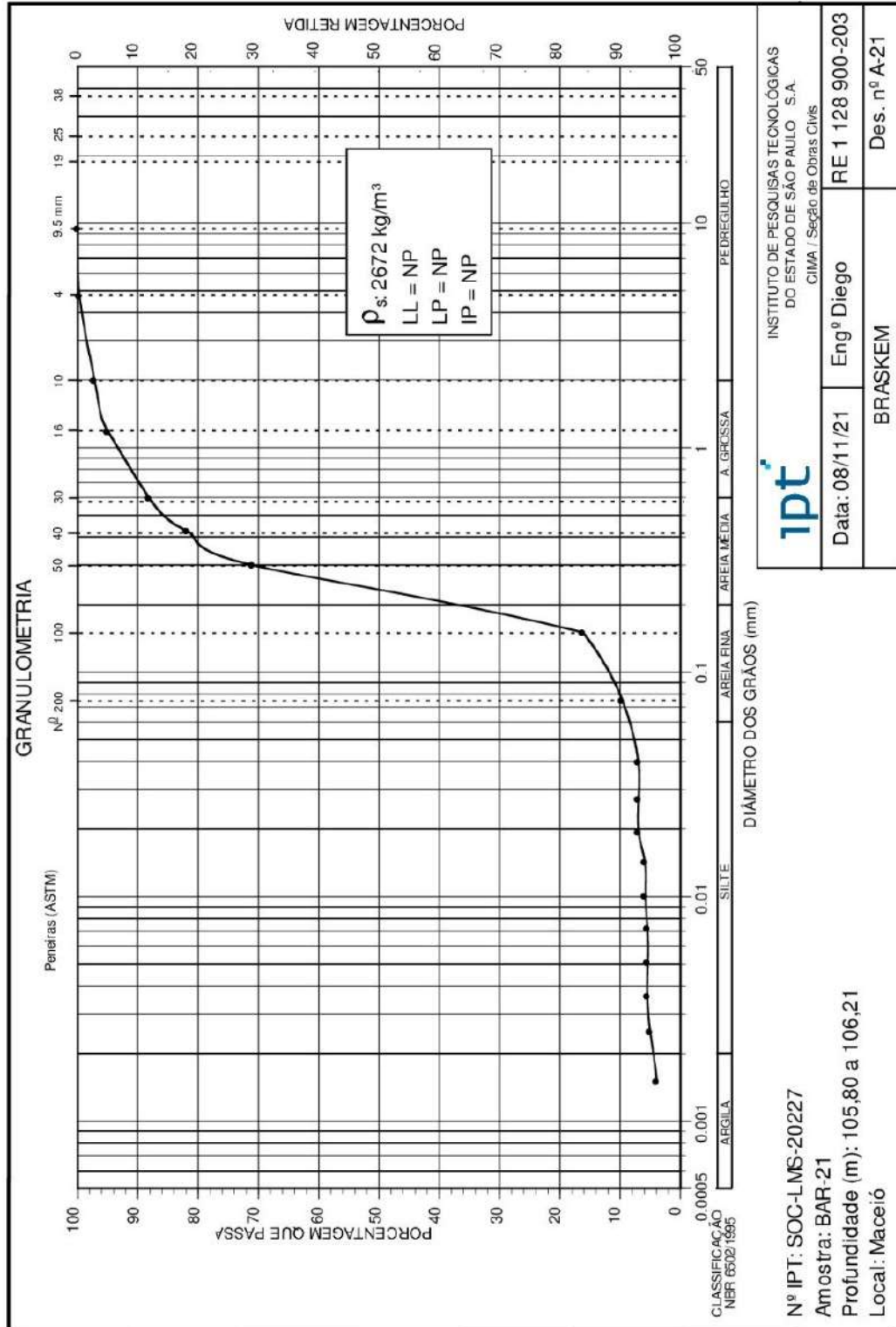




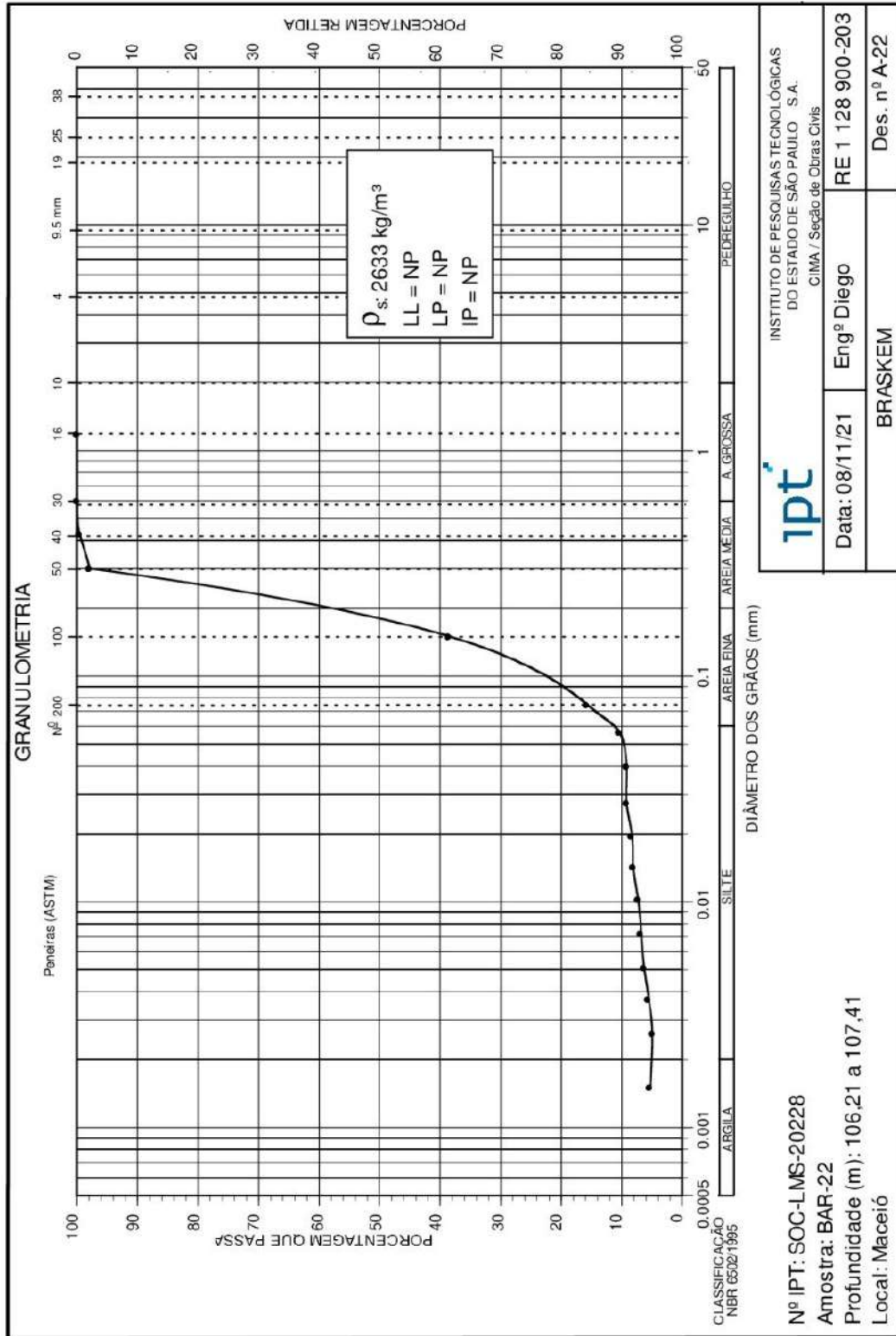


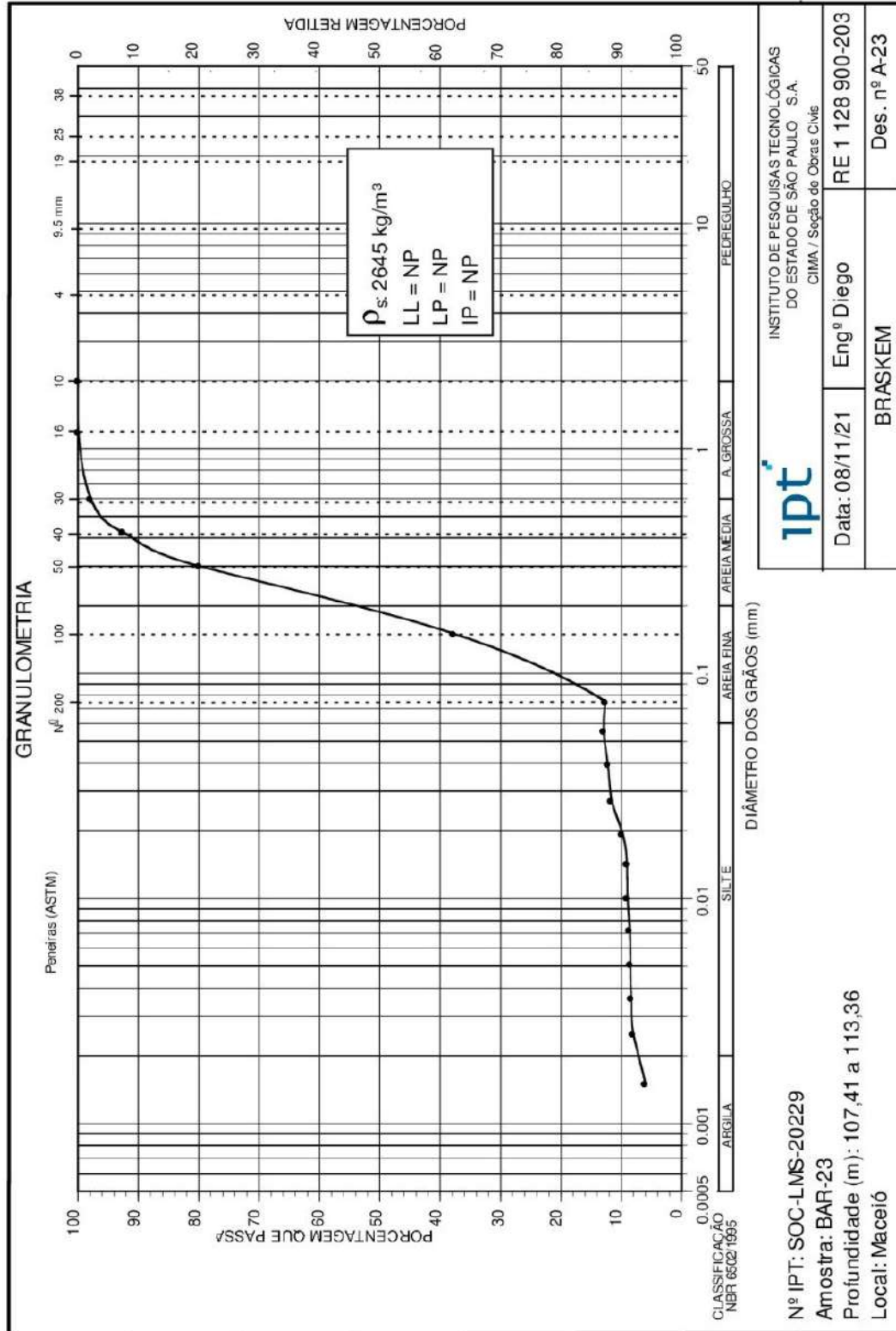


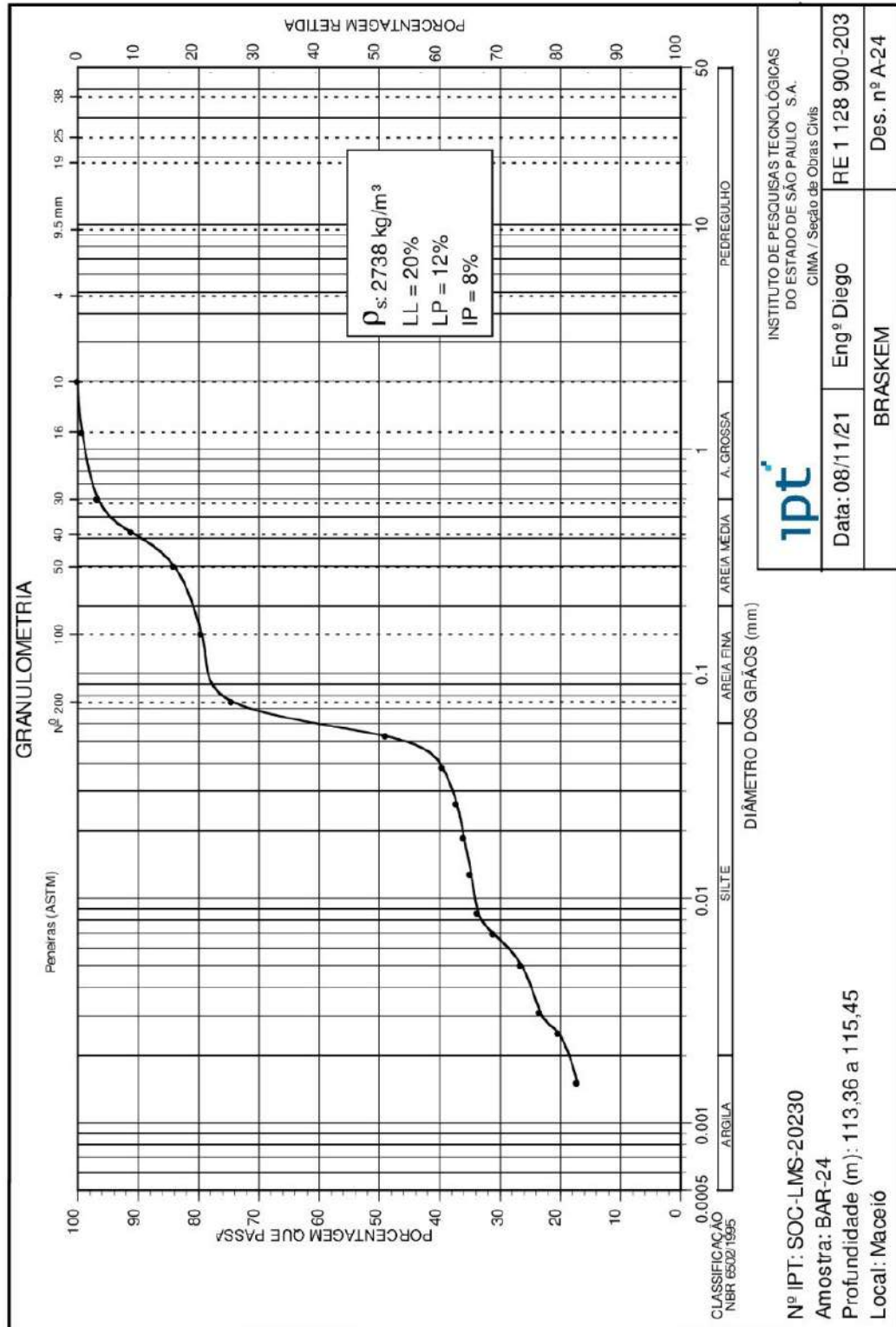


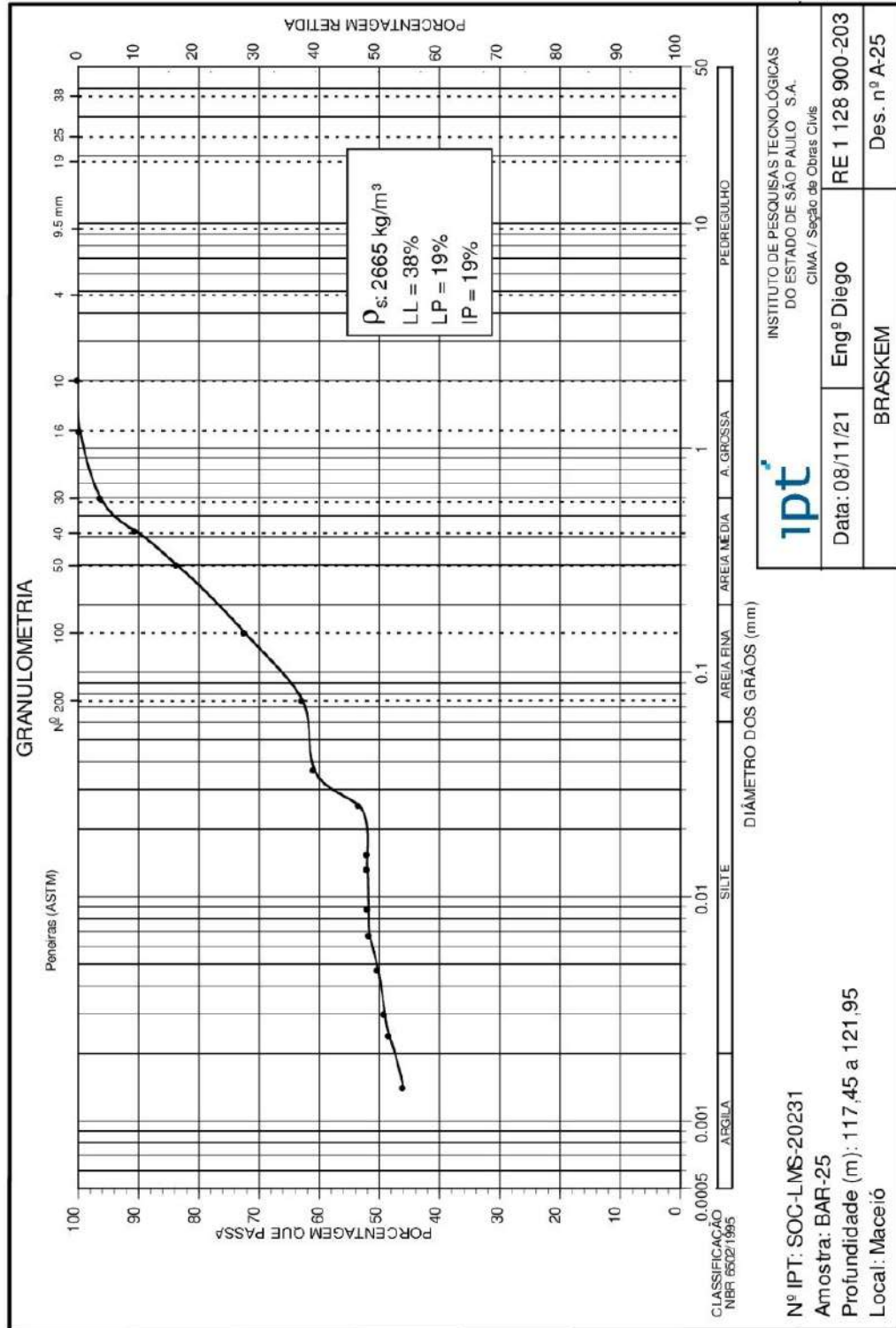


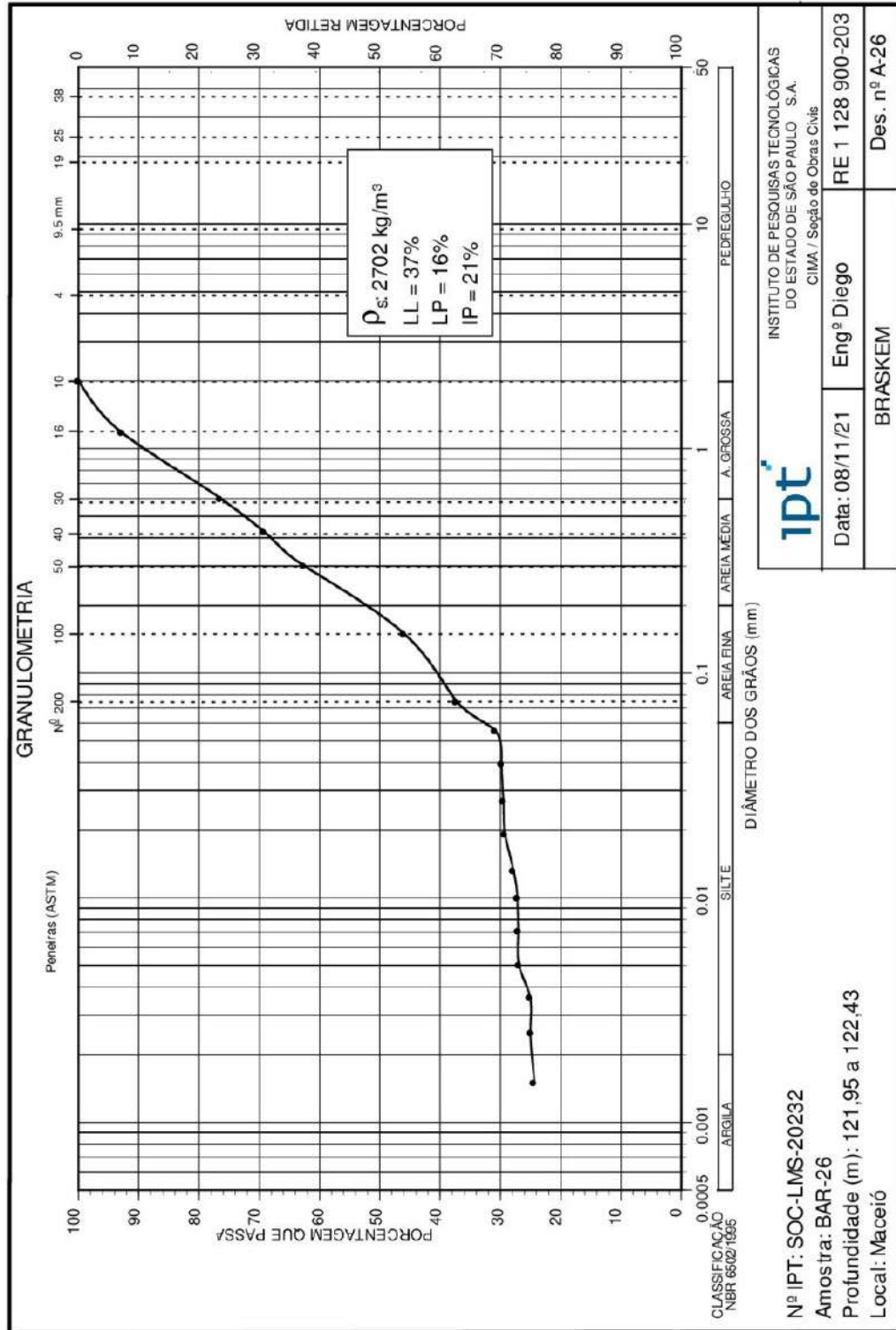














**ANEXO D**  
**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 127 013-203 - LABORATÓRIO**  
**DE MATERIAIS PARA PRODUTOS DE CONSTRUÇÃO**

## RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 127 013-203

**CLIENTE: BRASKEM S.A**  
**CNPJ 42.150.391/0001-70**

**MATERIAL: Testemunhos de sondagem rotativa em rocha.**

**NATUREZA DO TRABALHO: Caracterização petrográfica.**

**REFERÊNCIA: Proposta técnica comercial Nº 35760/19 e Nº 60440/21 e contratos Braskem Nº 4600022941, IPT Nº 5647 e termo aditivo à estes contratos.**

### 1 MATERIAL

Material recebido no Laboratório de Materiais para Produtos de Construção (LMPC) do IPT em 07.06.2021. Na Tabela 1, a seguir, constam informações complementares referentes à identificação do material.

**Tabela 1** - Identificação dos materiais.

Identificação do Cliente	Dados do IPT	
	Tamanho/Massa	LMPC Nº
"Calcilutito"	0,20 m	3164-21
"Arenito"	0,14 m	3165-21
"Arenito do Poço"	0,16 m	3166-21
"Intercalação do Poço"	0,13 m	3167-21
"Calcilutito intercalado com argilito"	0,16 m	3168-21
"Areia do barreiras"	0,19 m	3169-21
"Argila do barreiras"	0,09 m	3170-21
"Intercalação contendo folhelho do Poço"	0,29 m	3171-21
"Argilito do Marituba"	0,12 m	3172-21
"Conglomerado do Poço"	0,11 m	3173-21
"Intercalações de folhelho e calcário"	0,20 m	3174-21
"Arenito do Marituba"	0,25 m	3175-21
"Trecho argila expansiva do Ibura"	0,10 m	3176-21

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibração.  
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 1** - Identificação dos materiais. Continuação.

Identificação do Cliente	Dados do IPT	
	Tamanho/Massa	LMPC Nº
"Trecho argila expansiva do Ibura"	0,13 m	3177-21
"Sal-gema cinza homogêneo"	~ 265 g	3183-21
"Sal-gema amarelo acinzentado mosqueado"	~ 1153 g	3184-21
"Sal-gema bandas alter. Dif. cores/composições – AB-014"	~ 300 g	3185-21
"Sal-gema bandas alter. Dif. cores/composições – AB-015"	~ 294 g	3186-21
"Intercalação de halita e folhelho/argilito"	~ 1033 g	3187-21
"Halita impura cinza a preta"	~ 1275 g	3188-21
"Sal-gema impuro cinza a preto"	~ 465 g	3189-21
"Halita cinza bandada"	~ 506 g	3190-21
"Sal Rosa"	0,90 m	3191-21

**Tabela 2** – Identificação e fotos das amostras submetidas à análise petrográfica.

Identificação da Amostra		Foto <sup>(1)</sup>	Testemunho e lâmina <sup>(2)</sup>
Designação do cliente	LMPC nº		
Caixa 574 – 581,37 a 581,50 m - PI	3167-21		
Caixa 14 – 56,50 a 56,59 m – BAR ARG	3170-21		

**Observações:** 1 – Fotos obtidas após o corte da amostra em meia-cana, com indicação local onde foram retirados os testemunhos para confecção de lâmina. 2 – Dimensão da lâmina: 2,5 cm X 4,0 cm.

Continua...

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 2 – Identificação e fotos das amostras submetidas à análise petrográfica. Continuação.**

Identificação da Amostra		Foto <sup>(1)</sup>	Testemunho e lâmina <sup>(2)</sup>
Designação do cliente	LMPC n°		
Caixa 570 – 578,10 a 578,39 m - PF	3171-21		
Caixa 38 – 92,00 a 92,12 m – MAG	3172-21		
Caixa 52 – 180,10 a 180,35 m – MAR	3175-21		

**Observações: 1 – Fotos obtidas após o corte da amostra em meia-cana, com indicação local onde foram retirados os testemunhos para confecção de lâmina. 2 – Dimensão da lâmina: 2,5 cm X 4,0 cm.**

Continua...

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibração.  
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 2** – Identificação e fotos das amostras submetidas à análise petrográfica. Continuação.

Identificação da Amostra		Foto <sup>(1)</sup>	Testemunho e lâmina <sup>(2)</sup>
Designação do cliente	LMPC nº		
Caixa 302 – 349,50 a 349,60 m – IBU RX-01	3176-21		
Caixa 319 – 362,60 a 362,73 m – IBU RX-02	3177-21		

**Observações:** 1 – Fotos obtidas após o corte da amostra em meia-cana, com indicação local onde foram retirados os testemunhos para confecção de lâmina. 2 – Dimensão da lâmina: 2,5 cm X 4,0 cm.

## 2 MÉTODOS UTILIZADOS

Determinação de perda ao fogo, com base em diretrizes gerais da ABNT NBR NM 18:2012 "Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo", item 5.2 e (Procedimento IPT70 – Revisão 2 de 23.09.2019), Método A;

Análise química semiquantitativa por fluorescência de raios X (FRX), com base em diretrizes gerais da ABNT NBR 14656:2001 "Cimento Portland e matérias-primas – Análise química por espectrometria de raios X – Método de ensaio", (Procedimento IPT15101 – Revisão 0 de 28.03.2014); <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Utilizou-se espectrômetro de fluorescência de raios X da marca Panalytical modelo Minipal Cement, utilizando-se pastilhas fundidas em máquina de fusão marca Claisse modelo M4, para amostras argilosas foi utilizado fundentes à base de mistura de tetraborato de lítio/metaborato de lítio marca MAXXIFLUX (66,57 % de Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, 32,72 % de LiBO<sub>2</sub> e 0,7 % de LiBr), com proporção de 0,6 g de material e 6,75 g de fundente. Para as amostras de sal foi utilizado-se porta amostra com película de raios x de poliéster com 3,6 µm de espessura, a leitura foi realizada no material reservado na sala quente. Os resultados semiquantitativos são estimados por padrões internos do fabricante utilizando a curva denominada "OMNIAN" e foram normalizados a 100%. O equipamento utilizado não permite detectar os elementos químicos sódio, flúor, lítio, berílio, boro, carbono, prata, rutênio e ródio.



## HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

Análise mineralógica por difratometria de raios-X (DRX) – total e fração argila: Procedimento IPT15742 "Análise mineralógica por difratometria de raios-X" – Revisão 1 de 12.03.2021.<sup>2</sup> e <sup>3</sup>

Análise mineralógica quantitativa por difratometria de raios X, seguindo diretrizes gerais da ASTM C1365-18 "*Standard Test Method for Determination of the Proportion of Phases in Portland Cement and Portland-Cement Clinker Using X-Ray Powder Diffraction Analysis*", (Procedimentos IPT15742 – Revisão 0 de 24.02.2015 e IPT15458 – Revisão 0 de 14.06.2014);<sup>4</sup>

<sup>2</sup> DRX total – equipamento utilizado: Panalytical modelo Empyrean, operando na radiação  $K\alpha$  do cobre (com comprimento de onda de 1,54056 Å), 45 kV – 40 mA, varredura de 5° a 65° e tempo de corrida de 2° 2 $\theta$  por minuto. Módulo: Bragg-Brentano HD, fenda divergente de 1/4°, máscara de 20 mm, fenda soller 0,02 RAD e fenda anti-espalhamento de 1/2°.

O ensaio foi realizado na amostra seca a 105°C e totalmente passante na peneira de 75  $\mu$ m (ABNT N.º 200).

A identificação total dos compostos foi executada por meio do software X-pert HighScore Plus (versão 4.6a) da Panalytical e padrões difratométricos fornecidos pelo ICDD (International Center for Diffraction Data) com atualização até 2017. Para a semiquantificação foram utilizadas as áreas dos picos mais intensos de cada mineral identificado no material.

<sup>3</sup> DRX da fração argila – Equipamento utilizado: Panalytical modelo Empyrean, operando na radiação  $K\alpha$  do cobre (com comprimento de onda de 1,54056 Å), 45 kV – 40 mA, fenda divergente de 1/4°, anti-espalhamento de 1/2° com velocidade de varredura de 2° 2 $\theta$  por minuto, variando de 4° a 30°. Foi utilizado o método da fração argilosa com tratamentos específicos para a análise de argilominerais. Os difratogramas obtidos foram interpretados segundo as fichas de minerais do JCPDS (JOINT COMMITTEE ON POWDER DIFFRACTION STANDARDS). Selected powder diffraction data for minerals: databook, Swarthmore, PA: JCPDS, 1974. 833p) e a quantificação dos minerais foi realizado pelo software *Peak Separation 3* (versão 4.1.4856.19094 de 18.04.2013).

A análise da fração argila é realizada no material, em lâmina orientada, com granulometria menor que 0,2  $\mu$ m, denominado de fração argila, obtido após separação por decantação e centrifugação. A identificação dos compostos foi executada por meio do software X-pert HighScore Plus (versão 4.6a) da Panalytical e padrões difratométricos fornecidos pelo ICDD (International Center for Diffraction Data) com atualização até 2017. Os difratogramas obtidos foram interpretados segundo as fichas de minerais do JCPDS. Para a semiquantificação foram utilizadas as áreas dos picos mais intensos de cada mineral identificado no material.

<sup>4</sup> Equipamento utilizado da Panalytical modelo Empyrean com detector PIXcel3D, operando na radiação  $K\alpha$  do cobre com 45 kV – 40 mA e varredura de 2° 2 $\theta$ /min.

A identificação dos compostos foi executada por meio do software X-pert HighScore Plus (versão 4.9) da Panalytical e padrões difratométricos e de estruturas fornecidos pelo banco de dados gratuito do COD (*Crystallography Open Database*) (atualizado em 2020) e, eventualmente, padrões difratométricos e de estruturas do ICDD (*International Center for Diffraction Data*) e ICSD (*International Center for Structure Data*), respectivamente.

O indicador estatístico utilizado para verificar os resultados do refinamento foi o GOF (*Goodness of Fitting*), além do gráfico das diferenças entre os difratogramas observados e calculados. A seguir, estão apresentados alguns dos parâmetros de refinamento utilizados em cada difratograma para obtenção dos percentuais das fases presentes, na respectiva ordem de aplicação: refinamento do fator escala; ajuste da linha base; refinamento da constante do difratômetro (*Zero Shift*); refinamento da cela unitária das fases maiores; refinamento da cela unitária das fases menores; refinamento do perfil de pico (para fases presentes com mais de 5%); refinamento da orientação preferencial (para compostos suscetíveis).

## HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

Determinação de sódio (Na) com base nas diretrizes gerais das normas ASTM C114-18 "Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement", ABNT NBR 13810:1997 "Determinação de metais - Método de Espectrometria de Absorção Atômica" e Procedimento IPT128 – Revisão 2 de 08.12.2016.

Análise petrográfica, conforme ABNT NBR 15845-1:2015 - "Rochas para revestimento - Análise petrográfica" (Procedimento IPT254 - Revisão 10 de 08.05.2020). A classificação petrográfica seguiu os critérios propostos por SPETTIJOHN (1983).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Análise química semiquantitativa por FRX

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de determinação de perda ao fogo e análise química semiquantitativa por FRX nos materiais argilosos e na Tabela 4 são apresentados os resultados da determinação de sódio por espectrometria de absorção atômica e análise química semiquantitativa por FRX nas amostras de sal.

**Tabela 3** - Resultados de ensaios de perda ao fogo e análises químicas semiquantitativa por FRX das amostras LMPC nº 3164-21 a 3170-21.

Determinações	Resultados, em %						
	3164-21	3165-21	3166-21	3167-21	3168-21	3169-21	3170-21
Perda ao fogo (PF) <sup>(a)</sup>	35,2	2,4	7,1	16,4	40,0	2,0	9,1
Anidrido silícico (SiO <sub>2</sub> )	19,4	92,4	64,3	51,4	7,9	91,3	68,9
Óxido de magnésio (MgO)	4,8	n.d. <sup>(b)</sup>	0,9	1,4	6,5	n.d. <sup>(b)</sup>	1,9 <sup>(c)</sup>
Óxido férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,8	0,9	6,6	10,3	2,9	1,3	4,8
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4,6	3,4	11,4	10,0	2,4	4,6	14,9
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	1,3	0,2	0,6	1,0	4,6	0,3	0,2
Cloreto (Cl)	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>	0,1	n.d. <sup>(b)</sup>
Óxido de bário (BaO)	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>	0,5	0,1	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>	0,1
Óxido de cálcio (CaO)	29,5	0,2	1,1	2,0	34,3	0,1	0,1
Óxido de cobre (CuO)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Óxido de cromo (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	n.d. <sup>(b)</sup>	0,1	0,1
Óxido de estrôncio (SrO)	< 0,1	n.d. <sup>(b)</sup>	0,1	< 0,1	< 0,1	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>
Óxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>	0,2	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>
Óxido de manganês (MnO)	0,1	n.d.	0,1	0,1	0,4	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	0,9	0,1	6,7	6,0	0,8	0,1	0,4
Óxido de titânio (TiO <sub>2</sub> )	0,4	0,4	0,6	1,0	0,1	0,1	1,3

Continua....

<sup>5</sup>PETTIJOHN, F. J. **Sedimentary Rocks**. HarperCollins; 3rd ed. 526 p. 1983.

### HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 3** - Resultados de ensaios de perda ao fogo e análises químicas semiquantitativa por FRX das amostras LMPC n° 3171-21 a 3177-21. Continuação.

Determinações	Resultados, em %						
	3171-21	3172-21	3173-21	3174-21	3175-21	3176-21	3177-21
Perda ao fogo (PF) <sup>(a)</sup>	8,2	14,3	2,6	21,6	8,5	41,1	41,2
Anidrido silícico (SiO <sub>2</sub> )	56,7	63,6	72,3	36,7	75,7	20,0	7,4
Óxido de magnésio (MgO)	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>	0,7	1,1	n.d. <sup>(b)</sup>	2,7	7,1
Óxido férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	10,9	5,1	4,6	7,2	1,2	7,6	1,8
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	9,1	14,4	9,2	6,1	12,3	1,0	1,0
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	1,4	0,3	0,9	2,6	0,2	11,4	2,5
Óxido de bário (BaO)	0,2	0,1	0,2	0,1	n.d. <sup>(b)</sup>	< 0,1	< 0,1
Óxido de cálcio (CaO)	2,7	0,1	2,9	21,3	0,1	14,5	37,0
Óxido de cobre (CuO)	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Óxido de cromo (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	< 0,1	< 0,01	< 0,1	n.d. <sup>(b)</sup>	< 0,1	< 0,1	n.d. <sup>(b)</sup>
Óxido de estrôncio (SrO)	< 0,1	< 0,1	0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Óxido de manganês (MnO)	0,1	< 0,1	0,1	0,1	n.d. <sup>(b)</sup>	0,2	0,6
Óxido de paládio (PdO)	n.d. <sup>(b)</sup>	0,2	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>	< 0,1	n.d. <sup>(b)</sup>	n.d. <sup>(b)</sup>
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	7,1	0,3	5,8	1,9	0,1	1,0	1,0
Óxido de titânio (TiO <sub>2</sub> )	1,4	1,4	0,6	0,8	1,6	0,2	0,2

Ensaios realizados no período de 02.07.2021 a 07.08.2021.

(a) Resultado determinado por gravimetria.

(b) Não detectado.

(c) Foram determinados elementos com teores inferiores à 0,1 %, tais como fósforo (P), níquel (Ni), rubídio (Rb), vanádio (V), zinco (Zn) e zircônio (Zr).

**Tabela 4** - Resultados de ensaios de sódio e análises químicas semiquantitativa por FRX das amostras salinas.

Determinações	Resultados, em %								
	LMPC N°	LMPC N°	LMPC N°	LMPC N°	LMPC N°	LMPC N°	LMPC N°	LMPC N°	LMPC N°
	3183-21	3184-21	3185-21	3186-21	3187-21	3188-21	3189-21	3190-21	3191-21
Cloreto (Cl)	60,1	60,0	59,5	59,7	59,9	59,6	59,5	60,0	60,0
Sódio (Na) <sup>(a)</sup>	38,6	38,9	38,6	38,7	38,6	38,7	38,6	38,6	38,9
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Óxido de silício (SiO <sub>2</sub> )	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	0,7	0,6	0,8	0,8	0,8	1,0	1,1	0,8	0,5
Óxido de cálcio (CaO)	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2
Óxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Ensaios realizados no período de 19.07.2021 a 17.08.2021.

(a) Resultado determinado por espectrometria de absorção atômica.

(b) Foram determinados elementos com teores inferiores à 0,1 %, tais como bromo (Br), ferro (Fe), neodímio (Nd), potássio (K) e titânio (Ti).

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

### 3.2 Análise mineralógica por difração de raios-X (DRX) – total (qualitativo)

Os resultados das análises mineralógicas qualitativas estão apresentados na Tabela 5 e nas Figuras 1 a 14.

**Tabela 5** - Resultados das análises por DRX – total.

Identificação	Fórmula molecular	Fichas de estruturas (código)	Compostos ou fases mineralógicas (a)
"Calcilutito" (LMPC N° 3164-21)	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	98-020-2162	Dolomita
	$\text{SiO}_2$	98-015-6198	Quartzo
	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	98-018-8060	Talco
	$\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	98-006-8697	Caulinita
	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	96-101-0982	Gipsita (gipso)
"Arenito" (LMPC N° 3165-21)	$\text{SiO}_2$	98-010-0341	Quartzo
	$\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	96-900-9235	Caulinita
	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	98-018-8060	Talco
	$\text{SiO}_2$	98-017-0539	Zeolita
	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	98-018-5043	Dolomita
"Arenito de poção" (LMPC N° 3166-21)	$\text{AlKSi}_3\text{O}_8$	98-003-1134	Ortoclásio
	$\text{AlNaSi}_3\text{O}_8$	98-001-6744	Albita
	$\text{H}_{2,8}\text{Al}_{2,9}\text{Ba}_{0,07}\text{Ca}_{0,003}\text{F}_{0,03}\text{Fe}_{1,7}\text{K}_{1,7}\text{Mg}_{3,7}\text{Mn}_{0,01}\text{Na}_{0,16}\text{O}_{23,9}\text{Si}_{5,3}\text{Ti}_{0,28}$	98-015-8025	Mica
	$\text{FeS}_2$	96-500-0116	Pirita
	$\text{SiO}_2$	98-009-0145	Quartzo
	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	96-101-0982	Gipsita
	$\text{Al}_2\text{Ca}_{0,5}\text{Si}_4\text{O}_{12}\text{H}$	98-016-1171	Montmorilonita
"Intercalação do poção" (LMPC N° 3167-21)	$\text{SiO}_2$	96-900-9667	Quartzo
	$\text{AlKSi}_3\text{O}_8$	98-009-1558	Feldspato
	$\text{AlNaSi}_3\text{O}_8$	98-008-7658	Albita
	$\text{FeS}_2$	98-001-0422	Pirita
	$\text{Al}_{2,432}\text{Fe}_{2,427}\text{K}_{1,891}\text{Mg}_{3,09}\text{Mn}_{0,035}\text{Na}_{0,062}\text{O}_{24}\text{Si}_{5,568}\text{Ti}_{0,448}\text{H}_{2,548}$	98-015-9336	Biotita
	$\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	98-002-7713	Caulinita
	$\text{H}_{9,44}\text{Al}_{1,14}\text{Mg}_{3,41}\text{Si}_{2,86}\text{O}_{15,72}$	98-003-4812	Vermiculita
	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	96-101-0982	Gipsita (gipso)
"Calcilutito intercalado com argilito" (LMPC N° 3168-21)	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	98-015-2205	Dolomita
	$\text{SiO}_2$	98-008-9277	Quartzo
	$\text{FeS}_2$	98-015-2785	Pirita
	$\text{AlK}_{0,92}\text{Na}_{0,08}\text{Si}_3\text{O}_8$	98-019-4301	Ortoclásio
	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	96-101-0982	Gipsita (gipso)
	$\text{K}_2\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}$	96-901-3724	Ilita

Continua...

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 5 - Resultados das análises por DRX – total. Continuação.**

Identificação	Fórmula molecular	Fichas de estruturas (código)	Compostos ou fases mineralógicas (a)
"Areia do barreiras" (LMPC N° 3169-21)	$\text{SiO}_2$	98-020-0721	Quartzo
	$\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	98-006-8697	Caulinita
	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	98-017-1519	Dolomita
"Areia do barreiras" (LMPC N° 3170-21)	$\text{SiO}_2$	98-009-0145	Quartzo
	$\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	98-003-0285	Caulinita
	$\text{Al}_{2,432}\text{Fe}_{2,427}\text{K}_{1,891}\text{Mg}_{3,09}\text{Mn}_{0,035}\text{Na}_{0,062}\text{O}_{24}$ $\text{Si}_{5,568}\text{Ti}_{0,448}\text{H}_{2,548}$	98-015-9336	Biotita
	$\text{Fe}_{1,854}\text{O}_3\text{Ti}_{0,146}$	98-016-8008	Hematita
"Intercalação contendo folhelho do poço" (LMPC N° 3171-21)	$\text{AlK}_{0,92}\text{Na}_{0,08}\text{Si}_3\text{O}_8$	98-019-4302	Ortoclásio
	$\text{AlNaO}_8\text{Si}_3$	98-008-7660	Albita
	$\text{Al}_{1,44}\text{Fe}_{0,48}\text{Mg}_{2,68}\text{Si}_{2,72}\text{O}_{16,32}\text{H}_{10,64}$	98-003-7442	Vermiculita
	$\text{Si}_{5,44}\text{Al}_{4,96}\text{Fe}_{5,60}\text{Mg}_{2,84}\text{Ti}_{0,64}\text{Na}_{0,08}\text{K}_{3,92}\text{O}_{48}$	96-900-2308	Biotita
	$\text{FeS}_2$	98-001-0422	Pirita
	$\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	98-003-0285	Caulinita
	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	96-900-3522	Dolomita
	$\text{SiO}_2$	98-009-0145	Quartzo
"Argilito do Marituba" (LMPC N° 3172-21)	$\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	98-006-8697	Caulinita
	$\text{FeS}_2$	96-901-3070	Pirita
	$\text{SiO}_2$	96-901-0145	Quartzo
	$\text{Al}_{2,513}\text{Fe}_{2,174}\text{Fe}_{4,76}\text{K}_{1,97}\text{Li}_{0,16}\text{Mn}_{0,16}\text{Na}_{0,03}$ $\text{O}_{21,809}\text{Si}_{6,187}\text{Ti}_{0,24}\text{H}_{0,32}$	98-000-5187	Biotita
"Conglomerado do poço" (LMPC N° 3173-21)	$\text{K}_{1,90}\text{Na}_{0,10}\text{Al}_2\text{O}_{16}\text{Si}_6$	96-900-4192	Microclínio
	$\text{Al}_{1,02}\text{Ca}_{0,02}\text{Na}_{0,98}\text{Si}_{2,98}\text{O}_8$	98-009-0142	Albita
	$\text{SiO}_2$	98-006-2404	Quartzo
	$\text{Al}_{1,82}\text{F}_{0,11}\text{Fe}_{1,5}\text{K}_{0,98}\text{Mg}_{0,58}\text{Mn}_{0,04}\text{Na}_{0,01}\text{O}_{11,89}$ $\text{Si}_{2,72}\text{Ti}_{0,15}\text{Zn}_{0,02}\text{H}_{1,57}$	98-016-1235	Biotita
	$\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	98-003-1135	Caulinita
	$\text{FeS}_2$	98-005-3529	Pirita
	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	98-018-5043	Dolomita
	$\text{Ca}_{5,23}\text{Mg}_{0,77}(\text{CO}_3)_6$	96-900-1299	Calcita

Continua...



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 5 - Resultados das análises por DRX – total. Continuação.**

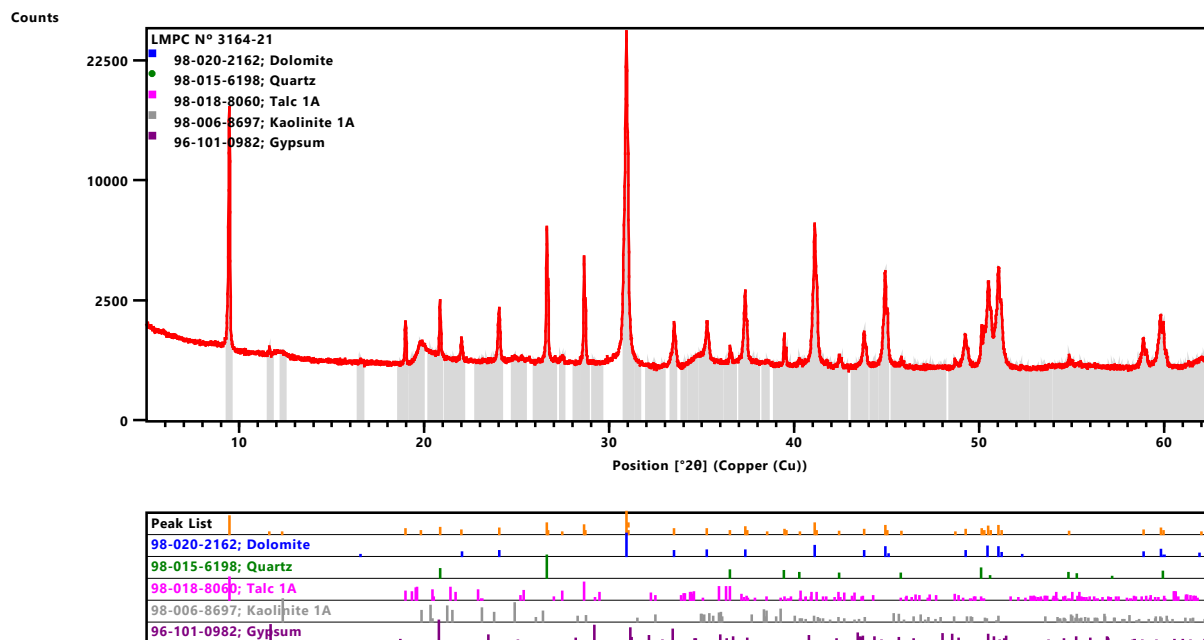
Identificação	Fórmula molecular	Fichas de estruturas (código)	Compostos ou fases mineralógicas <sup>(a)</sup>
"Intercalações de folhelho e calcário" (LMPC N° 3174-21)	$\text{CaCO}_3$	98-001-8165	Calcita
	$\text{SiO}_2$	98-006-2404	Quartzo
	$\text{AlNaSi}_3\text{O}_8$	98-008-7654	Albita
	$\text{Na}_{1,64}\text{Ca}_{0,36}\text{Al}_{2,36}\text{Si}_{5,64}\text{O}_{16,00}$	96-901-1423	Oligoclásio
	$\text{K}_4\text{Al}_{16}\text{Si}_8\text{O}_{48}$	96-900-9666	Ilita
	$\text{Al}_{2,78}\text{Fe}_{0,94}\text{Mg}_{11,06}\text{O}_{36}\text{Si}_{5,22}\text{H}_{16}$	98-015-6166	Clorita
	$\text{Al}_{1,806}\text{Na}_{1,71}\text{O}_{14,16}\text{Si}_{4,194}\text{H}_{4,32}$	98-015-6594	Analcima
	$\text{Fe}_{1,8}\text{Mg}_{0,1}\text{O}_3\text{Sn}_{0,1}$	98-017-4470	Hematita
	$\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	98-003-1135	Caulinita
"Arenito do Marituba" (LMPC N° 3175-21)	$\text{SiO}_2$	96-901-0145	Quartzo
	$\text{TiO}_2$	98-000-9854	Anatásio
	$\text{H}_4\text{Al}_2\text{O}_9\text{Si}_2$	98-006-8697	Caulinita
"Trecho argila expansiva do Ibura" (LMPC N° 3176-21)	$\text{SiO}_2$	98-008-9277	Quartzo
	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	96-900-1044	Dolomita
	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	96-500-0040	Gipsita
	$\text{FeS}_2$	98-000-0316	Pirita
	$\text{AlK}_{0,92}\text{Na}_{0,08}\text{Si}_3\text{O}_8$	98-019-4302	Ortoclásio
	$\text{K}_{1,86}\text{Na}_{0,12}\text{Ba}_{0,04}\text{N}_{1,44}\text{H}_{4,0}\text{Al}_{10,92}\text{Si}_{12,51}\text{O}_{44,94}$	96-901-5971	Muscovita
	$\text{CaFe}_{0,23}\text{Mg}_{0,77}(\text{CO}_3)_2$	98-020-3097	Ankerita
	$\text{MgSO}_{10}\text{H}_{12}$	98-001-6546	Hexaidrita
"Trecho argila expansiva do Ibura" (LMPC N° 3177-21)	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	98-015-2201	Dolomita
	$\text{SiO}_2$	98-009-0145	Quartzo
	$\text{Al}_1\text{K}_{0,92}\text{Na}_{0,08}\text{O}_8\text{Si}_3$	98-019-4301	Ortoclásio
	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	98-000-2058	Gipsita (gipso)
	$\text{Al}_{12}\text{K}_4\text{Si}_{12}\text{O}_{48}\text{H}_8$	98-018-7569	Muscovita

Ensaio realizado no período de 07.07.2021 a 08.07.2021.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

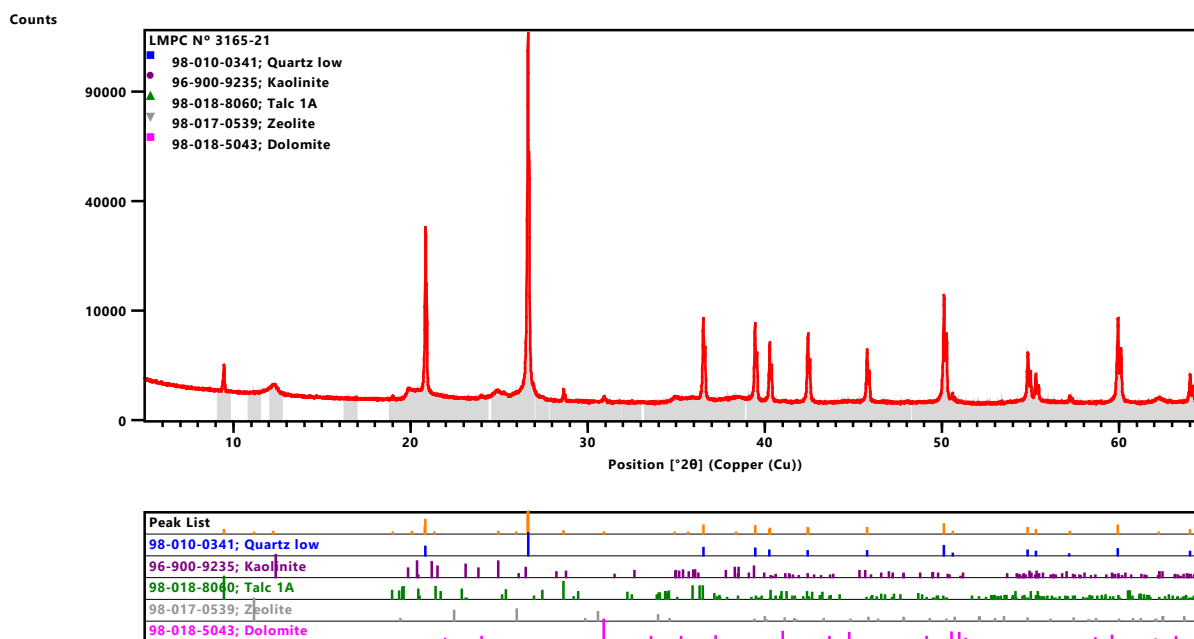
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Figura 1 - Difratoograma de raios X – total do material "Calcilutito" (LMPC N° 3164-21).**



Fonte: Equipe do LMPC.

**Figura 2 - Difratoograma de raios X – total do material "Arenito" (LMPC N° 3165-21).**



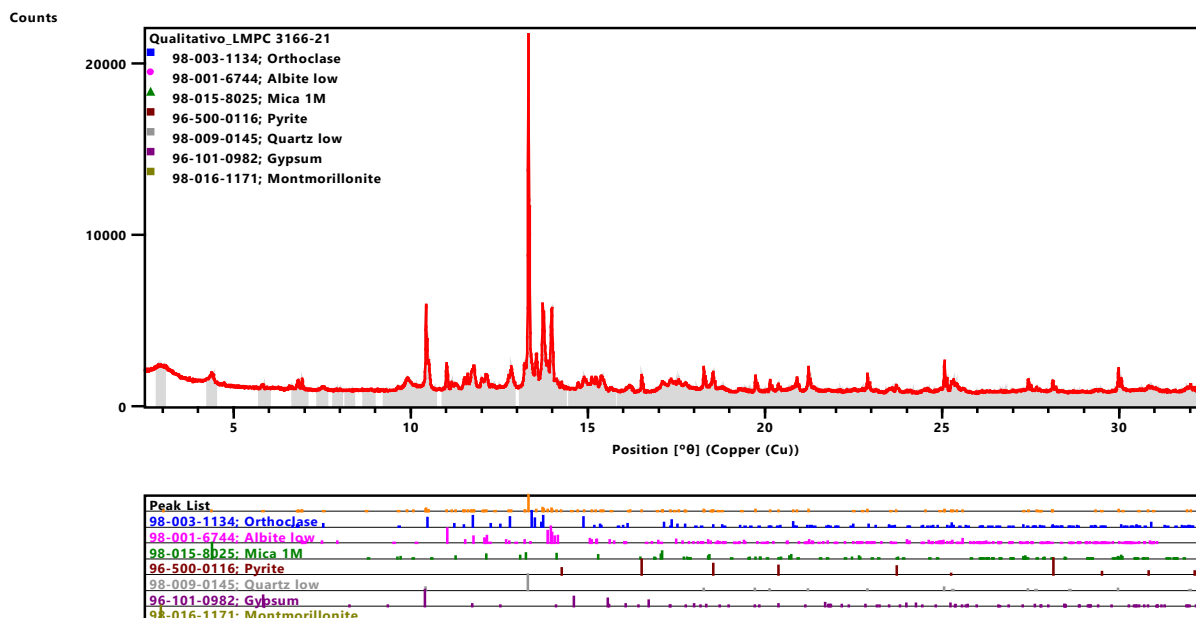
Fonte: Equipe do LMPC.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibração.  
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

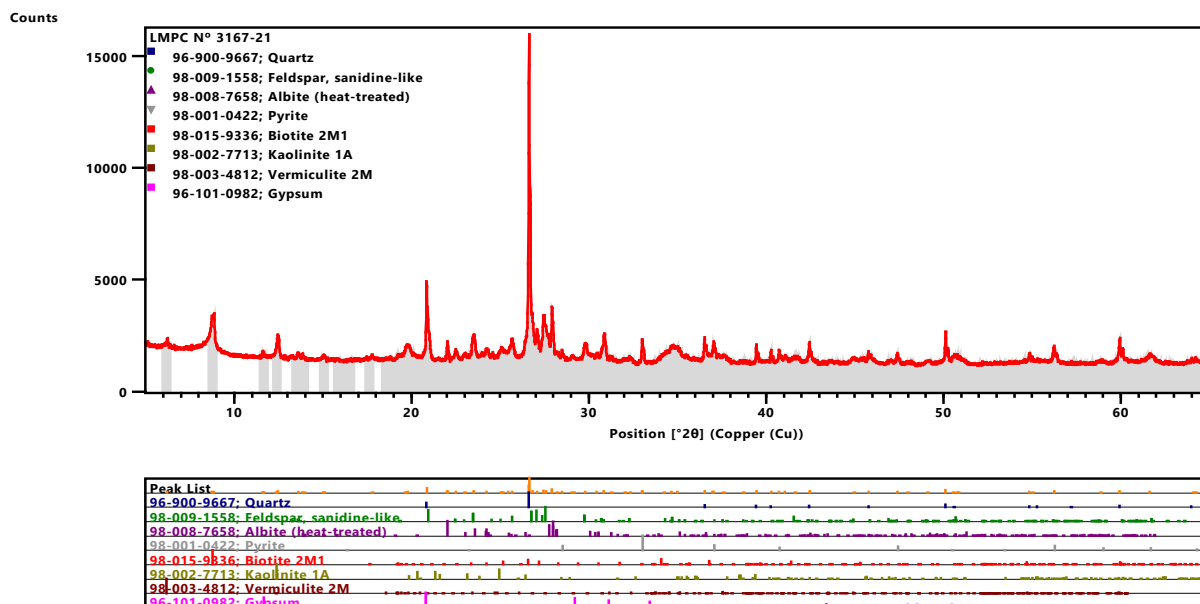
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Figura 3 - Difratoograma de raios X – total do material "Arenito do Poção" (LMPC N° 3166-21).**



Fonte: Equipe do LMPC.

**Figura 4 - Difratoograma de raios X – total do material "Intercalação do Poção" (LMPC N° 3167-21).**

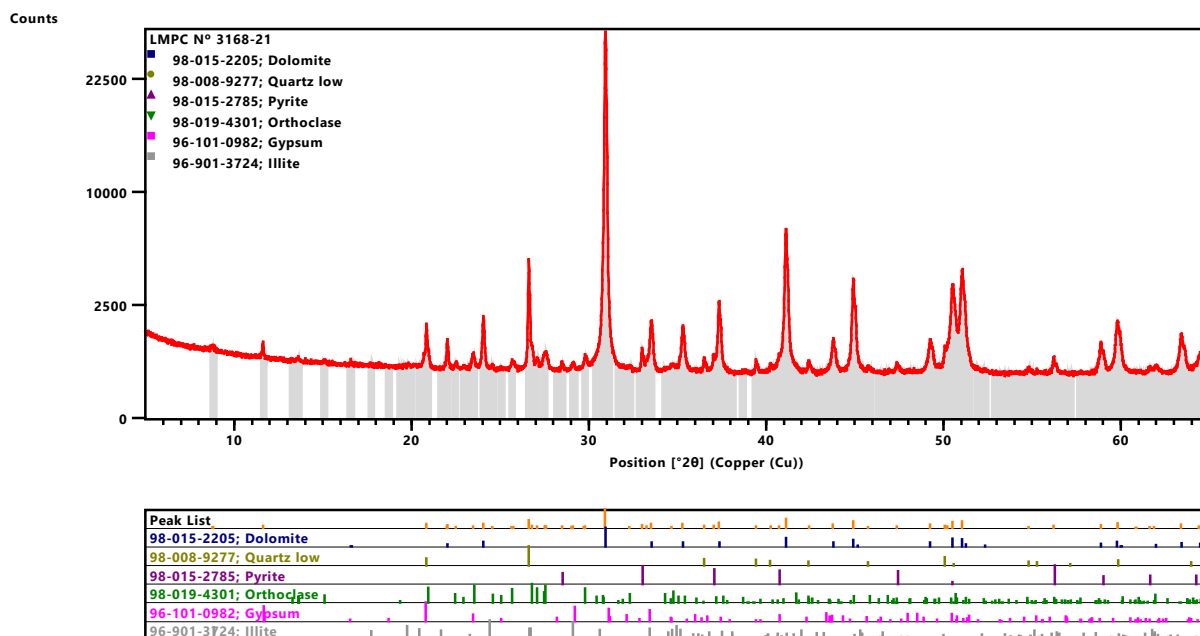


Fonte: Equipe do LMPC.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

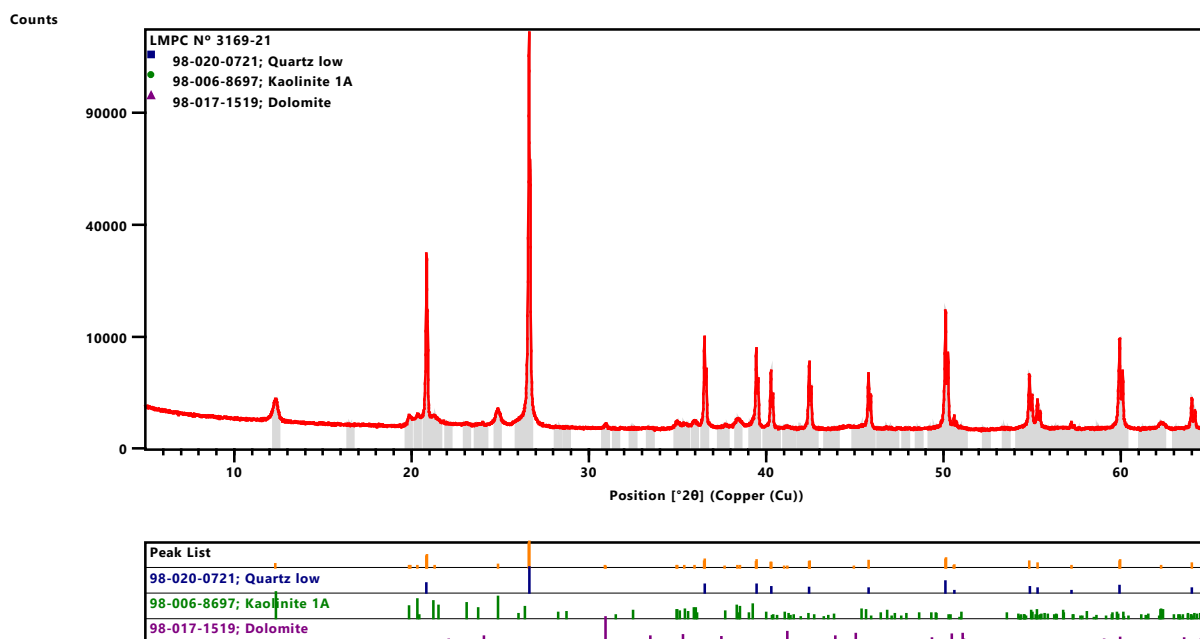
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Figura 5** - Difratoograma de raios X – total do material "Calcilutito intercalado com argilito" (LMPC N° 3168-21).



Fonte: Equipe do LMPC.

**Figura 6** - Difratoograma de raios X – total do material "Areia de barreiras" (LMPC N° 3169-21).

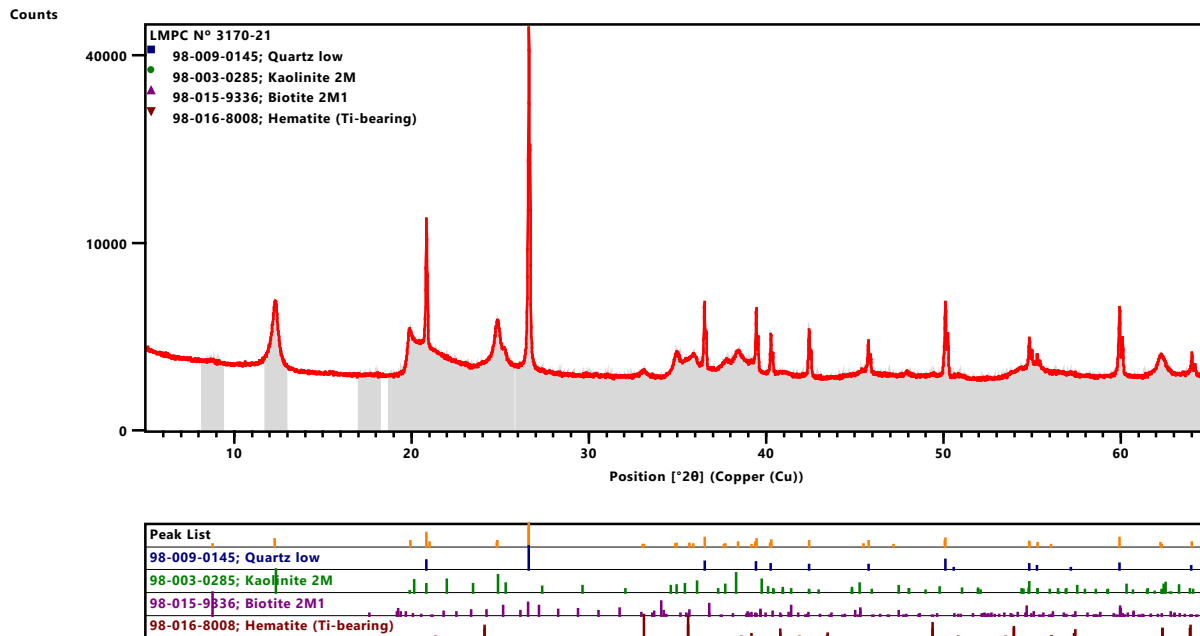


Fonte: Equipe do LMPC.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

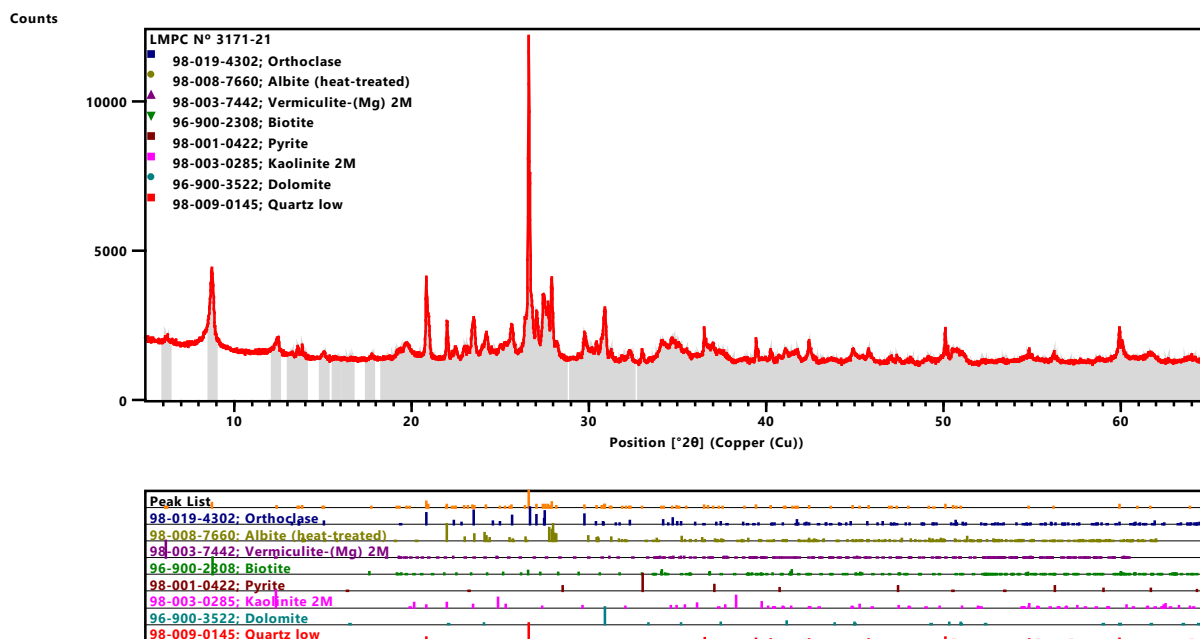
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Figura 7** - Difratoograma de raios X – total do material "Argila de barreiras" (LMPC N° 3170-21).



Fonte: Equipe do LMPC.

**Figura 8** - Difratoograma de raios X – total do material "Intercalação contendo folhelho do Poço" (LMPC N° 3171-21).



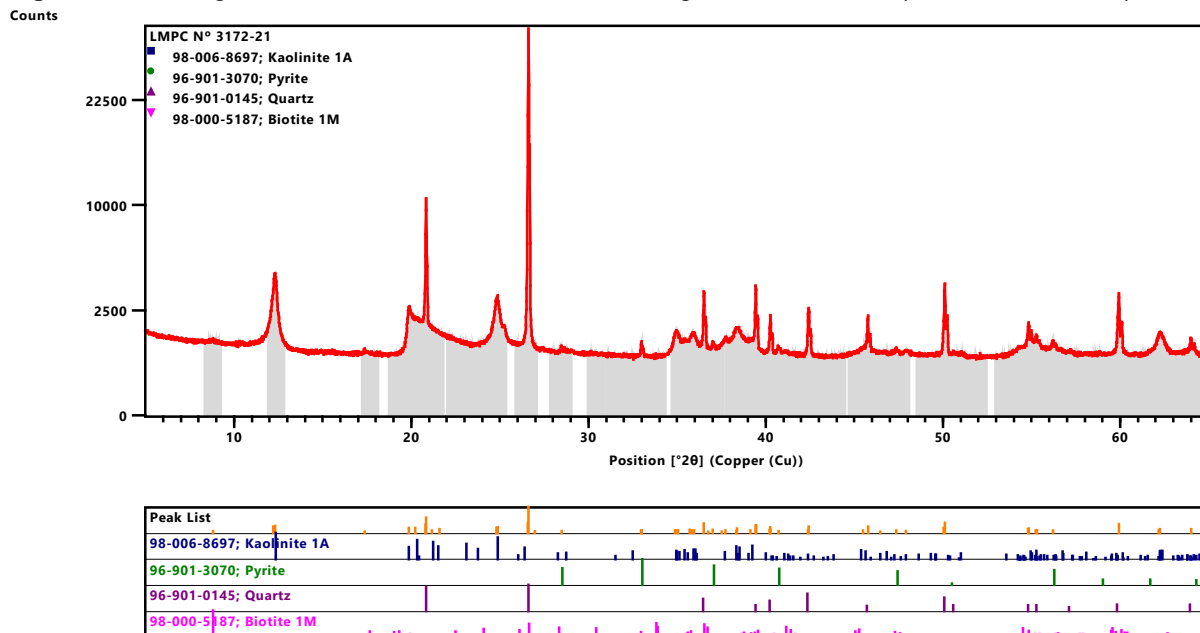
Fonte: Equipe do LMPC.



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

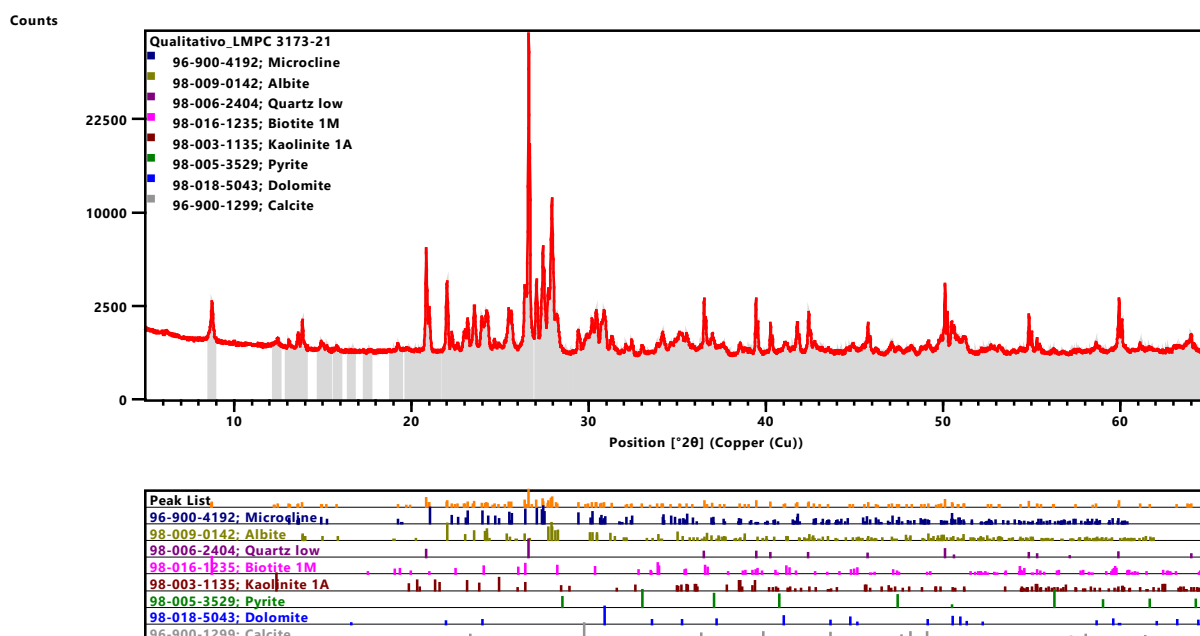
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Figura 9** - Difratoograma de raios X – total do material "Argilito do Marituba" (LMPC N° 3172-21).



Fonte: Equipe do LMPC.

**Figura 10** - Difratoograma de raios X – total do material "Conglomerado do Poção" (LMPC N° 3173-21)".

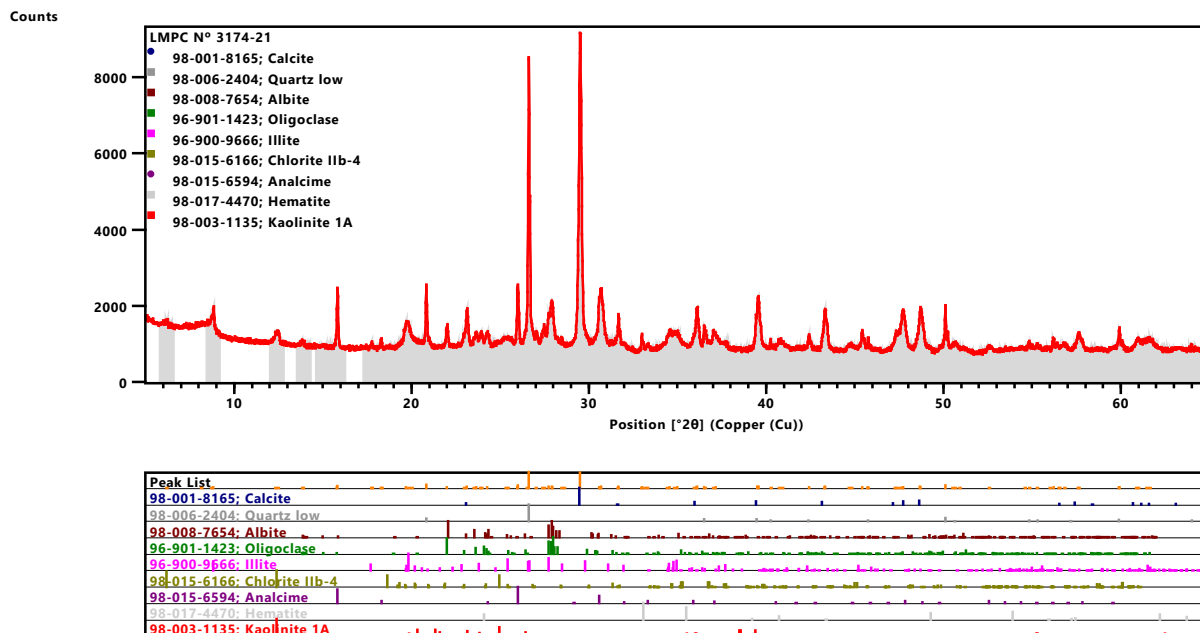


Fonte: Equipe do LMPC.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

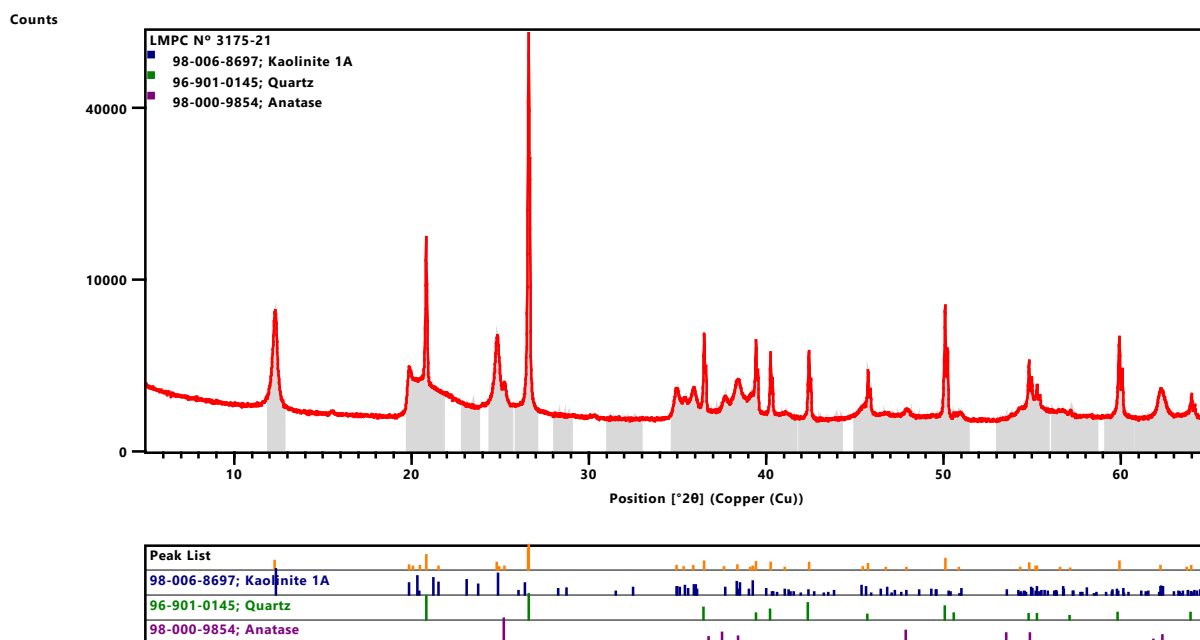
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Figura 11** - Difratoograma de raios X – total do material "Intercalações de folhelho calcário" (LMPC N° 3174-21).



Fonte: Equipe do LMPC.

**Figura 12** - Difratoograma de raios X – total do material "Arenito Marituba" (LMPC N° 3175-21).

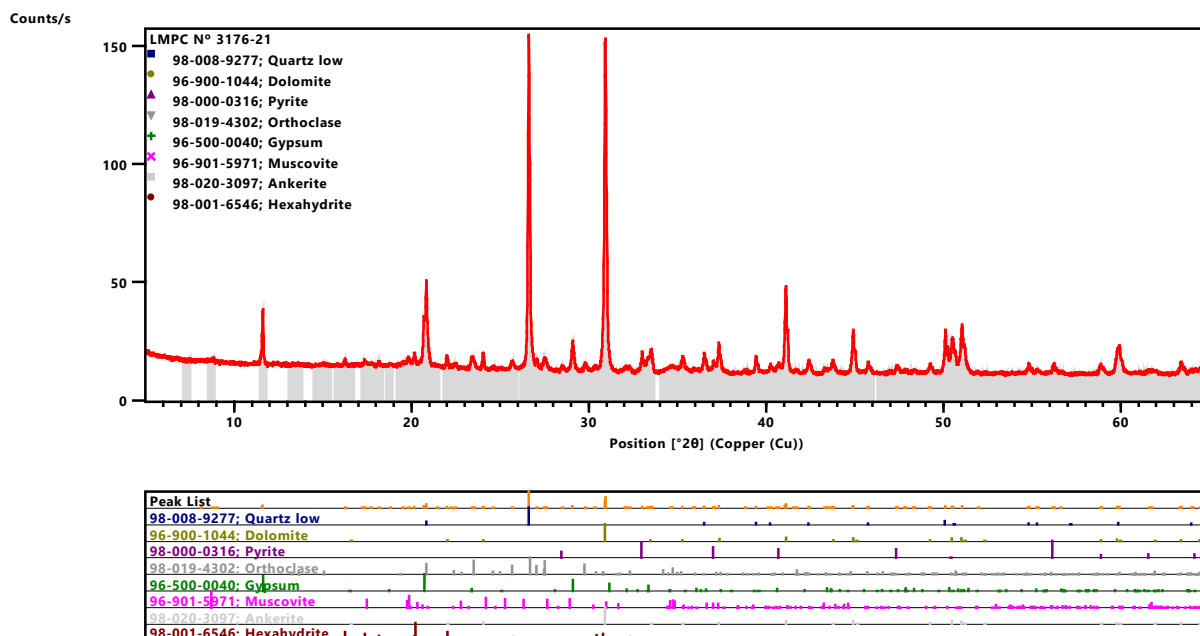


Fonte: Equipe do LMPC.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

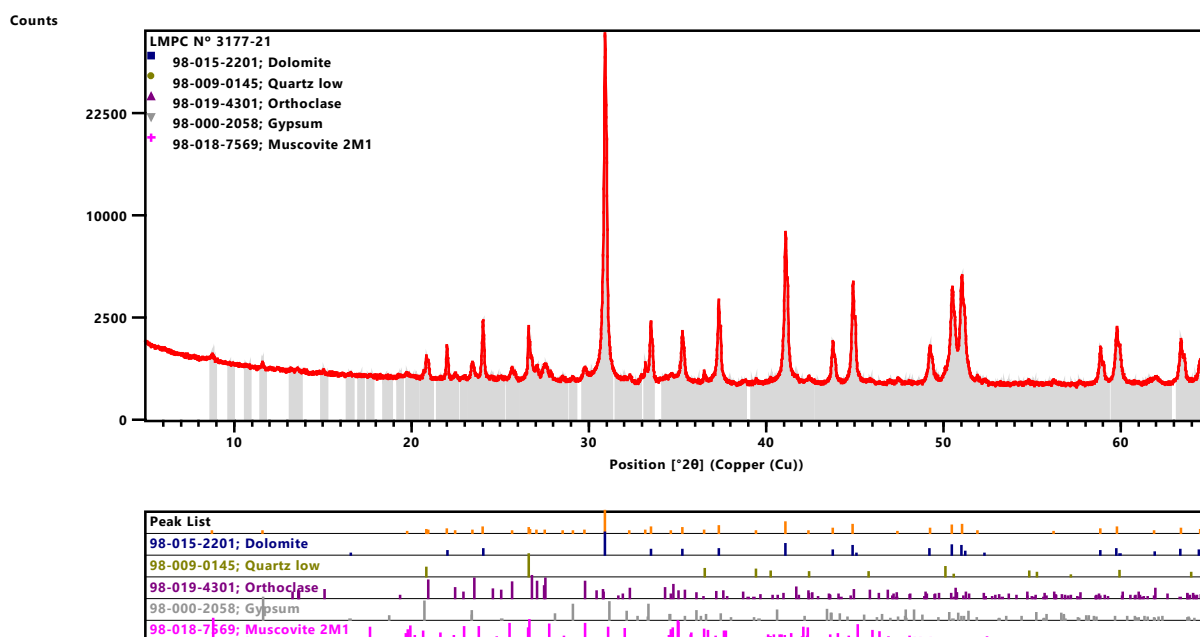
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Figura 13** - Difratoograma de raios X – total do material "Trecho argila expansiva do Ibura" (LMPC N° 3176-21).



Fonte: Equipe do LMPC.

**Figura 14** - Difratoograma de raios X – total do material "Trecho argila expansiva do Ibura" (LMPC N° 3177-21).



Fonte: Equipe do LMPC.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibração.  
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

## HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

### 3.3 Análise mineralógica por difração de raios-X (DRX) – quantitativo

Os resultados das análises mineralógicas quantitativas estão apresentados na Tabela 6 e nas Figuras 15 a 23.

**Tabela 6** - Resultados das análises por DRX quantitativa.

Identificação	Fórmula molecular	Fichas de estruturas (código) <sup>6</sup>	Compostos ou fases mineralógicas (a)	Resultados em (%)
"Sal-gema cinza homogêneo" (LMPC N° 3183-21)	NaCl	98-018-1148	Halita	99,99
	Na <sub>0,2</sub> K <sub>0,8</sub> Cl	98-024-0535	Silvita	< 0,01
"Sal-gema amarelo acinzentado mosqueado" (LMPC N° 3184-21)	NaCl	98-018-1148	Halita	99,97
	Na <sub>0,2</sub> K <sub>0,8</sub> Cl	98-024-0535	Silvita	0,03
"Sal-gema bandas alter. Dif. cores/composições – AB-014" (LMPC N° 3185-21)	NaCl	98-018-1148	Halita	99,83
	SiO <sub>2</sub>	98-015-6196	Quartzo	0,12
	Na <sub>0,2</sub> K <sub>0,8</sub> Cl	98-024-0535	Silvita	0,04
"Sal-gema bandas alter. Dif. cores/composições – AB-015" (LMPC N° 3186-21)	NaCl	98-018-1148	Halita	99,82
	Si <sub>5,62</sub> Al <sub>2,41</sub> Fe <sub>0,80</sub> Mg <sub>1,02</sub> Mn <sub>0,01</sub> Ti <sub>0,13</sub> Na <sub>0,07</sub> K <sub>3,81</sub> O <sub>24</sub>	96-900-1583	Biotita	0,16
	Na <sub>0,2</sub> K <sub>0,8</sub> Cl	98-024-0535	Silvita	0,02
"Intercalação de halita e folhelho/argilito" (LMPC N° 3187-21)	NaCl	98-018-1148	Halita	99,83
	SiO <sub>2</sub>	98-015-6196	Quarto	0,13
	Na <sub>0,2</sub> K <sub>0,8</sub> Cl	98-024-0535	Silvita	0,04
"Halita impura cinza preta" (LMPC N° 3188-21)	NaCl	98-004-1439	Halita	99,97
	Na <sub>0,2</sub> K <sub>0,8</sub> Cl	98-024-0535	Silvita	0,03
"Sal-gema impuro cinza preto" (LMPC N° 3189-21)	NaCl	98-018-1148	Halita	99,27
	SiO <sub>2</sub>	98-015-6196	Quartzo	0,70
	Na <sub>0,2</sub> K <sub>0,8</sub> Cl	98-024-0535	Silvita	0,03

Continua...

<sup>6</sup> Estruturas convertidas para os padrões difratométricos do ICDD e ICSD. Cabe ressaltar que tais fichas e estruturas não são necessariamente as únicas possíveis de serem adotadas, podendo assim surgir variação entre resultados obtidos por diferentes laboratórios, mas não distantes dos dados registrados acima.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

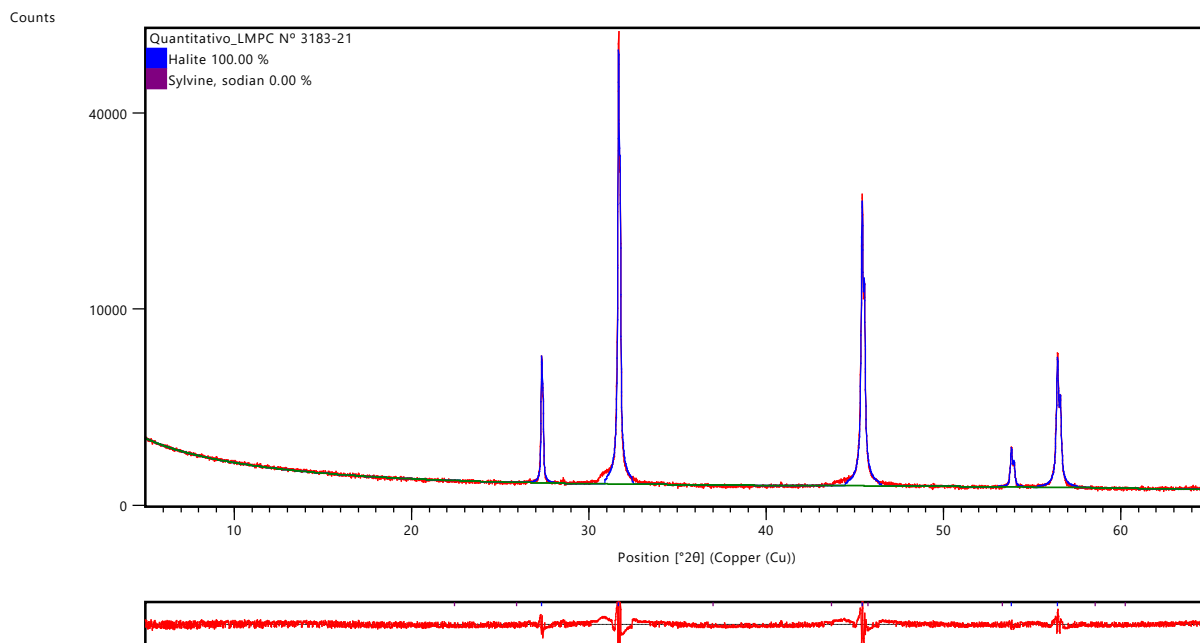
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 6** - Resultados das análises por DRX quantitativa. Continuação.

Identificação	Fórmula molecular	Fichas de estruturas (código) <sup>7</sup>	Compostos ou fases mineralógicas (a)	Resultados Em (%)
"Halita cinza bandada" (LMPC N° 3190-21)	NaCl	98-018-1148	Halita	99,83
	SiO <sub>2</sub>	98-015-6196	Quartzo	0,15
	Na <sub>0,2</sub> K <sub>0,8</sub> Cl	98-024-0535	Silvita	0,02
"Sal Rosa" (LMPC N° 3191-21)	NaCl	98-018-1148	Halita	99,99
	Na <sub>0,2</sub> K <sub>0,8</sub> Cl	98-024-0535	Silvita	< 0,01

Ensaios realizados no período de 20.07.2021 a 06.08.2021.

**Figura 15** - Difratoograma de raios X do material "Sal-gema cinza homogêneo" (LMPC N° 3183-21).



Fonte: Equipe do LMPC.

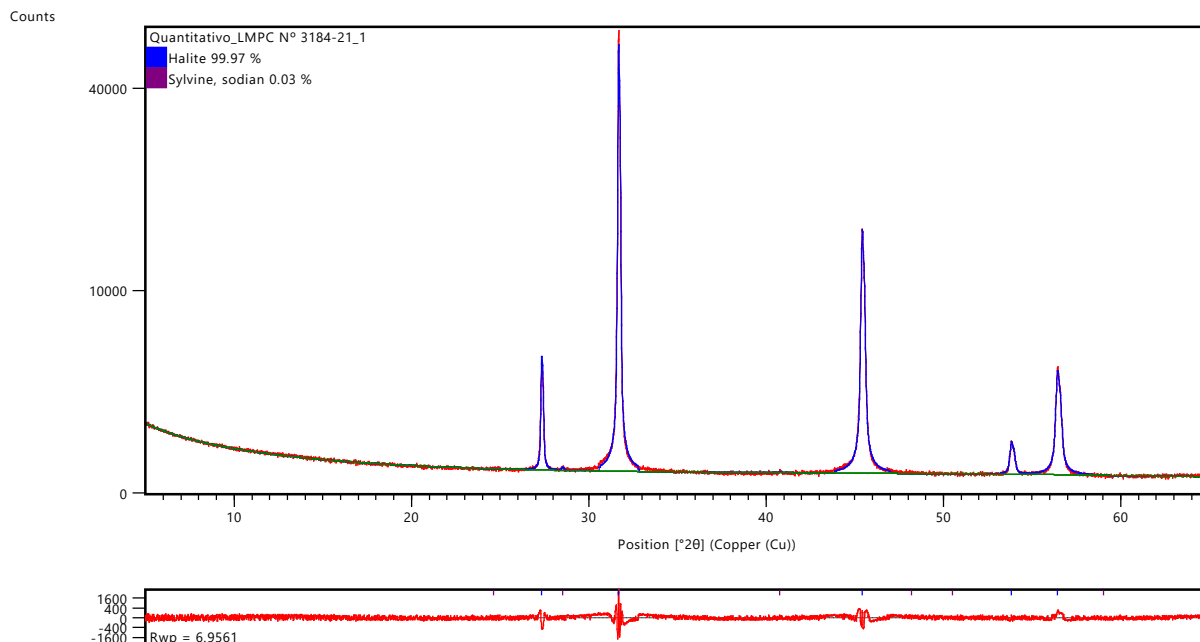
<sup>7</sup> Estruturas convertidas para os padrões difratométricos do ICDD e ICSD. Cabe ressaltar que tais fichas e estruturas não são necessariamente as únicas possíveis de serem adotadas, podendo assim surgir variação entre resultados obtidos por diferentes laboratórios, mas não distantes dos dados registrados acima.



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

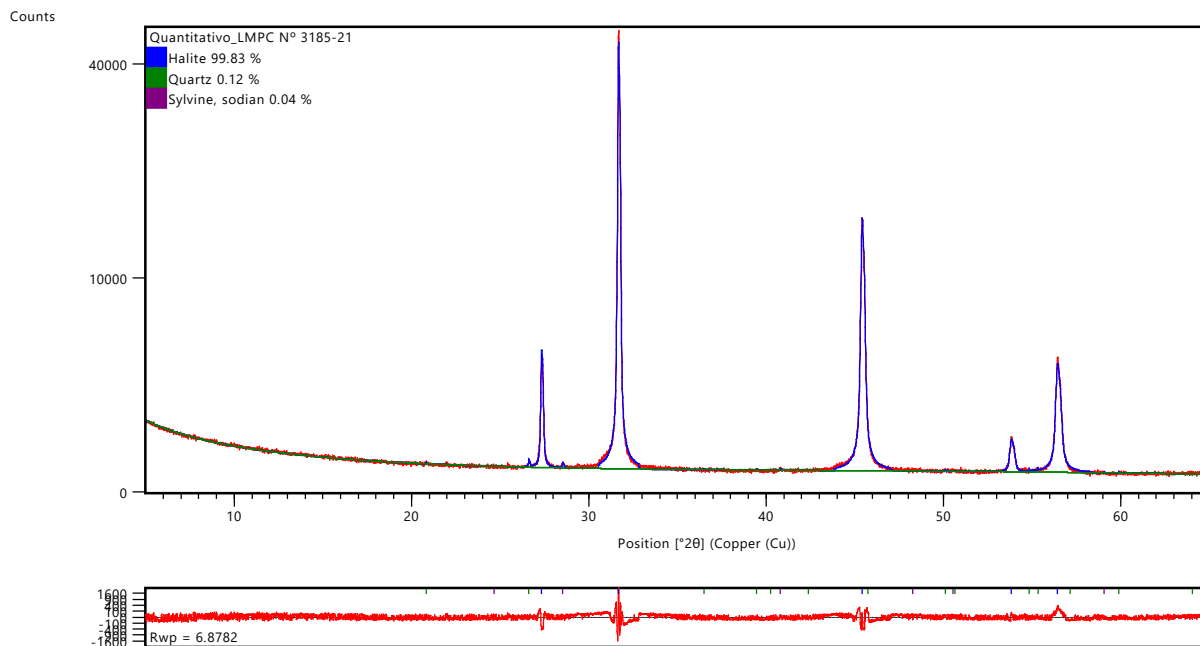
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Figura 16** - Difratoograma de raios X do material "Sal-gema amarelo acinzentado mosqueado" (LMPC N° 3184-21).



Fonte: Equipe do LMPC.

**Figura 17** - Difratoograma de raios X do material "Sal-gema bandas alter. Dif. cores/composições – AB-014" (LMPC N° 3185-21).

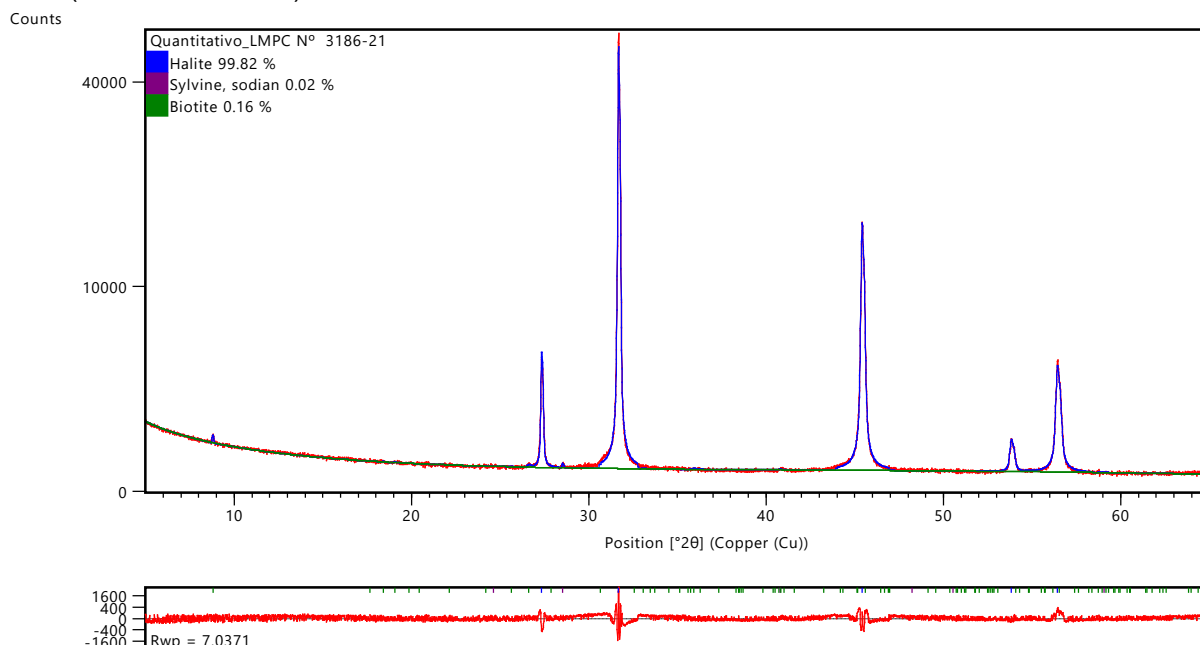


Fonte: Equipe do LMPC.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

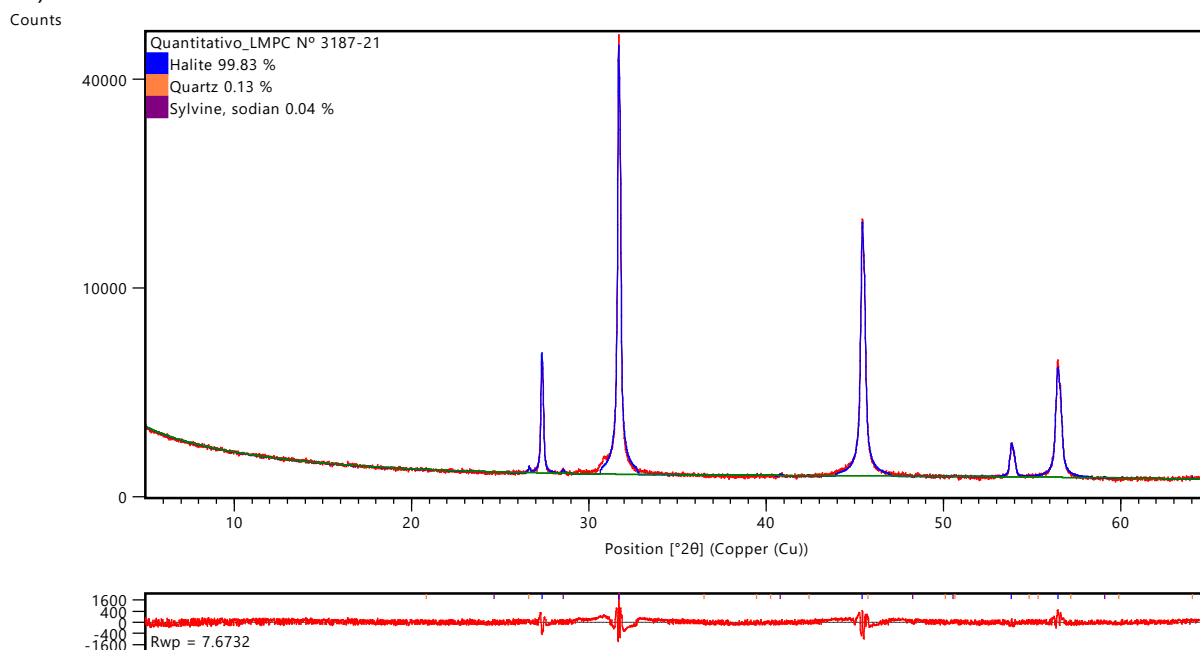
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Figura 18** - Difratoograma de raios X do material "Sal-gema bandas alter. Dif. cores/composições – AB-015" (LMPC N° 3186-21).



Fonte: Equipe do LMPC.

**Figura 19** - Difratoograma de raios X do material "Intercalação de halita e folhelho/argilito" (LMPC N° 3187-21).

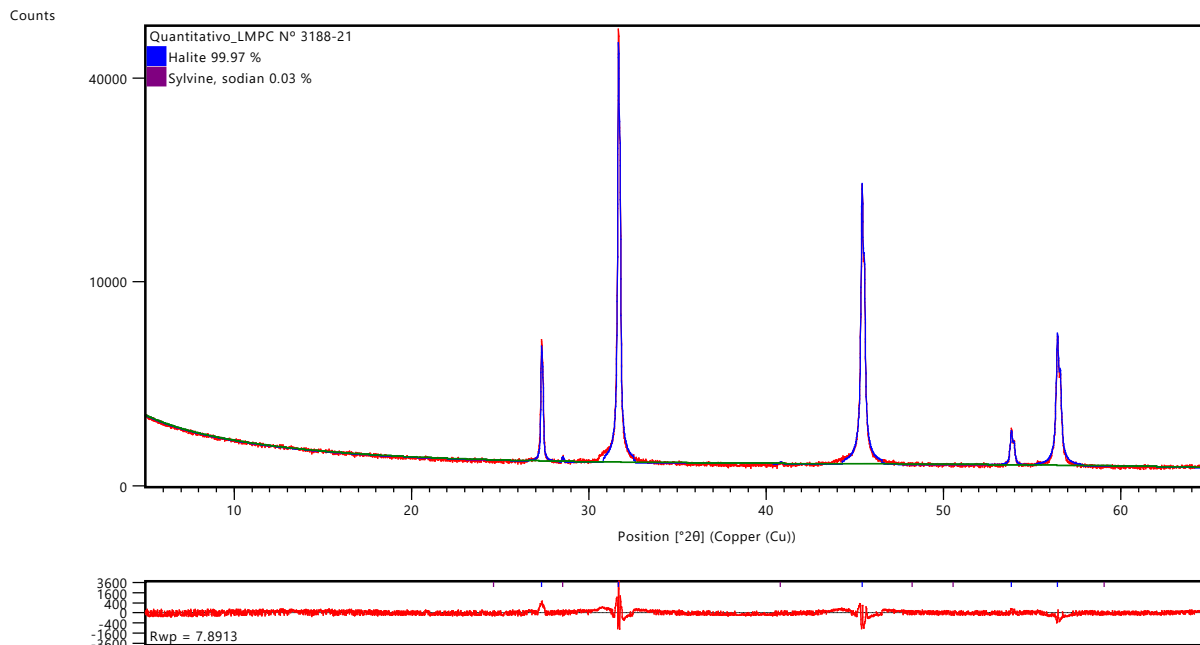


Fonte: Equipe do LMPC.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

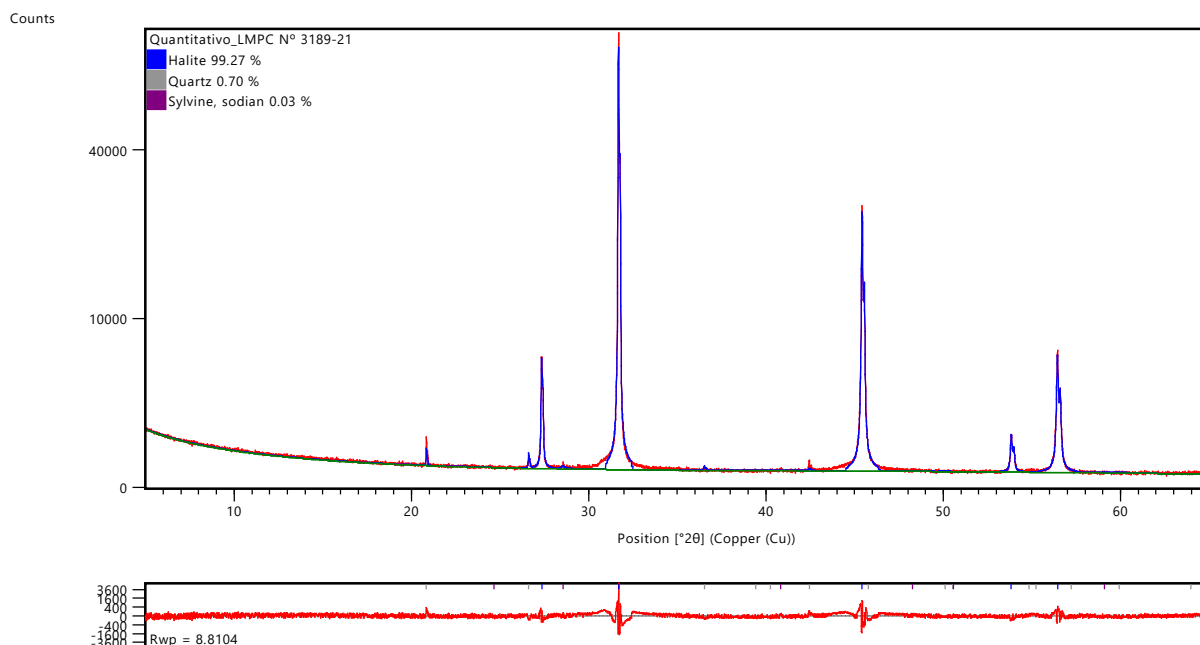
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Figura 20** - Difratoograma de raios X do material "Halita impura cinza preta" (LMPC N° 3188-21).



Fonte: Equipe do LMPC.

**Figura 21** - Difratoograma de raios X do material "Sal-gema impuro cinza a preto" (LMPC N° 3189-21).

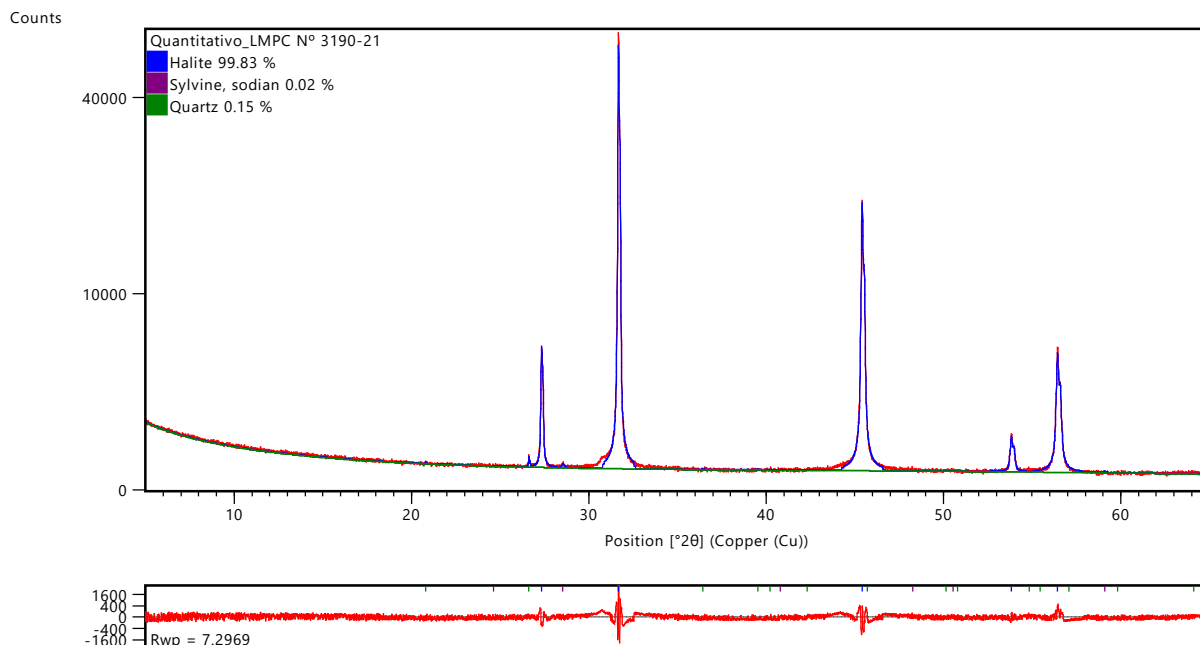


Fonte: Equipe do LMPC.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

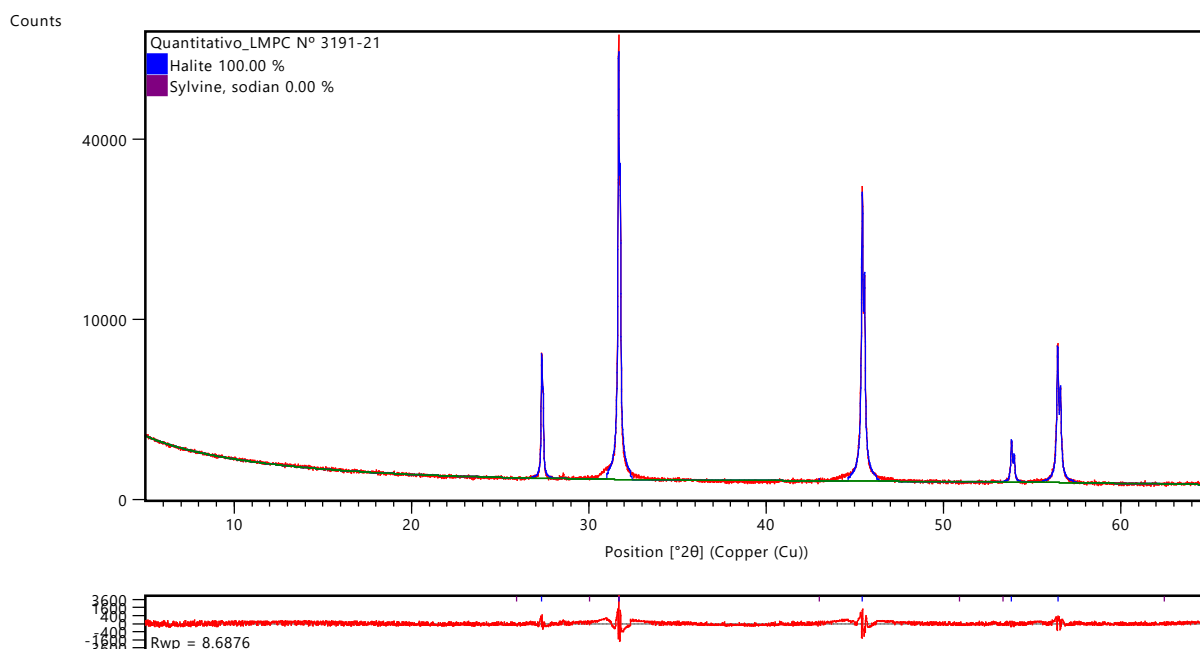
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Figura 22** - Difratoograma de raios X do material "Halita cinza bandada" (LMPC N° 3190-21).



Fonte: Equipe do LMPC.

**Figura 23** - Difratoograma de raios X do material "Sal rosa" (LMPC N° 3191-21).



Fonte: Equipe do LMPC.

## HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

### 3.4 Análise mineralógica por difratometria de raios X (DRX) – fração argila

Os argilominerais separados e identificados nas amostras estão apresentados na Tabela 7 e constam nas Figuras 24 a 29 os difratogramas de três determinações, de acordo com o tratamento recebido, a fim de se determinar os argilominerais sensíveis à glicolagem e aquecimento a 495 °C, além dos inertes a estes tratamentos, onde: natural (linha verde), glicolada (linha azul) e aquecida (linha vermelha).

**Tabela 6** - Resultados das análises por DRX – fração argila.

Identificação	Compostos ou fases mineralógicas	Resultado, em %
"Calcilutito" (LMPC N° 3164-21)	Argilomineral do grupo da caulinita	75
	Argilomineral do grupo da illita	25
	Quartzo e dolomita	- (a)
"Calcilutito intercalado com argilito" (LMPC N° 3168-21)	Argilomineral	Não detectado
	Feldspato e quartzo	- (a)
"Argilito do Marituba" (LMPC N° 3172-21)	Argilomineral do grupo da caulinita	100
	Quartzo	- (a)
"Intercalações de folhelho e calcário" (LMPC N° 3174-21)	Argilomineral do grupo da caulinita	56
	Argilomineral do grupo da illita	12
	Argilomineral do grupo da clorita	32
	Argilomineral de camada mista (illita+clorita), analcima, quartzo e feldspato.	- (a)
"Trecho argila expansiva do Ibura" (LMPC N° 3176-21)	Argilomineral do grupo da illita	100
	Gipsita, quartzo e ankerita	- (a)
"Trecho argila expansiva do Ibura" (LMPC N° 3177-21)	Argilomineral do grupo da caulinita	9
	Argilomineral do grupo da illita	57
	Argilomineral do grupo da esmectita	34
	Feldspato, quartzo e dolomita	- (a)

Os ensaios foram realizados no período entre 20.07.2021 a 23.07.2021.

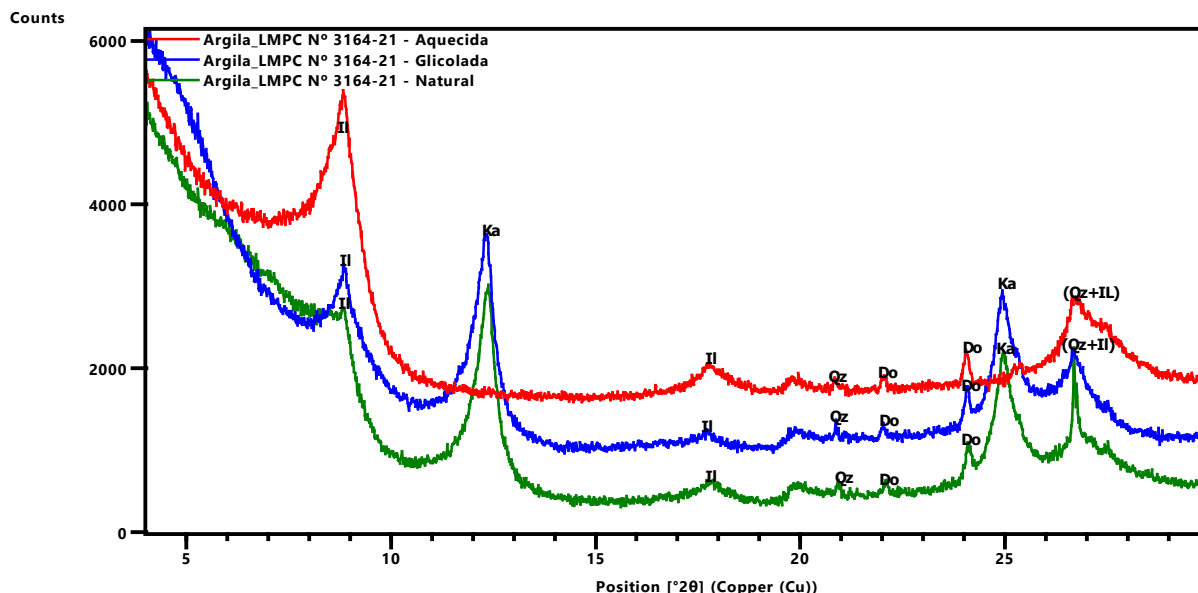
(a) Presente e não quantificado.



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

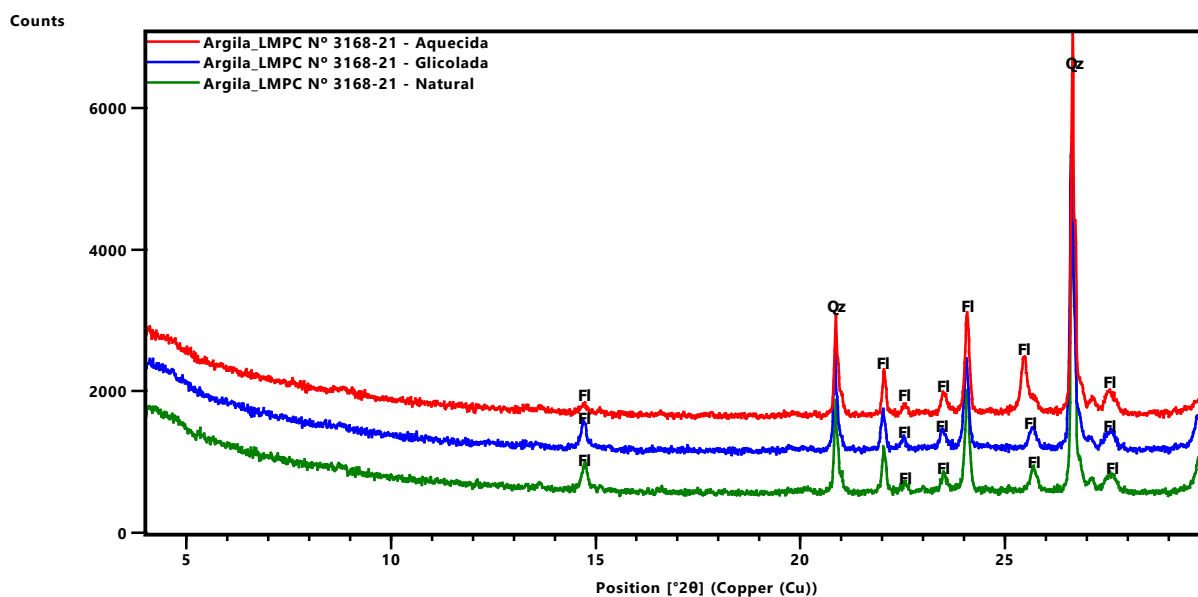
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Figura 24** - Difratomogramas de raios X (fração argila) do material "Calclutito" (LMPC N° 3164-21), em três determinações, de acordo com o tratamento natural (linha verde), glicolada (linha azul) e aquecida (linha vermelha), Notação utilizada: Il = Ilita, Ka = Caulinita, Do = Dolomita e Qz = Quartzo.



Fonte: Equipe do LMPC.

**Figura 25** - Difratomogramas de raios X (fração argila) do material "Calclutito intercalado com argilito" (LMPC N° 3168-21), em três determinações, de acordo com o tratamento natural (linha verde), glicolada (linha azul) e aquecida (linha vermelha), Notação utilizada: FI = Feldspato e Qz = Quartzo.

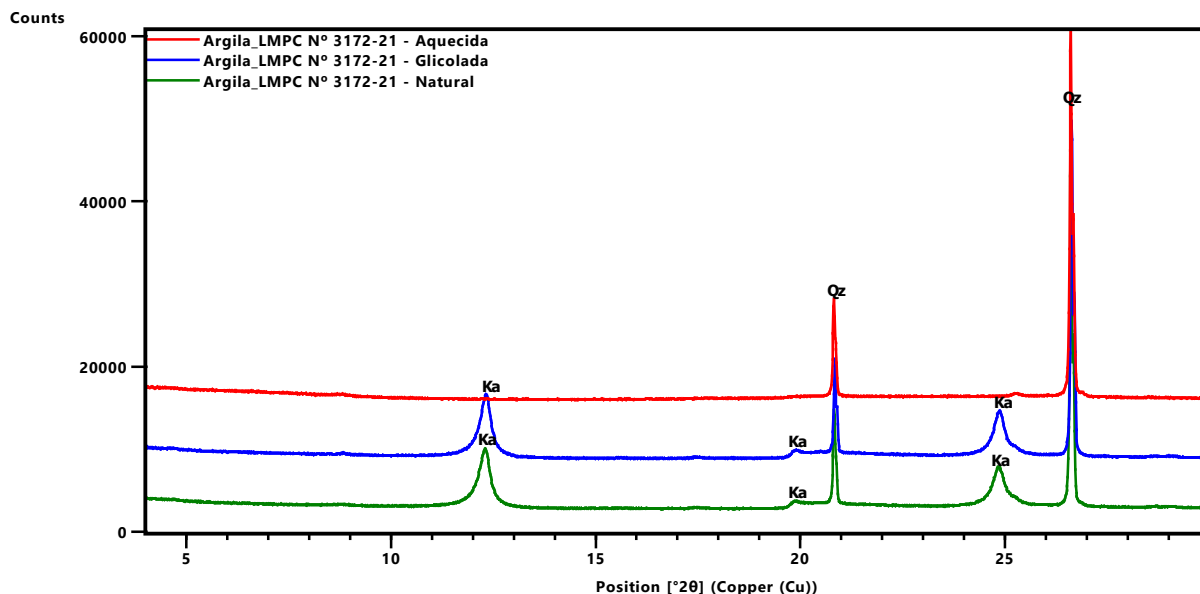


Fonte: Equipe do LMPC.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

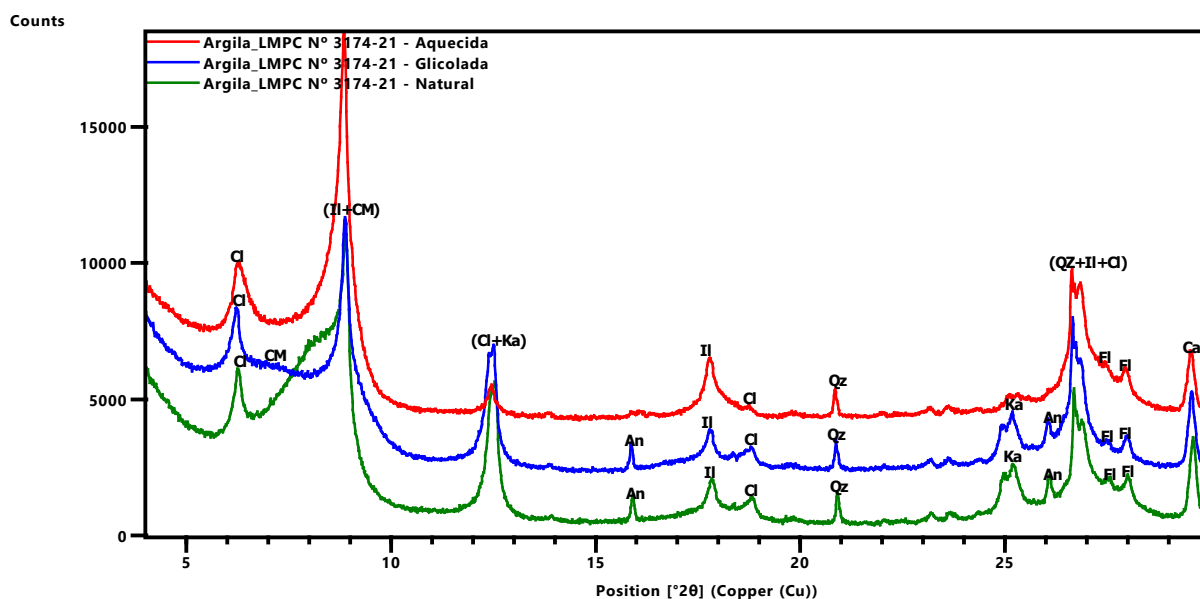
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Figura 26** - Difratomogramas de raios X (fração argila) do material "Argilito do Marituba" (LMPC N° 3172-21), em três determinações, de acordo com o tratamento natural (linha verde), glicolada (linha azul) e aquecida (linha vermelha), Notação utilizada: Ka = Caulinita e Qz = Quartzo.



Fonte: Equipe do LMPC.

**Figura 27** - Difratomogramas de raios X (fração argila) do material "Intercalações de folhelho e calcário" (LMPC N° 3174-21), em três determinações, de acordo com o tratamento natural (linha verde), glicolada (linha azul) e aquecida (linha vermelha), Notação utilizada: Cl = Clorita, Il = Ilita, Ka = Caulinita, CM = Material de camada mista (Clorita + Esmeclita), An = Analcima, Qz = Quartzo, Fl = Feldspato e Ca = Calcita.

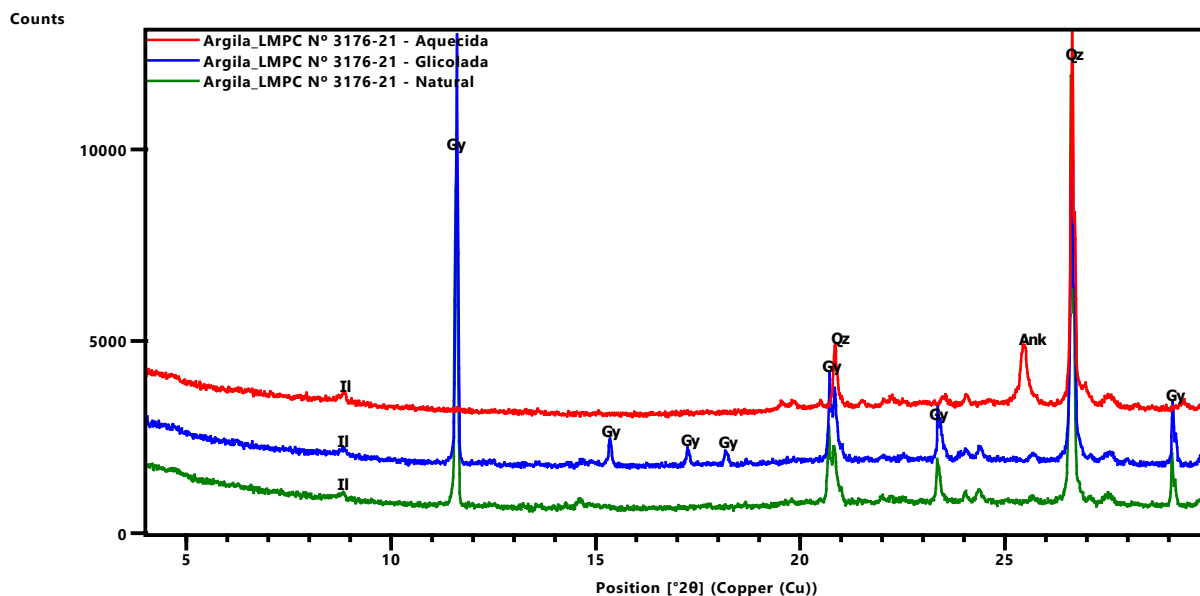


Fonte: Equipe do LMPC.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

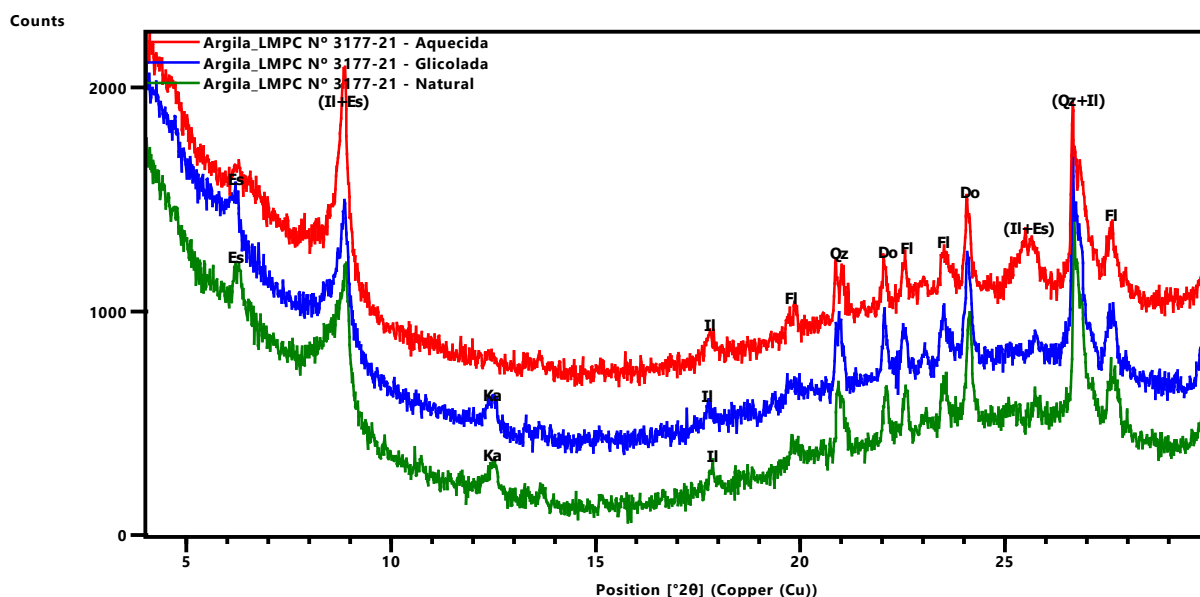
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Figura 28** - Difratomogramas de raios X (fração argila) do material "Trecho de argila expansiva do Ibura" (LMPC N° 3176-21), em três determinações, de acordo com o tratamento natural (linha verde), glicolada (linha azul) e aquecida (linha vermelha), Notação utilizada: Notação utilizada: Il = Ilita, Gy = Gipsita, Qz = Quartzo e Ank = Ankerita.



Fonte: Equipe do LMPC.

**Figura 29** - Difratomogramas de raios X (fração argila) do material "Trecho argila expansiva do Ibura" (LMPC N° 3177-21), em três determinações, de acordo com o tratamento natural (linha verde), glicolada (linha azul) e aquecida (linha vermelha), Notação utilizada: Notação utilizada: Es = Esmeclita, Il = Ilita, Ka = Caulinita, Fl = Feldspato, Qz = Quartzo e Do = Dolomita.



Fonte: Equipe do LMPC

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

### 3.5 Análise petrográfica

Os resultados das análises petrográficas encontram-se nas tabelas 7 a 13 e nas fotomicrografias 1 a 51, a seguir.

**Tabela 7** - Resultados da análise petrográfica (ABNT NBR 15845:2015 - Parte 1) para “Caixa 574 – 581,37 a 581,50 m - PI” (LMCC N° 3167-21), finalizada em 17.08.2021.

**MATERIAL:** Testemunho de sondagem

#### DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS:** rocha coerente

**<sup>8</sup>COR:** **condição seca:** cinza claro (N8) a cinza médio (N5)  
**condição úmida:** cinza escuro (N3)

**ESTRUTURA:** acamadada

**DESCONTINUIDADES:** estilólitos de espessura até 2,5 mm, composto por carbonato.

**MATERIAL DE PREENCHIMENTO:** carbonato.

#### DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA - Lâmina IPT n° 12.379

**COMPOSIÇÃO:** (avaliação visual - %)

Carbonato	50
Filossilicatos (argilominerais) + quartzo	35-40
Opacos	10-15

Secundários: hidróxidos de ferro -

**NATUREZA:** Sedimentar

**TEXTURA:** grãos de quartzo subangulosos e alta esfericidade, carbonato detrítico xenomórfico.

**ARRANJO:** nas camadas carbonáticas, empacotamento completo a suturado, sustentado por grãos nas camadas silicáticas, empacotamento flutuante, sustentado por lama filossilicática.

**GRANULAÇÃO:** Fina, com carbonato apresentando diâmetro de 100µm, quartzo até 40 µm e minerais opacos <5 µm.

**ESTADO MICROFISSURAL:** Não foram detectadas microfissuras.

**ALTERAÇÃO:** Presença de hidróxidos de ferro associados a minerais opacos.

**CONSIDERAÇÕES:** A rocha apresenta intercalação rítmica entre camadas de composição carbonática e predominantemente silicática. As camadas carbonáticas, com espessura variando de <1,0 mm a 1,0 cm, correspondem a predomínio de grãos detríticos (85%) em empacotamento

<sup>8</sup> Cor determinada segundo: Rock-Color Chart Committee, Geological Society of America and Rock-Color Chart Committee. 1963. **Rock-color chart**. Geological Society of America, New York. 9p.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

completo a suturado, com presença de lama carbonática intersticial (15%). As camadas predominantemente silicáticas, com espessura variando de <1,0 mm a 1,5 mm, correspondem a grãos de quartzo (15%) em empacotamento flutuante, imerso em matriz de lama filosilicática (85%), com rara presença de carbonato detrítico. Nas interfaces entre as camadas, comumente ocorrem camadas opacas de espessura 20-30 µm, compostas por minerais opacos, material orgânico e hidróxidos de ferro. Minerais opacos também ocorrem como micropontuações (comumente euédricas), dispersas predominantemente nas camadas silicáticas, com presença intersticial de hidróxidos de ferro associada.

---

**CLASSIFICAÇÃO: Ritmito**

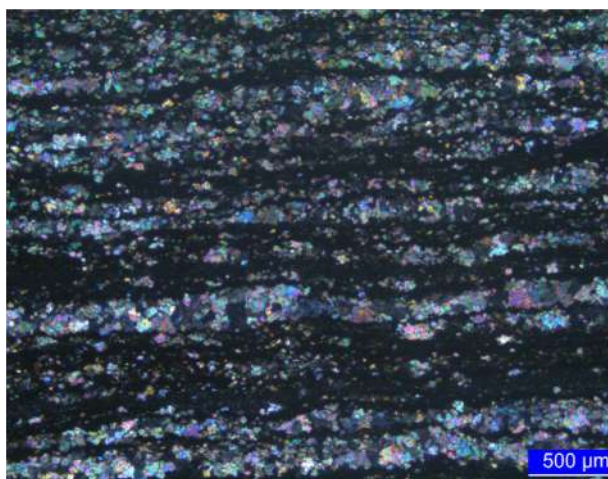
---

**Fotomicrografia 1** - “Caixa 574 – 581,37 a 581,50 m - PI” (LMCC N° 3167-21). Aspecto geral. Polarização simples.



Fonte: Equipe do LMPC

**Fotomicrografia 2** - “Caixa 574 – 581,37 a 581,50 m - PI” (LMCC N° 3167-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.



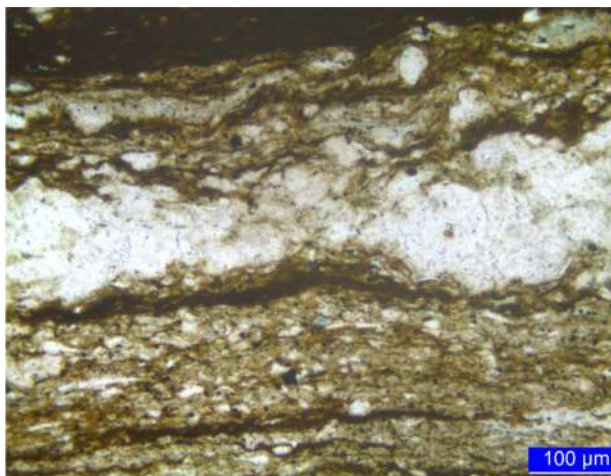
Fonte: Equipe do LMPC



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

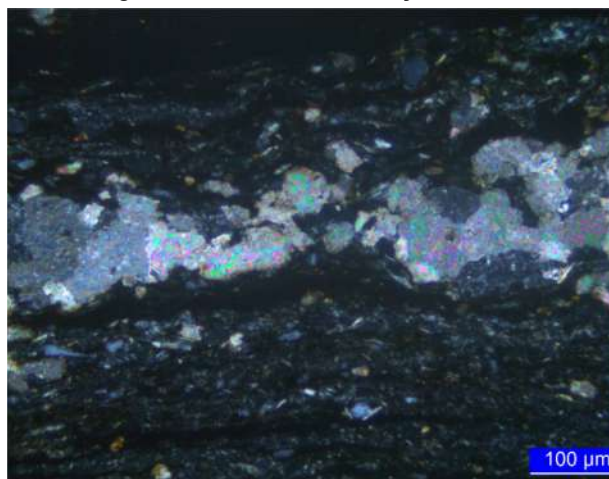
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Fotomicrografia 3** - “Caixa 574 – 581,37 a 581,50 m - PI” (LMCC N° 3167-21). Maior detalhe das camadas de diferentes composições. Polarização simples.



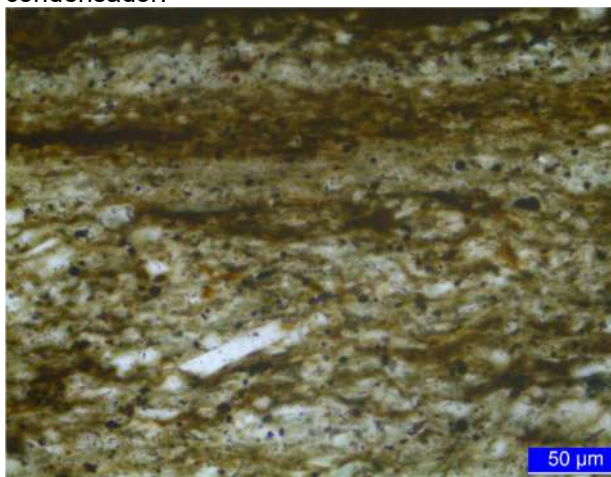
Fonte: Equipe do LMPC

**Fotomicrografia 4** - “Caixa 574 – 581,37 a 581,50 m - PI” (LMCC N° 3167-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.



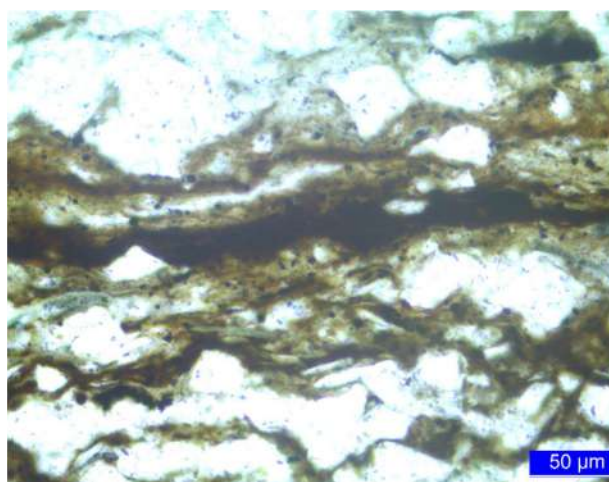
Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 5** - “Caixa 574 – 581,37 a 581,50 m - PI” (LMCC N° 3167-21). Micropontuações opacas, comumente associados a hidróxidos de ferro. Polarização simples, com condensador.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 6** - “Caixa 574 – 581,37 a 581,50 m - PI” (LMCC N° 3167-21). Ao centro da imagem, camada opaca. Polarização simples, com condensador.



Fonte: equipe do LMPC

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 8** - Resultados da análise petrográfica (ABNT NBR 15845:2015 - Parte 1) para “Caixa 14 – 56,50 a 56,59 m – BAR ARG” (LMCC N° 3170-21), finalizada em 17.08.2021.

**MATERIAL:** Testemunho de sondagem

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS:** rocha friável

**<sup>9</sup>COR:** condição seca: branco (N9) a roxo vermelho desbotado (5RP6/2)

condição úmida: branco (N9) a vermelho acinzentado (10R4/2)

**ESTRUTURA:** lenticular

**DESCONTINUIDADES:** vazios de lixiviação da matriz, poros de dissolução (observados macroscopicamente)

**MATERIAL DE PREENCHIMENTO:** sem preenchimento.

**DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA - Lâmina IPT n° 12.380**

**COMPOSIÇÃO:** (avaliação visual - %)

Arcabouço	50-55
Ortomatriz	35
Vazios	5-10

**NATUREZA:** Sedimentar

**TEXTURA:** moderada esfericidade, anguloso a subanguloso, granulometria bimodal em distribuição heterogênea aleatória.

**ARRANJO:** empacotamento flutuante a tangencial, ora sustentada pelo arcabouço, ora pela matriz.

**GRANULAÇÃO:** Fina a média, predominantemente fina, com grãos do arcabouço apresentando diâmetro de 10µm a 150 µm e 230 µm a 1,4 mm.

**ESTADO MICROFISSURAL:** Fraco microfissuramento presente na interface grão-matriz, preenchido por resina de impregnação ou cola, provavelmente originado na etapa de confecção da lâmina.

**ALTERAÇÃO:** Presença de hidróxidos de ferro concentrado em lentes com bordas difusas (aspecto de mancha), ou, por vezes, ao redor de vazios que possivelmente correspondem a minerais opacos desprendidos durante a confecção da lâmina.

<sup>9</sup> Cor determinada segundo: Rock-Color Chart Committee, Geological Society of America and Rock-Color Chart Committee. 1963. **Rock-color chart**. Geological Society of America, New York. 9p.

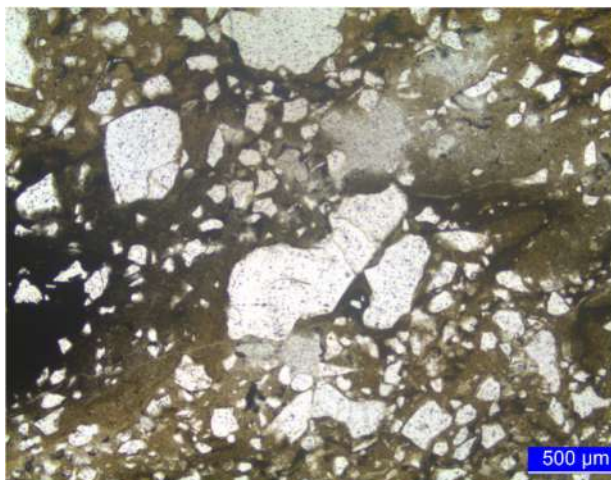
**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**CONSIDERAÇÕES:** A rocha apresenta arcabouço composto por grãos de quartzo (predominantemente monocristalino deformado, por vezes policristalino) e, raramente, plagioclásio, muscovita e zircão, angulosos a subangulosos, de moderada esfericidade, em empacotamento tangencial a flutuante. Presença de ortomatriz (protomatriz parcialmente recristalizada) composta por filossilicatos e argilominerais. Arranjo predominantemente sustentado pelo arcabouço, mas localmente ocorrem lentes com concentração de matriz. Presença pontual de minerais opacos euédricos (diâmetro de 50µm a 80 µm), em distribuição heterogênea aleatória. Notam-se porções lenticulares com concentração de hidróxidos de ferro, com borda difusa e aspecto de mancha. Localmente assumem formas arredondadas, com vazio no centro (vazios que possivelmente correspondem a minerais opacos desprendidos durante a confecção da lâmina). Macroscopicamente, notam-se que esses vazios de fato são parcialmente preenchidos por material opaco, tratando-se, portanto, de vazios de dissolução ou de arranchamento. Também foram identificados vazios de lixiviação de matriz.

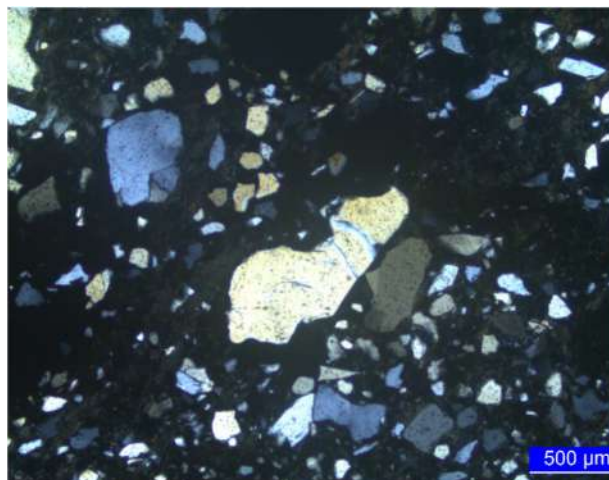
**CLASSIFICAÇÃO: Quartzo-grauvaca**

**Fotomicrografia 7** - “Caixa 14 – 56,50 a 56,59 m – BAR ARG” (LMCC N° 3170-21). Aspecto geral. Polarização simples.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 8** - “Caixa 14 – 56,50 a 56,59 m – BAR ARG” (LMCC N° 3170-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.



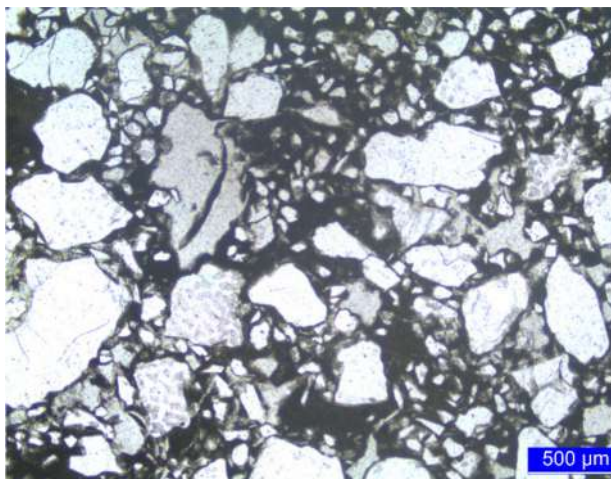
Fonte: equipe do LMPC



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

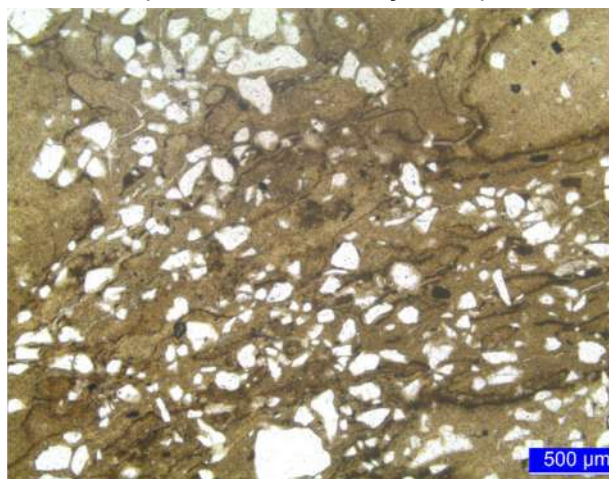
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Fotomicrografia 9** - “Caixa 14 – 56,50 a 56,59 m – BAR ARG” (LMCC N° 3170-21). Região sustentada pelo arcabouço. Notar presença de vazios de lixiviação. Polarização simples.



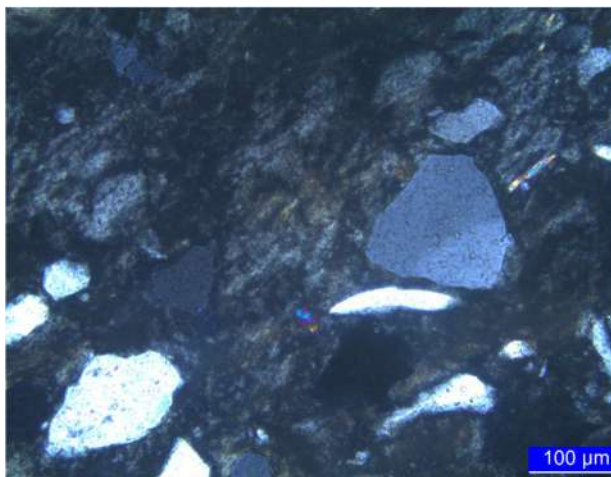
Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 10** - “Caixa 14 – 56,50 a 56,59 m – BAR ARG” (LMCC N° 3170-21). Região sustentada pela matriz. Polarização simples.



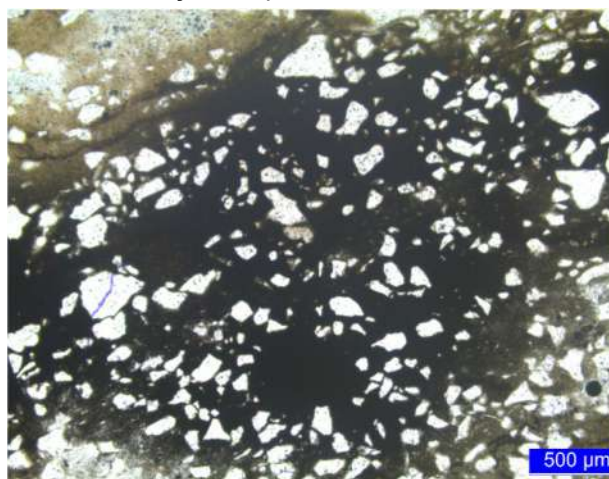
Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 11** - “Caixa 14 – 56,50 a 56,59 m – BAR ARG” (LMCC N° 3170-21). Detalhe da matriz. Polarização cruzada.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 12** - “Caixa 14 – 56,50 a 56,59 m – BAR ARG” (LMCC N° 3170-21). Ao centro da imagem, lente com concentração de hidróxidos de ferro. Polarização simples.

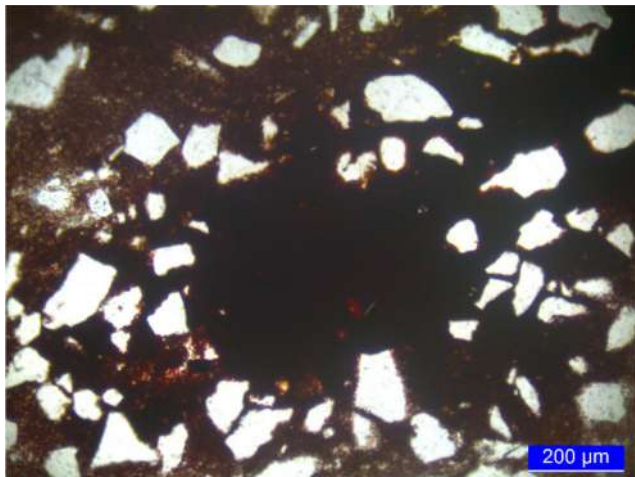


Fonte: equipe do LMPC

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Fotomicrografia 13** - “Caixa 14 – 56,50 a 56,59 m – BAR ARG” (LMCC N° 3170-21). Maior detalhe da fotomicrografia anterior. Polarização simples, com condensador.



Fonte: equipe do LMPC

**Tabela 9** - Resultados da análise petrográfica (ABNT NBR 15845:2015 - Parte 1) para “Caixa 570 – 578,10 a 578,39 m - PF” (LMCC N° 3171-21), finalizada em 24.08.2021.

**MATERIAL:** Testemunho de sondagem

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS:** rocha coerente

<sup>10</sup>**COR: condição seca:** cinza muito claro (N8) a cinza oliva (5Y4/1)

**condição úmida:** cinza oliva (5Y4/1) a preto acinzentado (N2)

**ESTRUTURA:** acamadada

**DESCONTINUIDADES:** não detectadas.

**MATERIAL DE PREENCHIMENTO:** não se aplica

**DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA - Lâmina IPT n° 12.381**

**COMPOSIÇÃO:** (avaliação visual - %)

Filossilicatos	45
Quartzo	30
Carbonato	15
Feldspatos	10
Opacos	tr
Secundários: biotita verde, argilominerais verdes, clorita	-

<sup>10</sup> Cor determinada segundo: Rock-Color Chart Committee, Geological Society of America and Rock-Color Chart Committee. 1963. **Rock-color chart**. Geological Society of America, New York. 9p.



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**NATUREZA:** Sedimentar

**TEXTURA:** quartzo com baixa esfericidade e moderado arredondamento, carbonato xenomórfico, com alta esfericidade, biotita alongada e localmente com bordas difusas.

**ARRANJO:** nas camadas quartzosas, empacotamento tangencial a suturado, com cimentação carbonática e silicática; nas camadas filossilicáticas, empacotamento flutuante a pontual, com matriz filossilicática e cimentação carbonática e silicática.

**GRANULAÇÃO:** Fina, com grãos do arcabouço apresentando: quartzo até 130 µm, biotita até 100 µm, carbonato até 180 µm; feldspatos até 150 µm e minerais opacos até 20 µm.

**ESTADO MICROFISSURAL:** Não foram detectadas microfissuras. Microfissura na interface entre camadas, preenchida por cola, foi ocasionada durante o corte do testemunho.

**ALTERAÇÃO:** Presença de biotita verde (nas camadas quartzosas) e clorita (em grãos individuais, não intercrescidos com biotita). Raramente ocorrem argilominerais verdes (intersticialmente).

**CONSIDERAÇÕES:** A rocha apresenta intercalação rítmica, em contatos abruptos e sem gradação granulométrica, entre camadas de composição predominantemente quartzosa e predominantemente filossilicática. As camadas quartzosas, com espessura variando de 300 µm a 1,2 cm, correspondem a predomínio de grãos detríticos em empacotamento tangencial a suturado, com pouca matriz filossilicática, cimentação carbonática e silicática. As camadas predominantemente filossilicáticas, com espessura variando de 150 µm a 1,1 cm, correspondem a grãos de filossilicatos (predominantemente biotita) e quartzo em empacotamento flutuante a pontual, por vezes apresentando cimentação silicática ou carbonática. Material opaco ocorre como aglomerados xenomórficos ou intersticiais (possível material orgânico) ou como micropontuações euédricas, comumente associadas a hidróxidos de ferro, heterogeneamente dispersas mais comumente nas camadas filossilicáticas. A descrição minuciosa das camadas foi realizada na lâmina B, enquanto as relações de contato entre camadas foram analisadas na lâmina A.

---

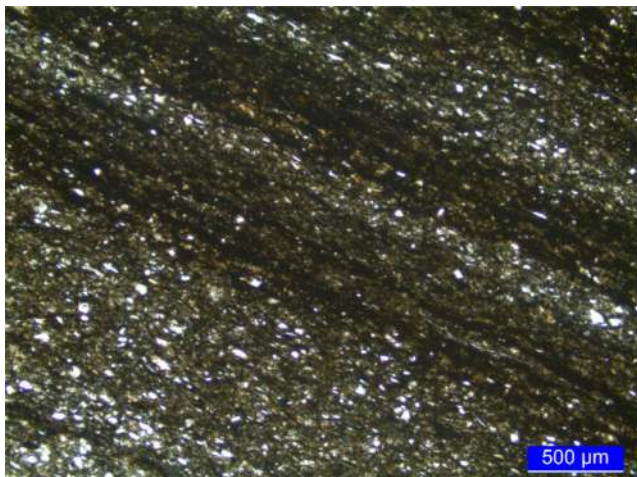
**CLASSIFICAÇÃO: Ritmito**

---

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

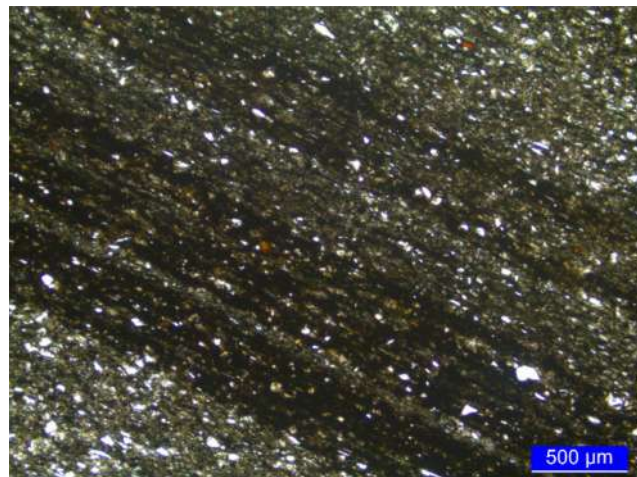
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Fotomicrografia 14** - “Caixa 570 – 578,10 a 578,39 m - PF” (LMCC N° 3171-21). Lâmina A - Aspecto geral. Polarização simples.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 15** - “Caixa 570 – 578,10 a 578,39 m - PF” (LMCC N° 3171-21). Lâmina A - Aspecto geral, outra região. Polarização simples.



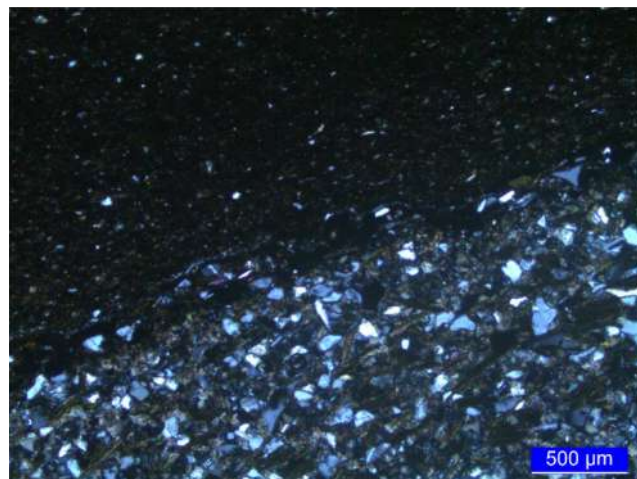
Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 16** - “Caixa 570 – 578,10 a 578,39 m - PF” (LMCC N° 3171-21). Lâmina B - Aspecto geral. Polarização simples.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 17** - “Caixa 570 – 578,10 a 578,39 m - PF” (LMCC N° 3171-21). Lâmina B – Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.



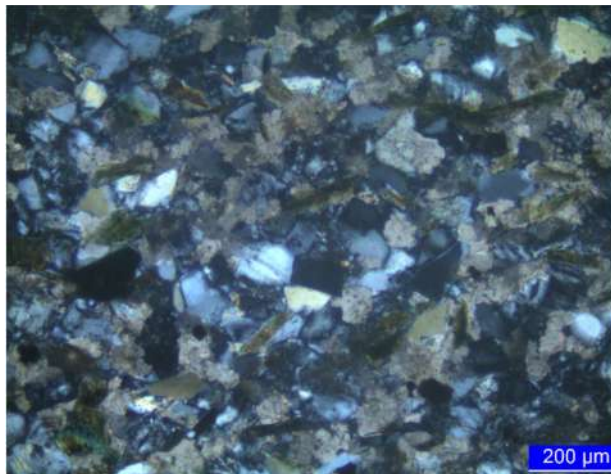
Fonte: equipe do LMPC



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

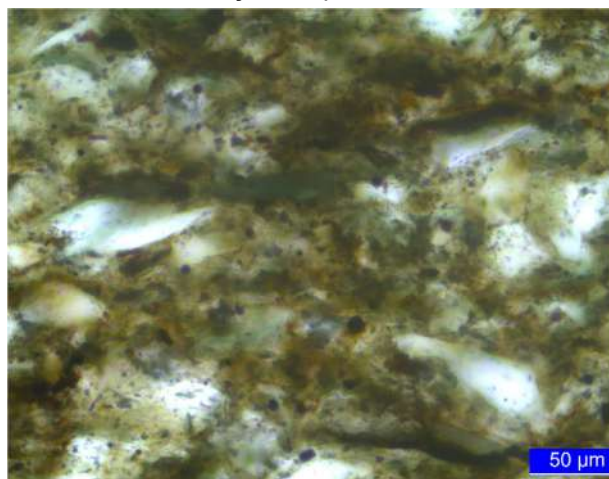
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Fotomicrografia 18** - “Caixa 570 – 578,10 a 578,39 m - PF” (LMCC N° 3171-21). Lâmina B - Aspecto geral da camada predominantemente quartzosa. Polarização cruzada.



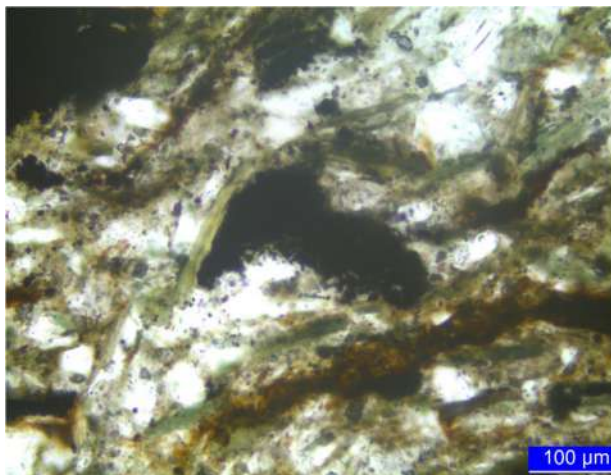
Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 19** - “Caixa 570 – 578,10 a 578,39 m - PF” (LMCC N° 3171-21). Lâmina B – Aspecto geral da camada predominantemente filossilicática. Notar micropontuações de opacos euédricos. Polarização simples, com condensador.



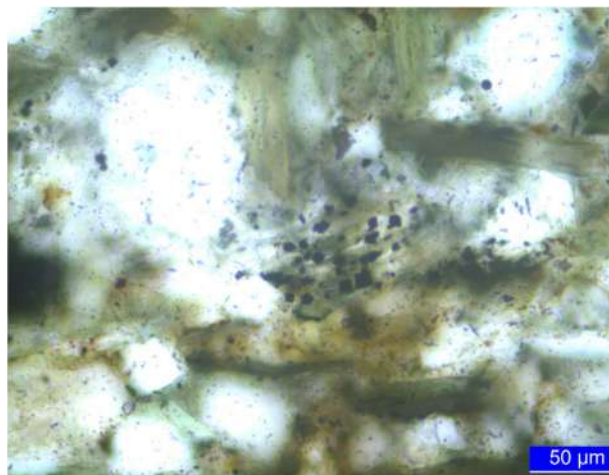
Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 20** - “Caixa 570 – 578,10 a 578,39 m - PF” (LMCC N° 3171-21). Lâmina B – Ao centro da imagem, aglomerado de opacos na camada filossilicática. Polarização simples, com condensador.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 21** - “Caixa 570 – 578,10 a 578,39 m - PF” (LMCC N° 3171-21). Lâmina B – Ao centro da imagem, minerais opacos euédricos na camada quartzosa, associados a filossilicatos. Polarização simples, com condensador.



Fonte: equipe do LMPC

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 10** - Resultados da análise petrográfica (ABNT NBR 15845:2015 - Parte 1) para “Caixa 38 – 92,00 a 92,12 m – MAG” (LMCC N° 3172-21), finalizada em 24.08.2021.

**MATERIAL:** Testemunho de sondagem

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS:** rocha pouco coerente

**<sup>11</sup>COR: condição seca:** cinza muito claro (N8) a cinza médio (N5)

**condição úmida:** cinza oliva claro (5Y6/1) a cinza escuro médio (N4)

**ESTRUTURA:** maciça

**DESCONTINUIDADES:** poros de lixiviação da matriz

**MATERIAL DE PREENCHIMENTO:** sem preenchimento

**DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA - Lâmina IPT n° 12.382**

**COMPOSIÇÃO:** (avaliação visual - %)

Arcabouço	30-35
Matriz argilosa	60-65
Vazios	5

**NATUREZA:** Sedimentar

**TEXTURA:** Grãos do arcabouço com moderada esfericidade e moderado arredondamento, em matriz argilosa.

**ARRANJO:** Empacotamento predominantemente flutuante, localmente pontual, sustentado pela matriz.

**GRANULAÇÃO:** Fina, com quartzo de até 20 µm, em matriz argilosa.

**ESTADO MICROFISSURAL:** Não foram detectadas microfissuras. Microfissura na porção central da lâmina, preenchida por cola, foi ocasionada durante o corte do testemunho.

**ALTERAÇÃO:** Presença de impregnação por hidróxidos de ferro.

**CONSIDERAÇÕES:** A rocha é composta por arcabouço (predominantemente quartzo monocrystalino deformado, com rara muscovita) em empacotamento flutuante, localmente pontual, imerso em protomatriz, localmente pseudomatriz, argilosa, de composição filossilicática. Arranjo sustentado pela matriz, com arcabouço em distribuição heterogênea aleatória. Material opaco ocorre como aglomerados sem forma definida, possível mistura de matéria orgânica e sulfetos (analisados macroscopicamente, ao fragmentar um aglomerado sob lupa binocular), geralmente associados a hidróxidos de ferro como impregnação na região ao redor. Nota-se descolamento da lâmina nos locais de ocorrência de opacos.

**CLASSIFICAÇÃO: Quartzo-grauvaca**

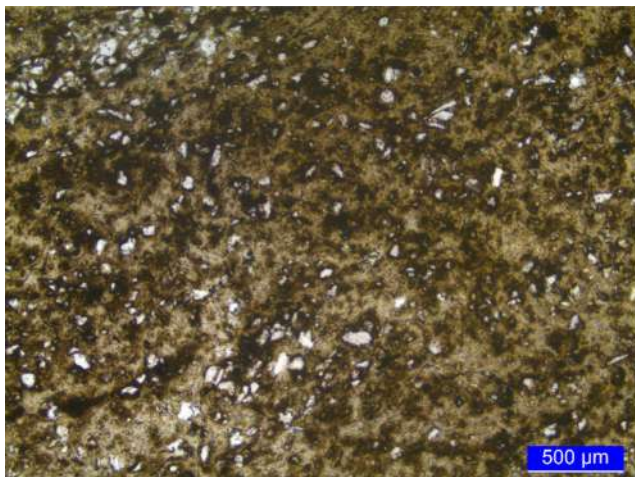
<sup>11</sup> Cor determinada segundo: Rock-Color Chart Committee, Geological Society of America and Rock-Color Chart Committee. 1963. **Rock-color chart**. Geological Society of America, New York. 9p.



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

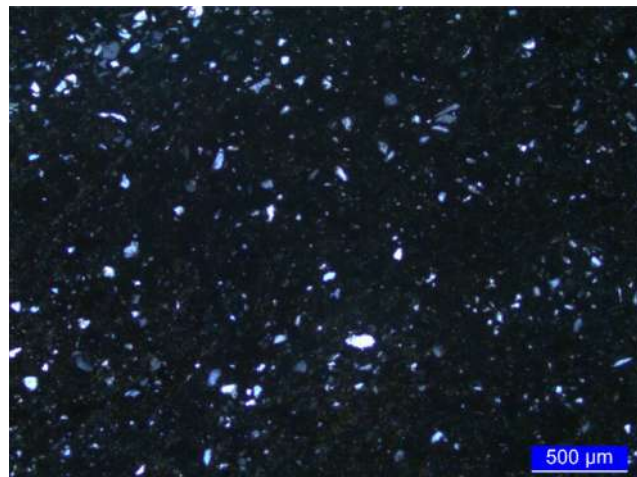
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Fotomicrografia 22** - “Caixa 38 – 92,00 a 92,12 m – MAG” (LMCC N° 3172-21) Aspecto geral da rocha. Polarização simples.



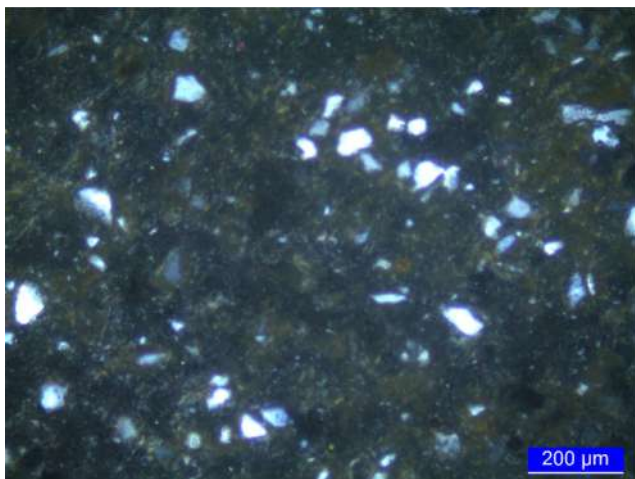
Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 23** - “Caixa 38 – 92,00 a 92,12 m – MAG” (LMCC N° 3172-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.



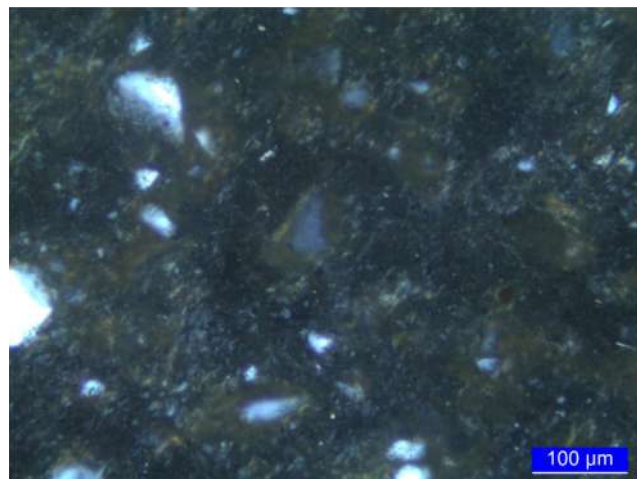
Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 24** - “Caixa 38 – 92,00 a 92,12 m – MAG” (LMCC N° 3172-21) Aspecto geral da matriz. Polarização cruzada, com condensador.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 25** - “Caixa 38 – 92,00 a 92,12 m – MAG” (LMCC N° 3172-21). Maior detalhe da matriz. Polarização cruzada, com condensador.



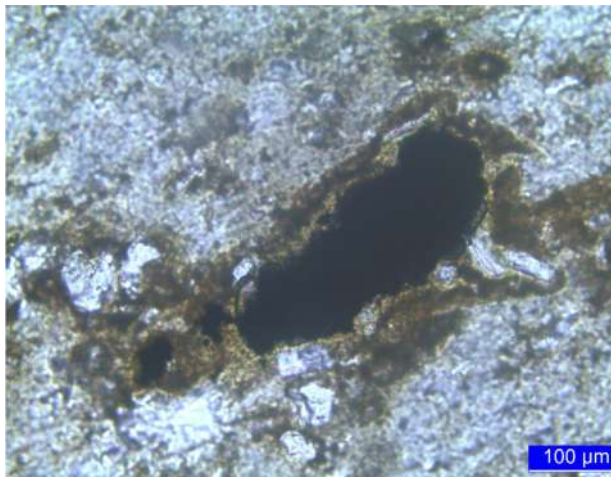
Fonte: equipe do LMPC



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

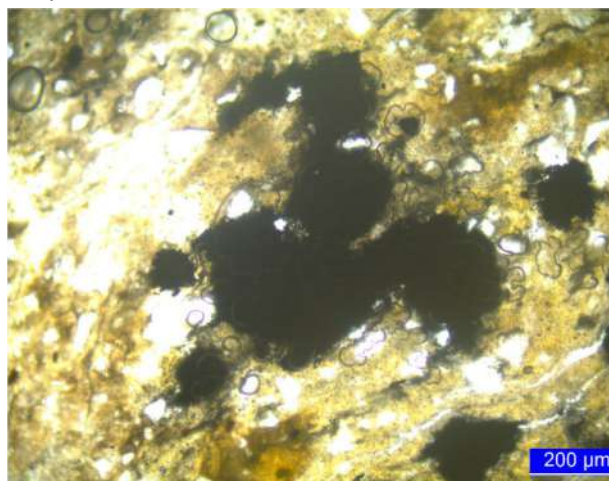
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Fotomicrografia 26** - “Caixa 38 – 92,00 a 92,12 m – MAG” (LMCC N° 3172-21) Ao centro da imagem, concentração de material opaco. Polarização simples.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 27** - “Caixa 38 – 92,00 a 92,12 m – MAG” (LMCC N° 3172-21). Ao centro da imagem, outra concentração de material opaco. Notar descolamento da lâmina. Polarização simples, com condensador.



Fonte: equipe do LMPC

**Tabela 11** - Resultados da análise petrográfica (ABNT NBR 15845:2015 - Parte 1) para “Caixa 52 – 180,10 a 180,35 m – MAR” (LMCC N° 3175-21), finalizada em 24.08.2021.

**MATERIAL:** Testemunho de sondagem

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS:** rocha friável

<sup>12</sup>**COR: condição seca:** cinza muito (N8)

**condição úmida:** cinza oliva claro (5Y6/1)

**ESTRUTURA:** maciça

**DESCONTINUIDADES:** vazios de lixiviação da pasta.

**MATERIAL DE PREENCHIMENTO:** não se aplica.

<sup>12</sup> Cor determinada segundo: Rock-Color Chart Committee, Geological Society of America and Rock-Color Chart Committee. 1963. **Rock-color chart**. Geological Society of America, New York. 9p.

## DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA - Lâmina IPT n° 12.383

**COMPOSIÇÃO:** (avaliação visual - %)

Arcabouço	30-35
Pseudomatriz	60
Vazios	5-10

**NATUREZA:** Sedimentar

**TEXTURA:** Grãos do arcabouço com baixo arredondamento, moderada esfericidade, mal selecionados.

**ARRANJO:** Empacotamento flutuante a pontual, sustentada pela matriz lamítica.

**GRANULAÇÃO:** Fina a média, predominantemente fina, com grãos do arcabouço medindo de 20 µm a 2,4 mm. Matriz lamítica.

**ESTADO MICROFISSURAL:** Moderado microfissuramento. Presença de microfissuras intragranulares (em quartzo), sem preenchimento. Notam-se microfissuras de curta extensão, interconectadas ou não, preenchidas por argilominerais e hidróxidos de ferro. Também ocorre região de aspecto craquelado, com microfissuras de longa extensão, comumente interconectadas, geralmente preenchidas por cola/ resina de implegação ou parcialmente preenchidas por argilominerais e hidróxidos de ferro.

**ALTERAÇÃO:** Presença de hidróxidos de ferro e argilominerais, como preenchimento de microfissuras.

**CONSIDERAÇÕES:** A rocha é composta por arcabouço (quartzo policristalino ou monocristalino deformado) em empacotamento flutuante a pontual, imerso em protomatriz lamítica, de composição filossilicática. Arranjo sustentado pela matriz. Material opaco ocorre como micropontuações subédricas heterogeneamente dispersas, de diâmetro inferior a 5 µm, com coloração avermelhada sob condensador. Ocorrem abundantes microfissuras de curta extensão, preenchidas por argilominerais e hidróxidos de ferro, com aspecto expansivo. Microfissuras de maior extensão podem ter sido ocasionadas durante o processo de confecção da lâmina.

---

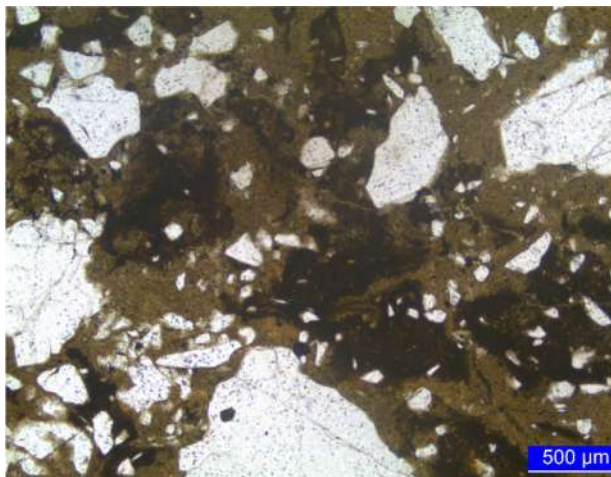
**CLASSIFICAÇÃO: Quartzo-grauvaca**

---

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

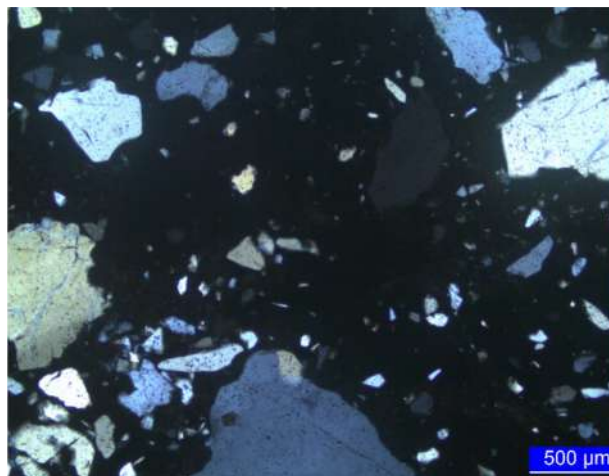
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Fotomicrografia 28** - “Caixa 52 – 180,10 a 180,35 m – MAR” (LMCC N° 3175-21). Aspecto geral da rocha. Polarização simples.



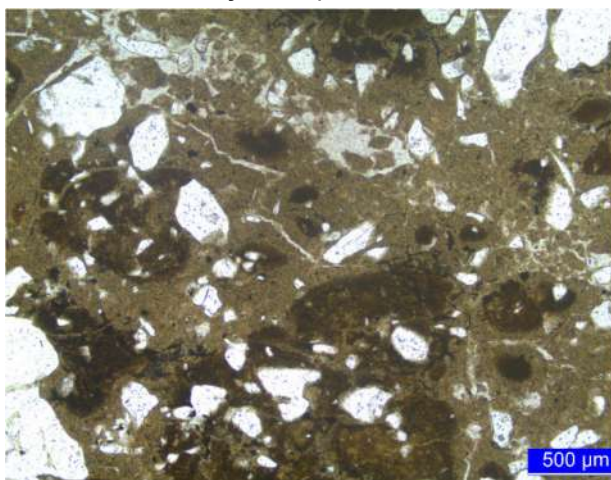
Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 29** - “Caixa 52 – 180,10 a 180,35 m – MAR” (LMCC N° 3175-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.



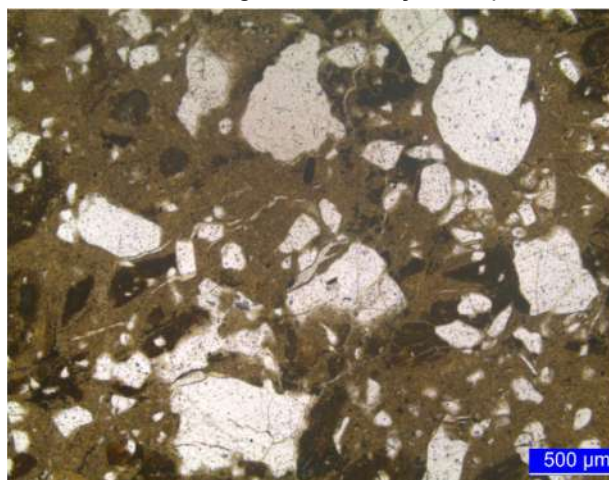
Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 30** - “Caixa 52 – 180,10 a 180,35 m – MAR” (LMCC N° 3175-21). Aspecto craquelado, com microfissuras de grande extensão. Polarização simples.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 31** - “Caixa 52 – 180,10 a 180,35 m – MAR” (LMCC N° 3175-21). Aspecto craquelado, com microfissuras de grande extensão – outra região. Polarização simples.



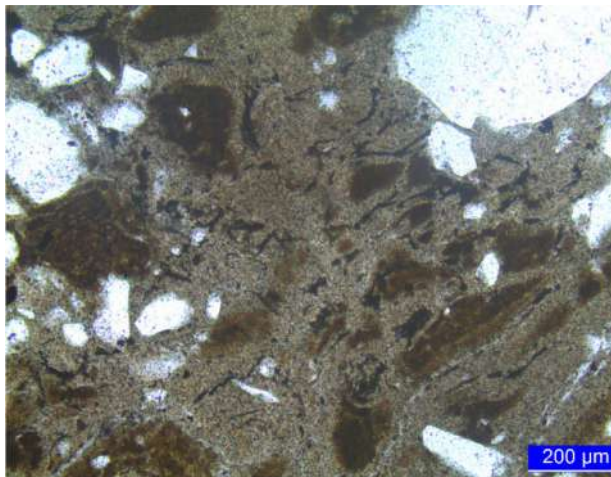
Fonte: equipe do LMPC



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

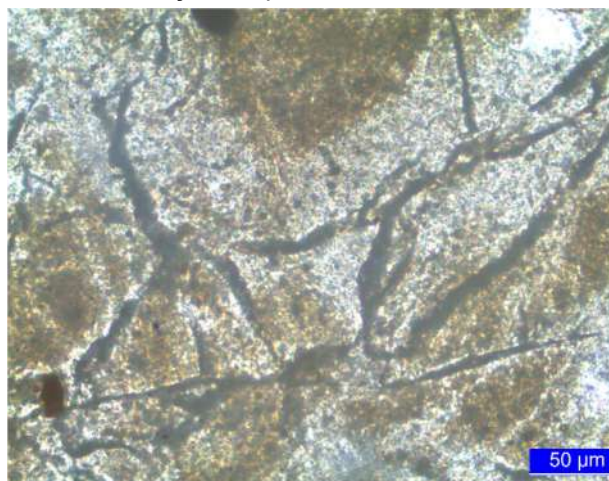
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Fotomicrografia 32** - “Caixa 52 – 180,10 a 180,35 m – MAR” (LMCC N° 3175-21). Em tons mais escuros, microfissuras de curta extensão. Polarização simples.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 33** - “Caixa 52 – 180,10 a 180,35 m – MAR” (LMCC N° 3175-21). Maior detalhe das microfissuras de curta extensão. Notar preenchimento de argilominerais e hidróxidos de ferro. Polarização simples, com condensador.



Fonte: equipe do LMPC

**Tabela 12** - Resultados da análise petrográfica (ABNT NBR 15845:2015 - Parte 1) para “Caixa 302 – 349,50 a 349,60 m – IBU RX-01” (LMCC N° 3176-21), finalizada em 26.08.2021.

**MATERIAL:** Testemunho de sondagem

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS:** rocha coerente

<sup>13</sup>**COR: condição seca:** preto escuro médio (N4)  
**condição úmida:** preto (N1)

**ESTRUTURA:** acamadada, brechóide

**DESCONTINUIDADES:** fraturas e falhas.

**MATERIAL DE PREENCHIMENTO:** carbonato (possível <sup>14</sup>calcita) e mineral acicular de composição não determinada.

**DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA - Lâmina IPT n° 12.384**

**COMPOSIÇÃO:** (avaliação visual - %)

Lama carbonática	60
Carbonato esparfítico	35-40
Oólitos	<5

<sup>13</sup> Cor determinada segundo: Rock-Color Chart Committee, Geological Society of America and Rock-Color Chart Committee. 1963. **Rock-color chart**. Geological Society of America, New York. 9p.

<sup>14</sup> Mineral apresenta efervescência quando submetido a teste com HCl 10% a frio.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**NATUREZA:** Sedimentar

**TEXTURA:** Camada tipo A: baixo arredondamento, alta esfericidade, bem selecionado; camada tipo C: oolítica.

**ARRANJO:** Camada tipo A: empacotamento flutuante; camada tipo B: empacotamento completo; camada tipo C: empacotamento tangencial.

**GRANULAÇÃO:** Fina, com grãos detríticos medindo de 30 µm a 160 µm e oólitos de <5 µm a 35 µm.

**ESTADO MICROFISSURAL:** Moderado a forte microfissuramento, com presença de falhas, sin a pós deposicionais, conferindo à rocha um aspecto brechóide, parcialmente preenchidas por calcita e mineral acicular de composição indeterminada (detectado apenas macroscopicamente).

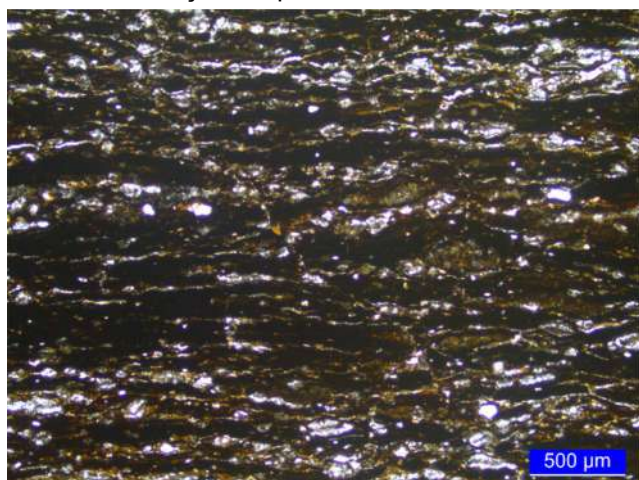
**ALTERAÇÃO:** Não foram detectadas evidências de alteração.

**CONSIDERAÇÕES:** A rocha apresenta intercalação rítmica entre camadas arbitrariamente denominadas A, B e C. As camadas do tipo A (espessura até 8,0 mm) correspondem a lama filossilicática, rica em hidróxidos de ferro, com presença de grãos detríticos (quartzo e carbonato, em empacotamento flutuante) e abundância de material opaco como micropontuações ou aglomerados lineares, além de rara ocorrência de autoclastos (torrões de argila). As camadas do tipo B (espessura até 500 µm), correspondem a carbonato esparítico xenomórfico, em empacotamento completo. As camadas do tipo C são lenticulares (espessura até 250 µm, comprimento de até 600 µm), compostas por oólitos em empacotamento tangencial, com cimento de material opaco/avermelhado indistinto. O acamamento é comumente anastomosado, com porções lenticulares (camada tipo C). Ocorrem fraturas e falhas, sin a pós deposicionais, de espessura até 1,5 cm, com preenchimento parcial de carbonato esparítico poligonal.

---

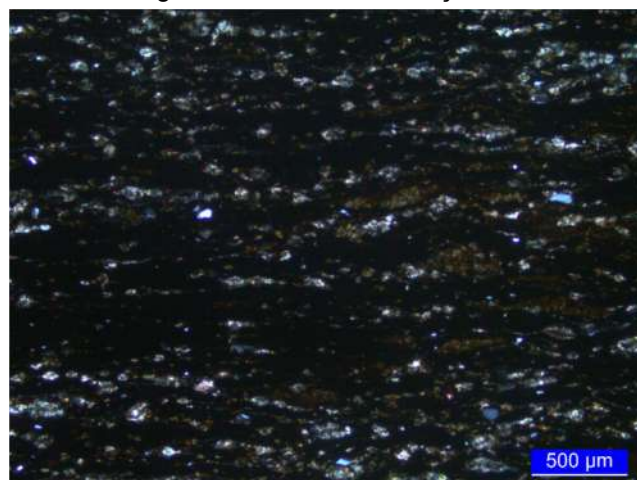
**CLASSIFICAÇÃO:** Ritmito

**Fotomicrografia 34** - “Caixa 302 – 349,50 a 349,60 m – IBU RX-01” (LMCC Nº 3176-21). Aspecto geral da rocha. Polarização simples.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 35** - “Caixa 302 – 349,50 a 349,60 m – IBU RX-01” (LMCC Nº 3176-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.



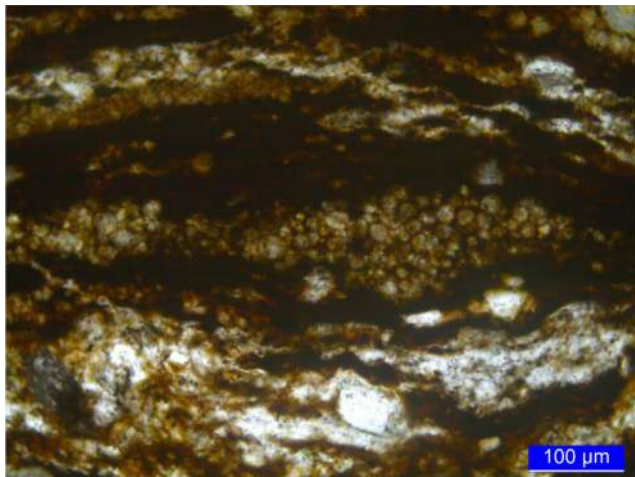
Fonte: equipe do LMPC



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

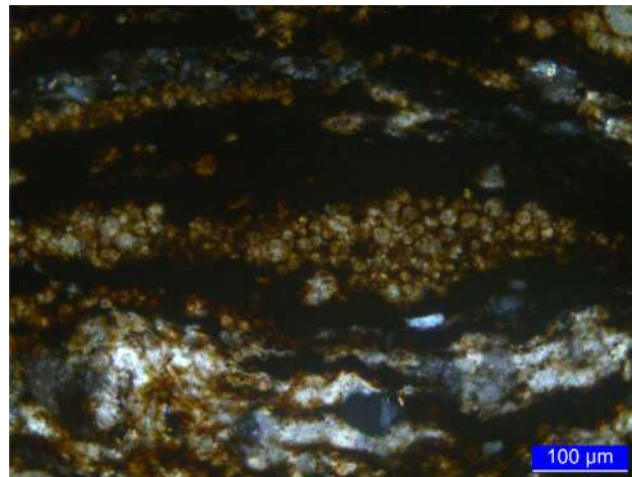
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Fotomicrografia 36** - “Caixa 302 – 349,50 a 349,60 m – IBU RX-01” (LMCC N° 3176-21). Maior detalhe da Fotomicrografia 34. Polarização simples, com condensador.



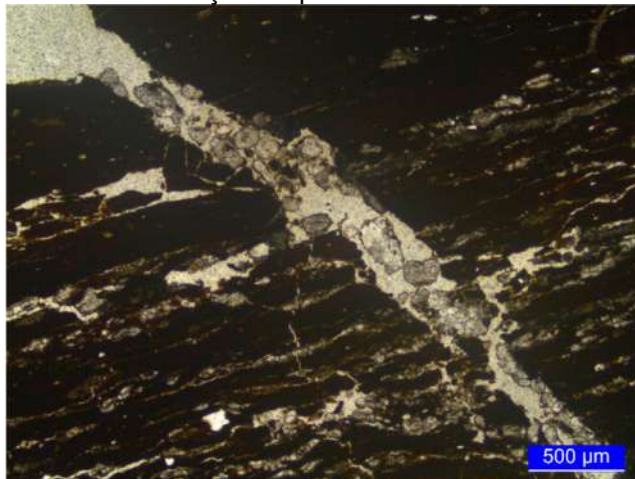
Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 37** - “Caixa 302 – 349,50 a 349,60 m – IBU RX-01” (LMCC N° 3176-21). Maior detalhe da Fotomicrografia 35. Polarização cruzada, com condensador.



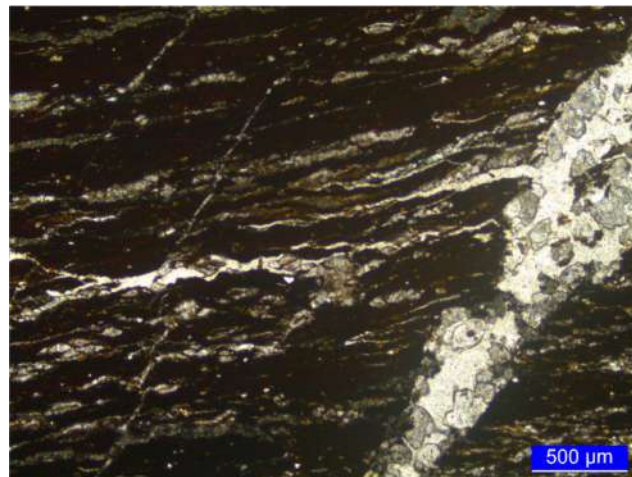
Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 38** - “Caixa 302 – 349,50 a 349,60 m – IBU RX-01” (LMCC N° 3176-21). Falha e fraturas. Polarização simples.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 39** - “Caixa 302 – 349,50 a 349,60 m – IBU RX-01” (LMCC N° 3176-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior – outra região. Polarização simples.

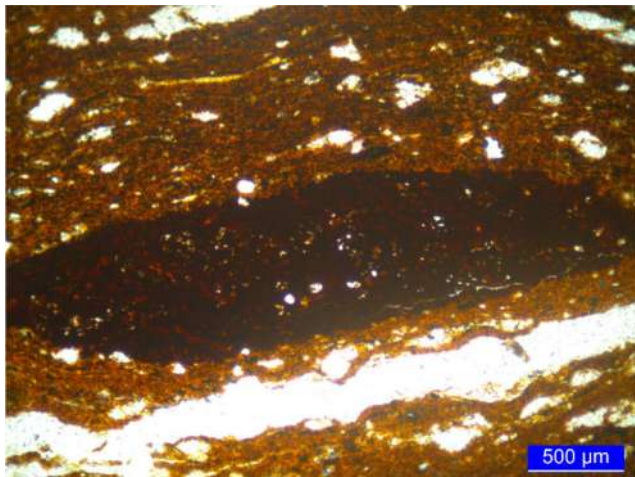


Fonte: equipe do LMPC

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Fotomicrografia 40** - “Caixa 302 – 349,50 a 349,60 m – IBU RX-01” (LMCC N° 3176-21). Ao centro da imagem, autoclasto (torrão de argila). Polarização simples, com condensador.



Fonte: equipe do LMPC

**Tabela 13** - Resultados da análise petrográfica (ABNT NBR 15845:2015 - Parte 1) para “Caixa 319 – 362,60 a 362,73 m – IBU RX-02” (LMCC N° 3177-21), finalizada em 26.08.2021.

**MATERIAL:** Testemunho de sondagem

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS:** rocha pouco coerente

<sup>15</sup>**COR: condição seca:** cinza oliva claro (5Y6/1)

**condição úmida:** cinza oliva (5Y4/1)

**ESTRUTURA:** acamadada

**DESCONTINUIDADES:** fraturas e falhas.

**MATERIAL DE PREENCHIMENTO:** carbonato (possível <sup>16</sup>calcita), ou sem preenchimento.

**DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA - Lâmina IPT n° 12.385**

**COMPOSIÇÃO:** (avaliação visual - %)

Lama carbonática

95-100

Grãos detríticos

<5

<sup>15</sup> Cor determinada segundo: Rock-Color Chart Committee, Geological Society of America and Rock-Color Chart Committee. 1963. **Rock-color chart**. Geological Society of America, New York. 9p.

<sup>16</sup> Mineral apresenta efervescência quando submetido a teste com HCl 10% a frio.



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**NATUREZA:** Sedimentar

**TEXTURA:** Grãos detríticos angulosos e com alta esfericidade, bem selecionado.

**ARRANJO:** Empacotamento flutuante, em protomatriz lamítica.

**GRANULAÇÃO:** Fina, com grãos detríticos medindo até 80 µm.

**ESTADO MICROFISSURAL:** Fraco a moderado microfissuramento, com presença de falhas e fraturas pós deposicionais, sem preenchimento ou parcialmente preenchidas por carbonato esparítico e, por vezes, material opaco.

**ALTERAÇÃO:** não foram detectadas evidências de alteração.

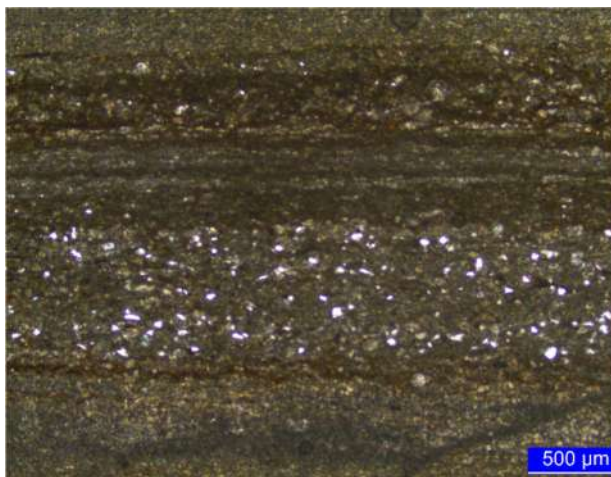
**CONSIDERAÇÕES:** A rocha apresenta intercalação rítmica entre camadas arbitrariamente denominadas A e B. As camadas do tipo A (espessura até 2,0 mm) correspondem a lama carbonática micrítica, com micropontuações opacas xenomórficas em distribuição heterogênea aleatória. As camadas do tipo B (espessura até 5,0 mm), correspondem a grãos detríticos (predominantemente quartzo, com menor ocorrência de muscovita, biotita, clorita e plagioclásio) em empacotamento flutuante, imersos em protomatriz lamítica carbonática, micrítica a localmente esparítica, com micropontuações opacas xenomórficas em distribuição heterogênea aleatória e maior presença de hidróxidos de ferro. Na interface entre as camadas tipos 1 e 2, comumente nota-se concentração de opacos e hidróxidos de ferro. Rara presença de oóides. O acamamento é plano-paralelo. Ocorrem fraturas e falhas, pós deposicionais, de espessura até 350 µm, com preenchimento parcial de carbonato esparítico poligonal com ou sem associação de opacos.

---

**CLASSIFICAÇÃO: Ritmito**

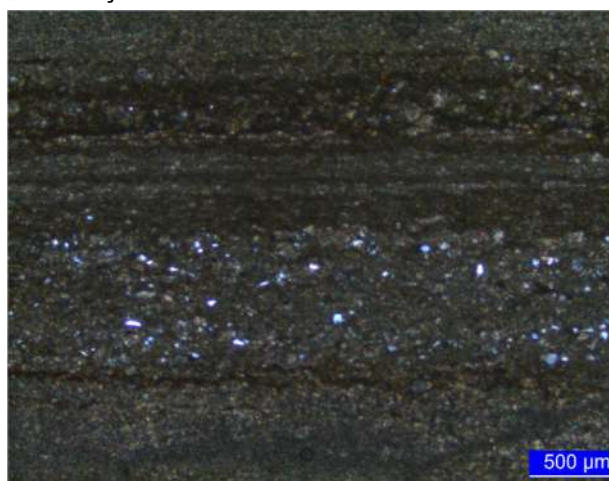
---

**Fotomicrografia 41** - "Caixa 319 – 362,60 a 362,73 m – IBU RX-02" (LMCC N° 3177-21). Aspecto geral da rocha. Polarização simples.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 42** - "Caixa 319 – 362,60 a 362,73 m – IBU RX-02" (LMCC N° 3177-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.



Fonte: equipe do LMPC

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

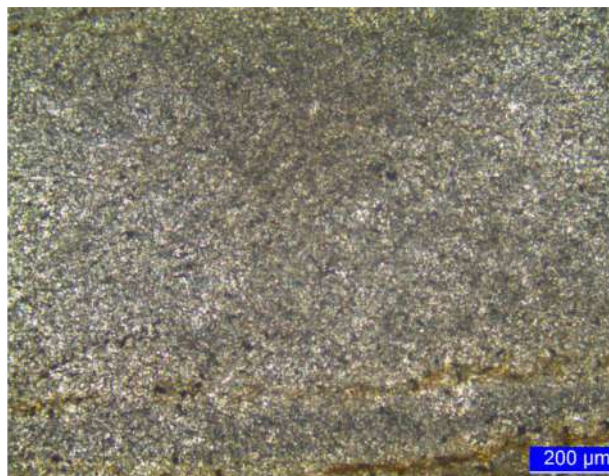
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Fotomicrografia 43** - “Caixa 319 – 362,60 a 362,73 m – IBU RX-02” (LMCC N° 3177-21). Aspecto geral da camada tipo A. Polarização simples.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 44** - “Caixa 319 – 362,60 a 362,73 m – IBU RX-02” (LMCC N° 3177-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada, com condensador.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 45** - “Caixa 319 – 362,60 a 362,73 m – IBU RX-02” (LMCC N° 3177-21). Aspecto geral da camada tipo B. Polarização simples.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 46** - “Caixa 319 – 362,60 a 362,73 m – IBU RX-02” (LMCC N° 3177-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada, com condensador.



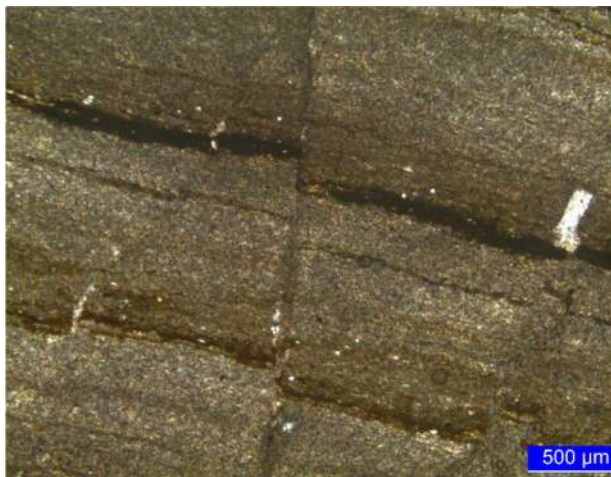
Fonte: equipe do LMPC



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

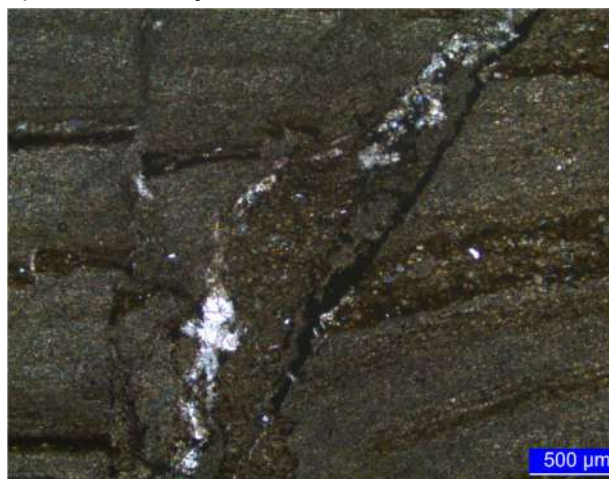
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Fotomicrografia 47** - “Caixa 319 – 362,60 a 362,73 m – IBU RX-02” (LMCC N° 3177-21). Ao centro da imagem, falha. Polarização simples.



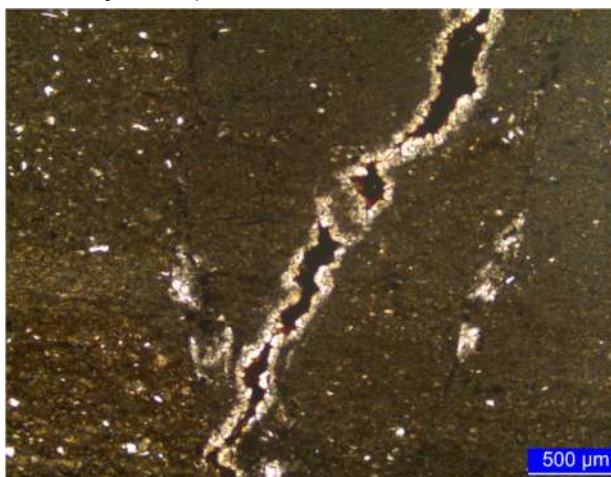
Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 48** - “Caixa 319 – 362,60 a 362,73 m – IBU RX-02” (LMCC N° 3177-21). Outra região apresentando fraturas e falhas parcialmente preenchidas por carbonato esparítico e material opaco. Polarização cruzada, com condensador.



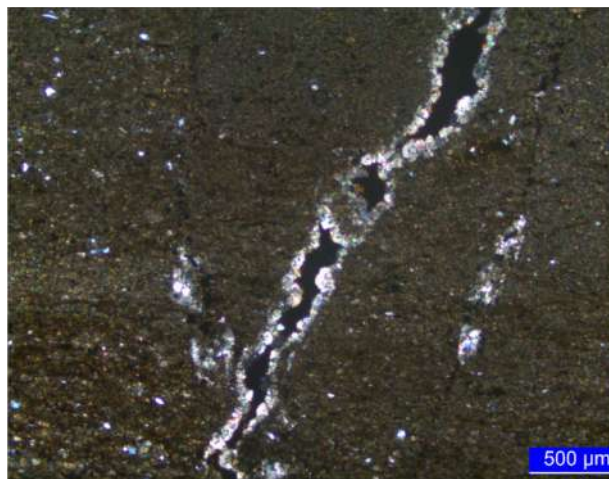
Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 49** - “Caixa 319 – 362,60 a 362,73 m – IBU RX-02” (LMCC N° 3177-21). Ao centro da imagem, fratura parcialmente preenchida por carbonato e material opaco. Polarização simples.



Fonte: equipe do LMPC

**Fotomicrografia 50** - “Caixa 319 – 362,60 a 362,73 m – IBU RX-02” (LMCC N° 3177-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.



Fonte: equipe do LMPC



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Fotomicrografia 51** - “Caixa 319 – 362,60 a 362,73 m – IBU RX-02” (LMCC N° 3177-21). Ao centro da imagem, presença de oólito. Polarização cruzada.



Fonte: equipe do LMPC

**EQUIPE TÉCNICA**

Engenheiro Químico Sérgio Soares de Lima – IPT  
Geóloga Mestre Priscila Rodrigues Melo Leal – IPT  
Geóloga Natasha da Silveira Pinto – FIPT  
Técnico Nilson de Paula – FIPT  
Técnico Químico Daniel Polato Malvestuto – FIPT  
Técnico Químico Jilson Cardoso - IPT

São Paulo, 23 de setembro de 2021.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**  
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção

Geol. MSc. Priscila Rodrigues Melo Leal  
Pesquisadora  
CREA n° 5061868349 – NRE 8477  
**Assinado Digitalmente**

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**  
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção

Químico Me. Fabiano Ferreira Chotoli  
Gerente Técnico  
CRQ n° 04243178 – NRE n° 8488  
**Assinado Digitalmente**

**ANEXO E**  
**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 125 987-203 - LABORATÓRIO**  
**DE MATERIAIS PARA PRODUTOS DE CONSTRUÇÃO**

## RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 125 987-203

**CLIENTE: BRASKEM S.A**  
**CNPJ 42.150.391/0001-70**

**MATERIAL: Testemunhos de sondagem rotativa em rocha.**



**NATUREZA DO TRABALHO: Caracterização petrográfica.**

**REFERÊNCIA: Proposta técnica comercial Nº 35760/19 e contratos Braskem Nº 4600022941 e IPT Nº 5647.**

### 1 MATERIAL

Material recebido no Laboratório de Materiais para Produtos de Construção (LMPC) do IPT em 07.06.2021. Na Tabela 1, a seguir, constam informações complementares referentes à identificação do material.

**Tabela 1 - Identificação dos materiais.**


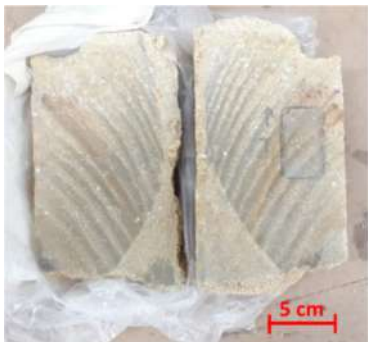
Identificação da Amostra		Foto <sup>(1)</sup>	Testemunho e lâmina <sup>(2)</sup>
Designação do cliente	LMPC nº		
Caixa 123 – 179,34 a 179,54 m - MOS	3164-21		

Continua

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 1 - Identificação dos materiais. Continuação.**

Identificação da Amostra		Foto <sup>(1)</sup>	Testemunho e lâmina <sup>(2)</sup>
Designação do cliente	LMPC n°		
Caixa 226 – 275,62 a 275,76 m - MRT	3165-21		
Caixa 349 – 388,14 a 388,30 m - PAR	3166-21		
Caixa 294 – 344,67 a 344,83 m – IBU	3168-21		
Caixa 9 – 46,60 a 46,79 m – BAR ARN	3169-21		

Continua...

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibração.  
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 1** - Identificação dos materiais. Continuação.

Identificação da Amostra		Foto <sup>(1)</sup>	Testemunho e lâmina <sup>(2)</sup>
Designação do cliente	LMPC n°		
Caixa 519 – 530,50 a 530,61 m - PCGL	3173-21		
Caixa 956 – 878,65 a 878,85 m - TMS	3174-21		

**Observações:** 1 – Fotos obtidas após o corte da amostra em meia-cana, com indicação local onde foram retirados os testemunhos para confecção de lâmina. 2 – Dimensão da lâmina: 2,5 cm X 4,0 cm.

## 2 MÉTODOS UTILIZADOS

Análise petrográfica, conforme ABNT NBR 15845-1:2015 - “Rochas para revestimento - Análise petrográfica” (Procedimento IPT254 - Revisão 10 de 08.05.2020). A classificação petrográfica seguiu os critérios propostos por <sup>1</sup>PETTIJOHN (1983).

<sup>1</sup>PETTIJOHN, F. J. **Sedimentary Rocks**. HarperCollins; 3rd ed. 526 p. 1983.



Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Análise petrográfica

Os resultados das análises petrográficas encontram-se nas tabelas 2 a 8 e nas fotomicrografias 1 a 42, a seguir.

**Tabela 2** - Resultados da análise petrográfica (ABNT NBR 15845:2015 - Parte 1) para “Caixa 123 – 179,34 a 179,54 m - MOS” (LMCC N° 3164-21), finalizada em 29.07.2021.

---

**MATERIAL:** Testemunho de sondagem

---

#### DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS:** rocha coerente

**<sup>2</sup>COR: condição seca:** cinza muito claro (N8)

**condição úmida:** cinza oliva claro (5Y6/1)

**ESTRUTURA:** maciça

**DESCONTINUIDADES:** não detectadas.

**MATERIAL DE PREENCHIMENTO:** não se aplica

---

#### DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA - Lâmina IPT n° 12.371

**COMPOSIÇÃO:** (avaliação visual - %)

Arcabouço (quartzo detrítico)	10-15
Matriz micrítica	85
Vazios	<5

**NATUREZA:** Sedimentar

**TEXTURA:** grãos angulosos, baixa esfericidade.

**ARRANJO:** empacotamento flutuante, matriz micrítica, porosidade vugular

**GRANULAÇÃO:** Fina, com grãos do arcabouço apresentando diâmetro de 10µm a 250 µm e matriz micrítica; grãos de sulfetos (possível pirita) de <5 µm a 20 µm.

**ESTADO MICROFISSURAL:** Não foram detectadas microfissuras.

**ALTERAÇÃO:** Material opaco (possível pirita) parcialmente alterado em hidróxidos de ferro.

**CONSIDERAÇÕES:** A rocha apresenta arcabouço composto por quartzo detrítico, anguloso e com baixa esfericidade, em empacotamento flutuante, sustentado pela matriz micrítica de lama carbonática. Porosidade do tipo vugular, com poros pouco comuns. Presença de autoclastos. Em

---

<sup>2</sup> Cor determinada segundo: Rock-Color Chart Committee, Geological Society of America and Rock-Color Chart Committee. 1963. **Rock-color chart**. Geological Society of America, New York. 9p.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

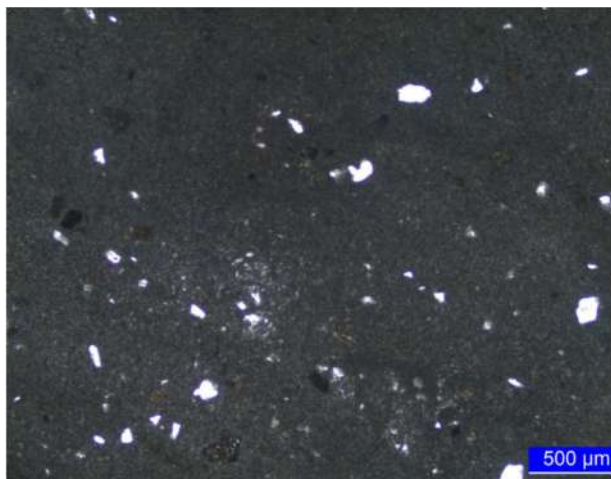
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

meio à lama carbonática, ocorre material opaco (possível pirita), idiomórfico, parcialmente alterado em hidróxidos de ferro, mais comum em zona de forma indefinida, na porção central da lâmina. Por vezes, opacos formam aglomerados de até 120 µm. Ankerita identificada por DRX.

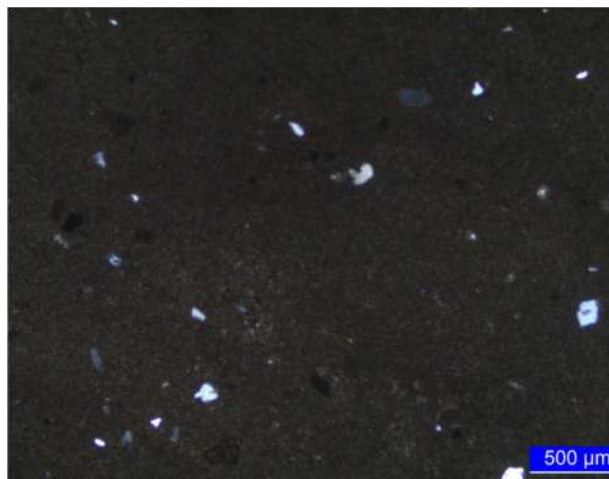
---

**CLASSIFICAÇÃO: dolomito ankerítico impuro**

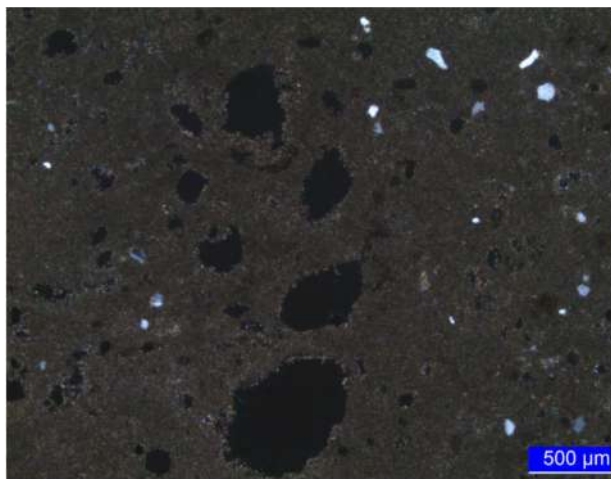
---



**Fotomicrografia 1** - “Caixa 123 – 179,34 a 179,54 m - MOS” (LMCC N° 3164-21). Aspecto geral. Polarização simples.



**Fotomicrografia 2** - “Caixa 123 – 179,34 a 179,54 m - MOS” (LMCC N° 3164-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.



**Fotomicrografia 3** - “Caixa 123 – 179,34 a 179,54 m - MOS” (LMCC N° 3164-21). Em preto, porosidade vulgular. Polarização cruzada.



**Fotomicrografia 4** - “Caixa 123 – 179,34 a 179,54 m - MOS” (LMCC N° 3164-21). Ao centro da imagem, grão de mineral opaco (possível pirita), parcialmente alterada em hidróxidos de ferro. Polarização cruzada.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 3** - Resultados da análise petrográfica (ABNT NBR 15845:2015 - Parte 1) para “Caixa 226 – 275,62 a 275,76 m - MRT” (LMCC N° 3165-21), finalizada em 29.07.2021.

---

**MATERIAL:** Testemunho de sondagem

---

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS:** rocha coerente

**<sup>3</sup>COR: condição seca:** cinza claro (N8)

**condição úmida:** cinza médio (N5)

**ESTRUTURA:** maciça

**DESCONTINUIDADES:** não detectadas.

**MATERIAL DE PREENCHIMENTO:** não se aplica

---

**DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA - Lâmina IPT n° 12.372**

**COMPOSIÇÃO:** (avaliação visual - %)

Arcabouço (quartzo detrítico)	50-55
-------------------------------	-------

Ortomatriz	30
------------	----

Vazios	15-20
--------	-------

**NATUREZA:** Sedimentar

**TEXTURA:** grãos mal selecionados, predominantemente angulosos e equidimensionais.

**ARRANJO:** empacotamento pontual a tangencial, ortomatriz parcialmente recristalizada, porosidade intersticial.

**GRANULAÇÃO:** Fina, com grãos do arcabouço apresentando diâmetro de 10µm a 2,6 µm.

**ESTADO MICROFISSURAL:** Fraco microfissuramento intragranular (em quartzo), sem preenchimento.

**ALTERAÇÃO:** Raros grãos de feldspato fortemente alterados.

**CONSIDERAÇÕES:** A rocha apresenta arcabouço composto predominantemente por quartzo (localmente com extinção ondulante, por vezes fraturado) e raro feldspato (fortemente alterado), como grãos predominantemente angulosos e equidimensionais, em empacotamento clasto suportado pontual a tangencial, com presença de ortomatriz parcialmente recristalizada, composta por filossilicatos e pouca quantidade de areia fina e silte. Vazios ocorrem em abundância, com poros intersticiais formados por heterogeneidade na distribuição da matriz. Notam-se regiões com concentração de material opaco (possível matéria orgânica) heterogeneamente distribuídas pela matriz.

---

**CLASSIFICAÇÃO: Arenito**

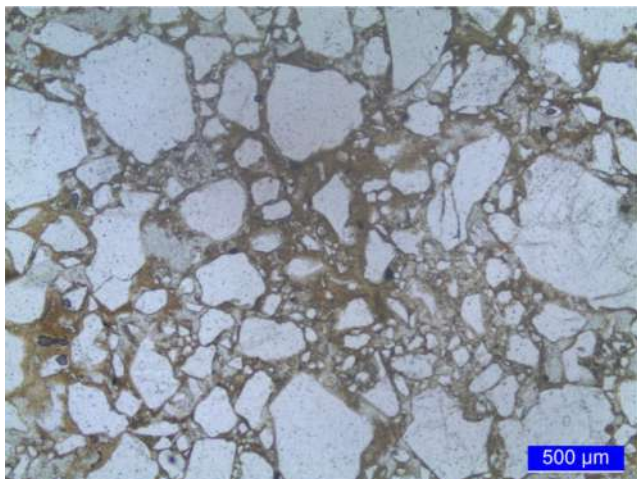
---

<sup>3</sup> Cor determinada segundo: Rock-Color Chart Committee, Geological Society of America and Rock-Color Chart Committee. 1963. **Rock-color chart**. Geological Society of America, New York. 9p.

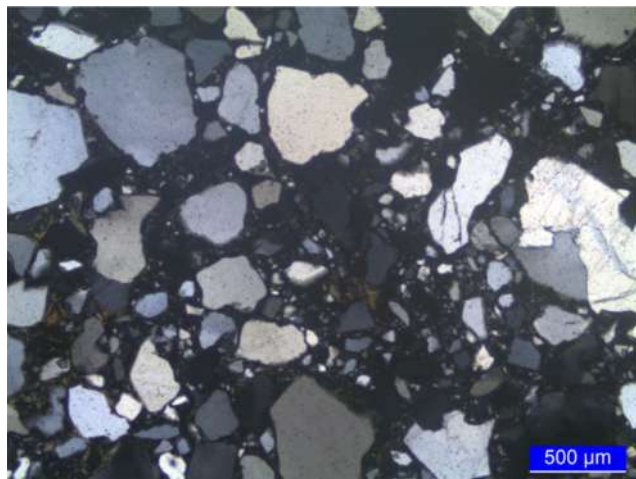


**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

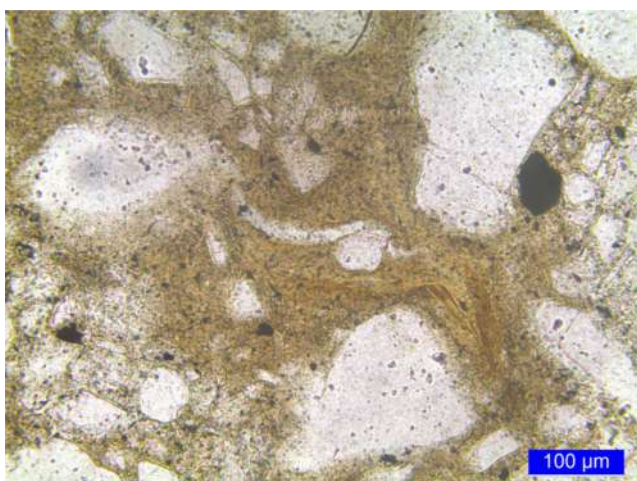
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações



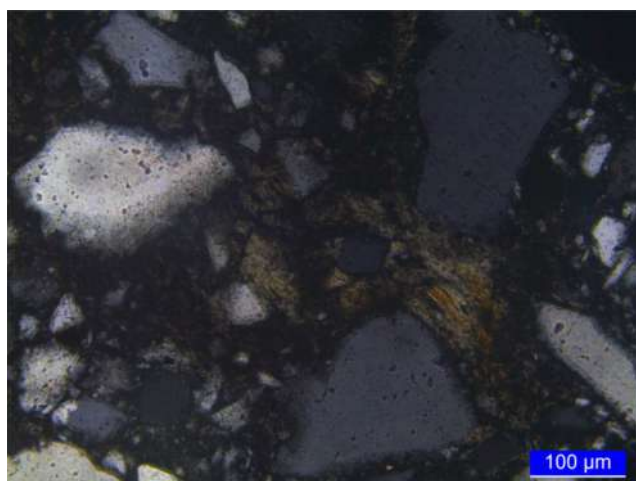
**Fotomicrografia 5** - “Caixa 226 – 275,62 a 275,76 m - MRT” (LMCC N° 3165-21). Aspecto geral. Polarização simples.



**Fotomicrografia 6** - “Caixa 226 – 275,62 a 275,76 m - MRT” (LMCC N° 3165-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.



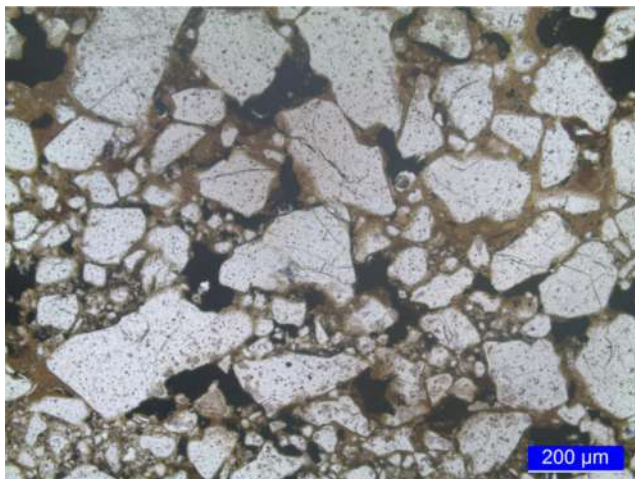
**Fotomicrografia 7** - “Caixa 226 – 275,62 a 275,76 m - MRT” (LMCC N° 3165-21). Aspecto geral da ortomatriz filossilicática. Polarização simples.



**Fotomicrografia 8** - “Caixa 226 – 275,62 a 275,76 m - MRT” (LMCC N° 3165-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações



**Fotomicrografia 9** - “Caixa 226 – 275,62 a 275,76 m - MRT” (LMCC N° 3165-21). Em preto, regiões com concentração de material opaco (possível matéria orgânica). Polarização simples.



**Fotomicrografia 10** - “Caixa 226 – 275,62 a 275,76 m - MRT” (LMCC N° 3165-21). Ao centro da imagem, material opaco (possível matéria orgânica). Polarização simples, com condensador.

**Tabela 4** - Resultados da análise petrográfica (ABNT NBR 15845:2015 - Parte 1) para “Caixa 349 – 388,14 a 388,30 m - PAR” (LMCC N° 3166-21), finalizada em 29.07.2021.

**MATERIAL:** Testemunho de sondagem

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS:** rocha coerente

**<sup>4</sup>COR: condição seca:** cinza claro (N7)

**condição úmida:** cinza oliva claro (5Y6/1)

**ESTRUTURA:** maciça

**DESCONTINUIDADES:** não detectadas.

**MATERIAL DE PREENCHIMENTO:** não se aplica

<sup>4</sup> Cor determinada segundo: Rock-Color Chart Committee, Geological Society of America and Rock-Color Chart Committee. 1963. **Rock-color chart**. Geological Society of America, New York. 9p



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA - Lâmina IPT n° 12.373**

**COMPOSIÇÃO:** (avaliação visual - %)

Arcabouço (quartzo e feldspato)	55
Pseudomatriz	20
Cimento	20-25
Vazios	<5

**NATUREZA:** Sedimentar

**TEXTURA:** grãos angulosos, baixa esfericidade.

**ARRANJO:** empacotamento clasto suportado pontual a tangencial, localmente flutuante, porosidade intersticial.

**GRANULAÇÃO:** Fina a média, com grãos do arcabouço apresentando: quartzo até 1,6 mm, feldspatos até 1,8 mm e fragmentos líticos de até 5,0 mm; carbonato da matriz esparítica medindo até 650 µm.

**ESTADO MICROFISSURAL:** Não foram detectadas microfissuras.

**ALTERAÇÃO:** Grãos de feldspato parcialmente alterados, pirita parcialmente alterada em hidróxidos de ferro. Presença pontual de argilominerais verdes na pseudomatriz.

**CONSIDERAÇÕES:** A rocha apresenta arcabouço composto predominantemente por quartzo (comumente deformado, com extinção ondulante) e raro feldspato (fortemente alterado), como grãos predominantemente angulosos e com baixa esfericidade, em empacotamento clasto suportado pontual a tangencial, localmente flutuante, com matriz filossilicática, predominantemente pseudomatriz, com presença de pelotas de lama carbonática (localmente contendo silte quartzo-feldspático e mica). Cimento carbonático esparítico, com cristais bem formados, por vezes apresentando sobrecrecimento. Presença de pirita idiomórfica a subidiomórfica em meio a matriz e cimento, parcialmente alterada em hidróxidos de ferro. Também na matriz, nota-se ocorrência de filossilicatos verdes, clorita e argilominerais verdes. Vazios são formados por dissolução parcial da matriz, diretamente associados a alteração de pirita em hidróxidos de ferro. Presença de pirita foi confirmada por Difractometria de Raios X.

---

**CLASSIFICAÇÃO: Arcósio com cimento carbonático e pseudomatriz lamítica**

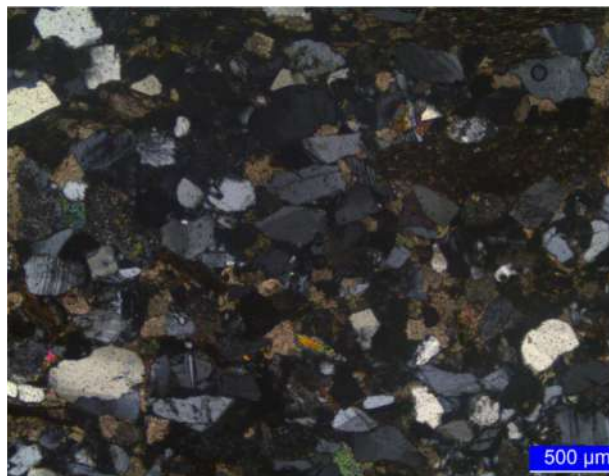
---

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

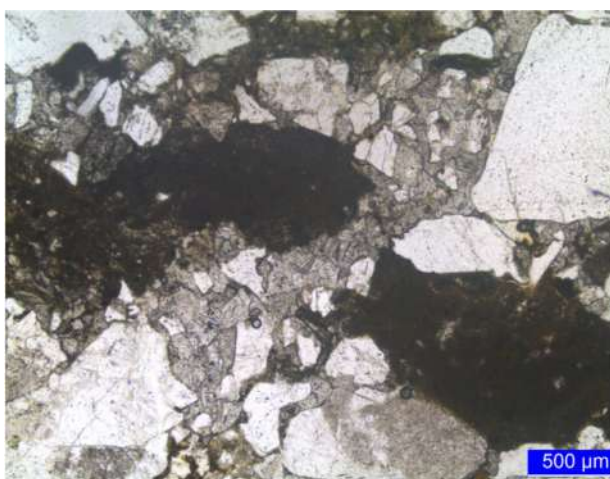
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações



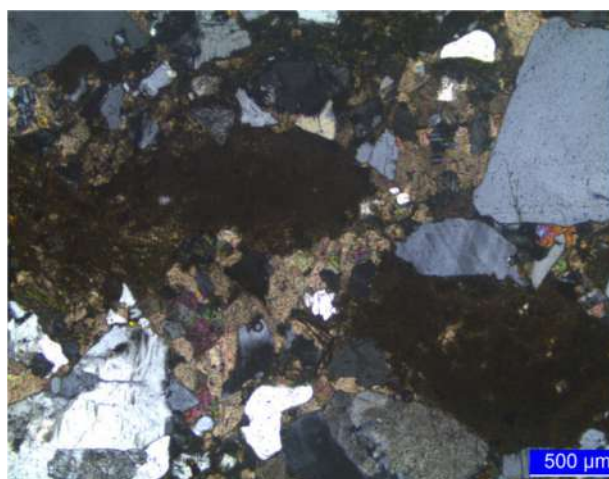
**Fotomicrografia 11** - “Caixa 349 – 388,14 a 388,30 m - PAR” (LMCC N° 3166-21). Aspecto geral. Polarização simples.



**Fotomicrografia 12** - “Caixa 349 – 388,14 a 388,30 m - PAR” (LMCC N° 3166-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.



**Fotomicrografia 13** - “Caixa 349 – 388,14 a 388,30 m - PAR” (LMCC N° 3166-21). Pelotas de lama (em marrom escuro). Polarização simples.



**Fotomicrografia 14** - “Caixa 349 – 388,14 a 388,30 m - PAR” (LMCC N° 3166-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.

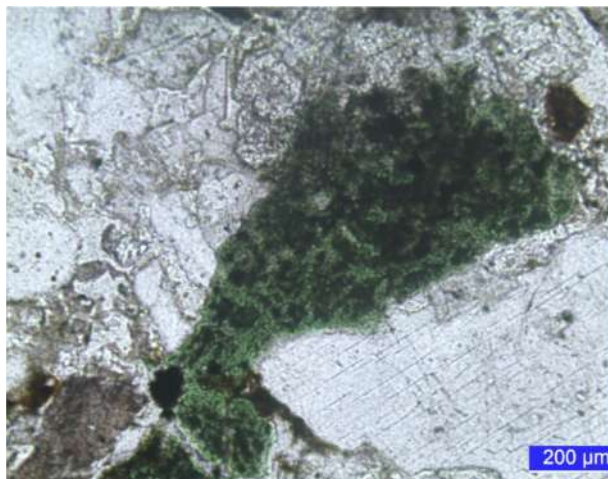


**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

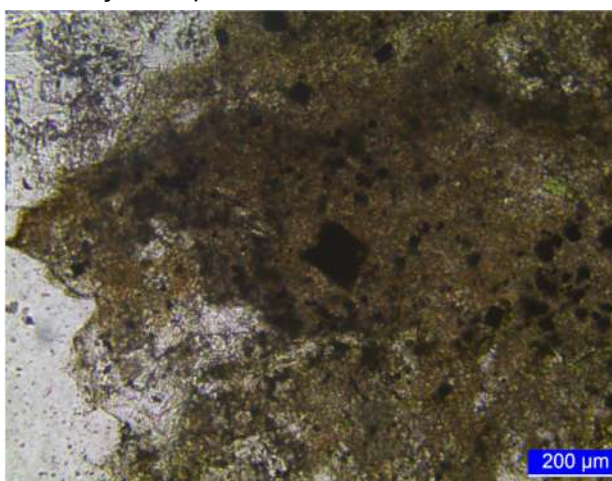
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações



**Fotomicrografia 15** - “Caixa 349 – 388,14 a 388,30 m - PAR” (LMCC N° 3166-21). Ao centro da imagem, pelota de lama com presença de silte. Polarização simples.



**Fotomicrografia 16** - “Caixa 349 – 388,14 a 388,30 m - PAR” (LMCC N° 3166-21). Ao centro da imagem, ocorrência de argilominerais verdes. Polarização simples.



**Fotomicrografia 17** - “Caixa 349 – 388,14 a 388,30 m - PAR” (LMCC N° 3166-21). Ao centro da imagem, mineral opaco (provável pirita). Polarização simples.



**Fotomicrografia 18** - “Caixa 349 – 388,14 a 388,30 m - PAR” (LMCC N° 3166-21). Vazios de dissolução formados por alteração de provável pirita. Polarização simples.

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 5** - Resultados da análise petrográfica (ABNT NBR 15845:2015 - Parte 1) para “Caixa 294 – 344,67 a 344,83 m – IBU” (LMCC N° 3168-21), finalizada em 29.07.2021.

**MATERIAL:** Testemunho de sondagem

### DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS:** rocha coerente

**<sup>5</sup>COR: condição seca:** cinza médio (N5)

**condição úmida:** preto oliva (5Y2/1)

**ESTRUTURA:** acamadada

**DESCONTINUIDADES:** cavidades subcentimétricas formadas por dissolução, fraturas tardi-deposicionais ou pré-litificação.

**MATERIAL DE PREENCHIMENTO:** cavidades parcialmente preenchidas por cristais de calcita e fraturas preenchidas por material da própria rocha ou, por vezes carbonato esparítico.

### DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA - Lâmina IPT n° 12.374

**COMPOSIÇÃO:** (avaliação visual - %)

Oólitos	60
Lama carbonática	30
Opacos (possível matéria orgânica)	10

**NATUREZA:** Sedimentar

**TEXTURA:** oolítica, matriz micrítica pontualmente dismicrítica.

**GRANULAÇÃO:** Fina, com oólitos de até 150 µm, em matriz predominantemente micrítica.

**ESTADO MICROFISSURAL:** Não foram detectadas microfissuras.

**ALTERAÇÃO:** Não foram detectados indícios de alteração.

**CONSIDERAÇÕES:** A rocha corresponde a uma intercalação rítmica entre camadas com diferentes quantidades de oólitos, lama carbonática e material opaco (possível matéria orgânica). Oólitos apresentam-se zonados, com núcleo composto por micropontuações de material opaco (possível matéria orgânica) em meio a carbonato, enquanto a borda é composta por carbonato micrítico. Muito raramente, ocorrem oólitos com carbonato esparítico no centro. A matriz é composta por lama carbonática micrítica, pontualmente dismicrítica. Ocorre concentração de material opaco (possível matéria orgânica) nos interstícios entre oólitos, em concentração variável ao longo das camadas. Presença de cavidades de dissolução, parcialmente preenchidas por carbonato esparítico. Notam-se fraturas que deformam o acamadamento, preenchidas por carbonato esparítico.

<sup>5</sup> Cor determinada segundo: Rock-Color Chart Committee, Geological Society of America and Rock-Color Chart Committee. 1963. **Rock-color chart**. Geological Society of America, New York. 9p.



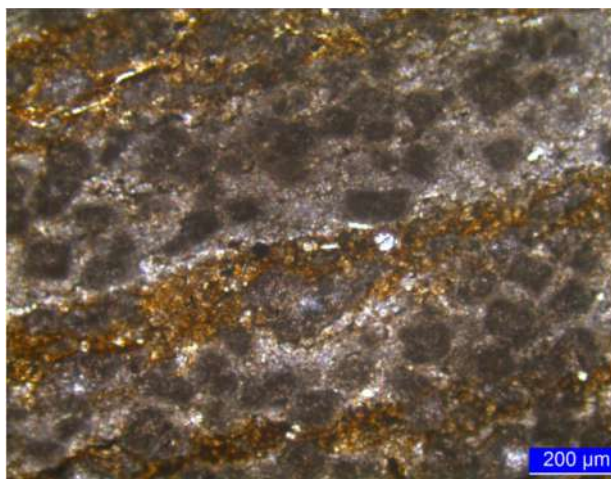
**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

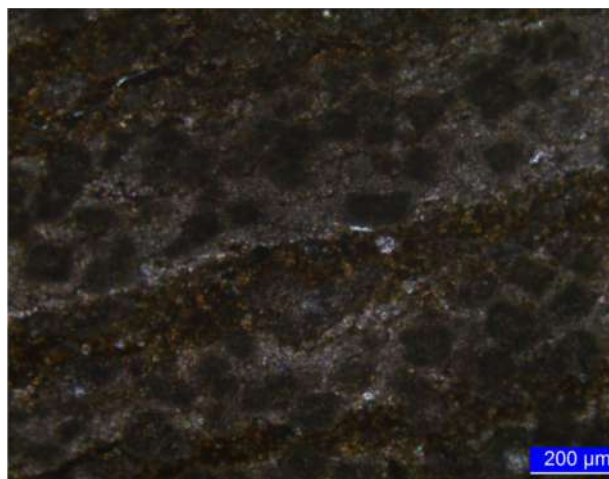
---

**CLASSIFICAÇÃO: Oomicrito / Ritimito**

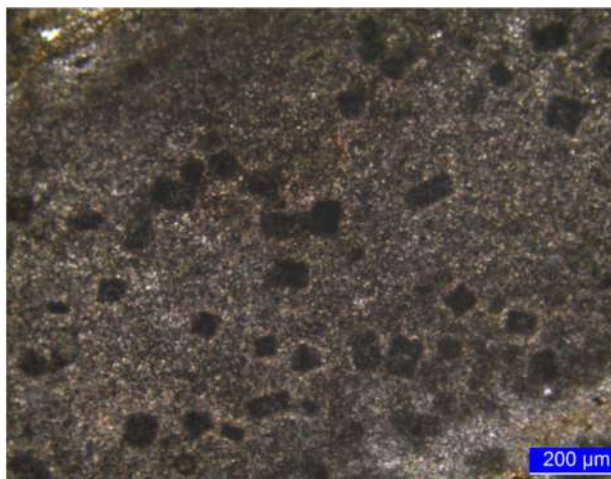
---



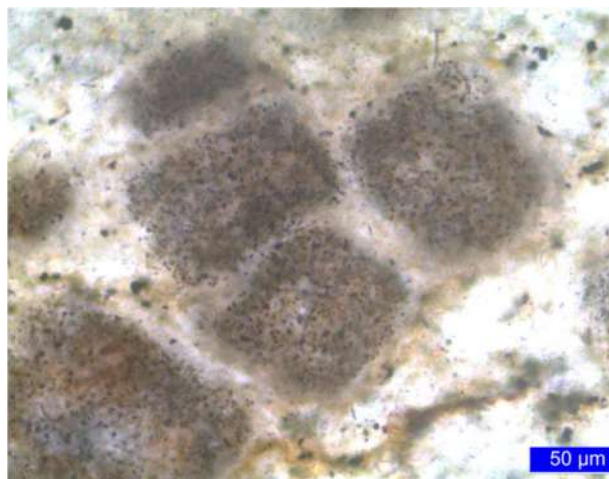
**Fotomicrografia 19** - “Caixa 294 – 344,67 a 344,83 m – IBU” (LMCC Nº 3168-21) Aspecto geral da rocha. Polarização simples.



**Fotomicrografia 20** - “Caixa 294 – 344,67 a 344,83 m – IBU” (LMCC Nº 3168-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.



**Fotomicrografia 21** - “Caixa 294 – 344,67 a 344,83 m – IBU” (LMCC Nº 3168-21) Aspecto geral dos oólitos. Polarização cruzada.

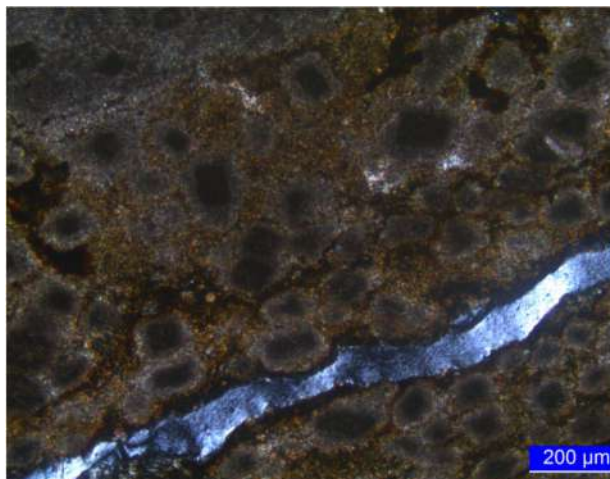


**Fotomicrografia 22** - “Caixa 294 – 344,67 a 344,83 m – IBU” (LMCC Nº 3168-21). Maior detalhe dos oólitos. Notar micropontuações de opacos no núcleo. Polarização simples, com condensador.

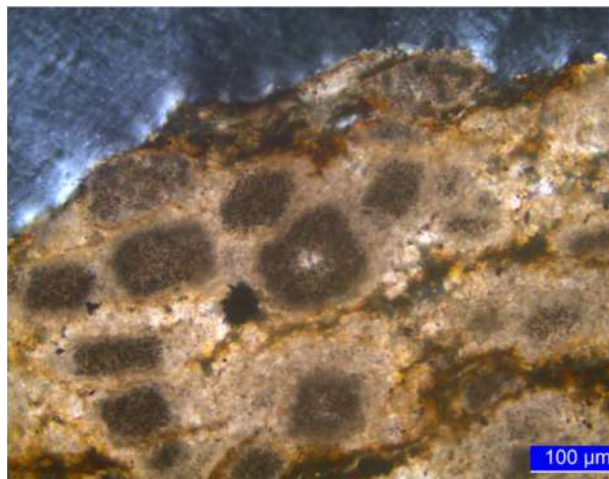


**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

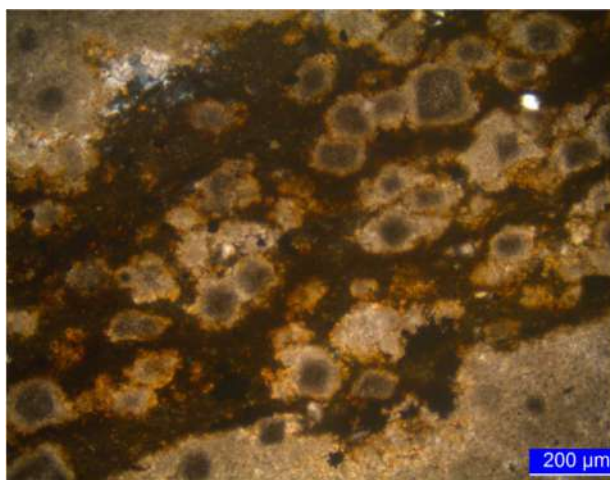
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações



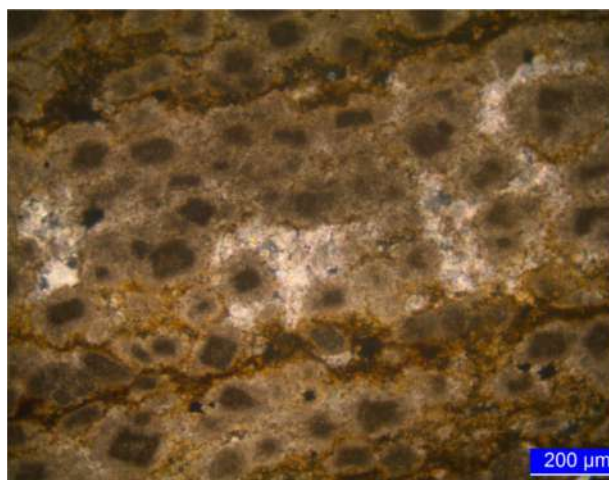
**Fotomicrografia 23** - “Caixa 294 – 344,67 a 344,83 m – IBU” (LMCC N° 3168-21) Outra região destacando o padrão zonado dos oólitos. Polarização cruzada.



**Fotomicrografia 24** - “Caixa 294 – 344,67 a 344,83 m – IBU” (LMCC N° 3168-21). Ao centro da imagem, oólito com núcleo esparítico. Polarização simples, com condensador.



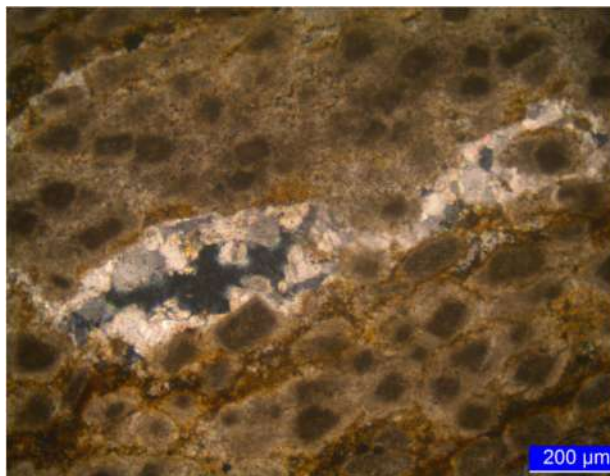
**Fotomicrografia 25** - “Caixa 294 – 344,67 a 344,83 m – IBU” (LMCC N° 3168-21) Camada com concentração de possível matéria orgânica. Polarização cruzada, com condensador.



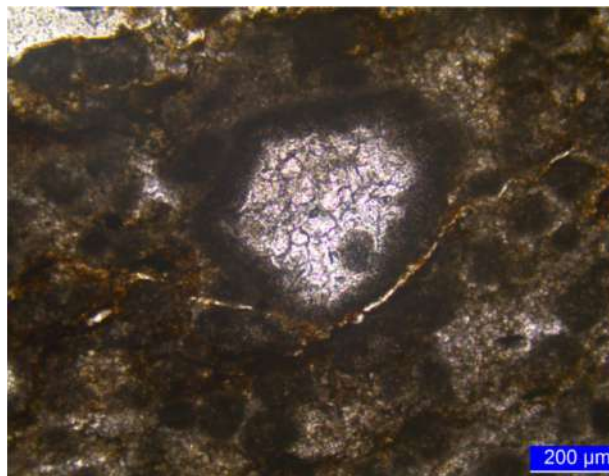
**Fotomicrografia 26** - “Caixa 294 – 344,67 a 344,83 m – IBU” (LMCC N° 3168-21). Porção desmicrítica da matriz. Polarização cruzada, com condensador.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações



**Fotomicrografia 27** - “Caixa 294 – 344,67 a 344,83 m – IBU” (LMCC N° 3168-21). Ao centro da imagem, cavidade parcialmente preenchida por carbonato esparítico. Polarização cruzada, com condensador.



**Fotomicrografia 28** - “Caixa 294 – 344,67 a 344,83 m – IBU” (LMCC N° 3168-21). Ao centro da imagem, outra cavidade preenchida por carbonato esparítico. Polarização simples.

**Tabela 6** - Resultados da análise petrográfica (ABNT NBR 15845:2015 - Parte 1) para “Caixa 9 – 46,60 a 46,79 m – BAR ARN” (LMCC N° 3169-21), finalizada em 29.07.2021.

**MATERIAL:** Testemunho de sondagem

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS:** rocha coerente

**°COR: condição seca:** laranja muito claro (10YR8/2)

**condição úmida:** laranja acinzentado (10YR7/4)

**ESTRUTURA:** maciça

**DESCONTINUIDADES:** não detectadas.

**MATERIAL DE PREENCHIMENTO:** não se aplica.

**DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA - Lâmina IPT n° 12.375**

**COMPOSIÇÃO:** (avaliação visual - %)

Arcabouço (quartzo, feldspato, titanita, hornblenda e f. líticos)	70
Protomatriz	20
Vazios	10

<sup>6</sup> Cor determinada segundo: Rock-Color Chart Committee, Geological Society of America and Rock-Color Chart Committee. 1963. **Rock-color chart**. Geological Society of America, New York. 9p.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibração.  
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.



**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**NATUREZA:** Sedimentar

**TEXTURA:** grãos angulosos, baixa esfericidade.

**ARRANJO:** empacotamento clasto sustentado pontual, localmente tangencial, porosidade intersticial.

**GRANULAÇÃO:** Fina a média, predominantemente média, com grãos do arcabouço medindo de 40 µm a 8 mm.

**ESTADO MICROFISSURAL:** Fraco microfissuramento intragranular (em quartzo), sem preenchimento.

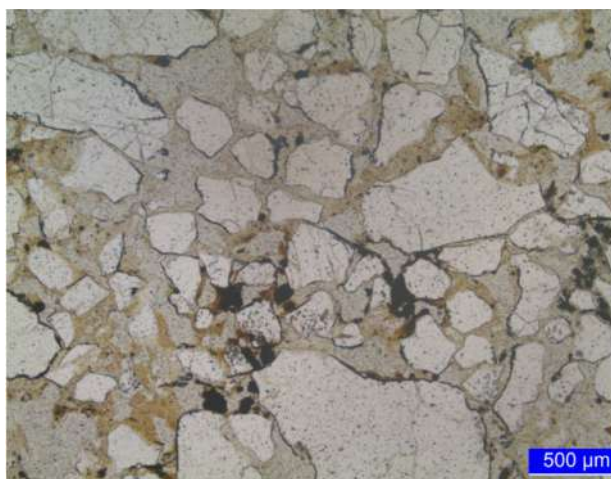
**ALTERAÇÃO:** Presença de hidróxidos de ferro associados a torrões de argila.

**CONSIDERAÇÕES:** A rocha é composta majoritariamente por grãos de quartzo (monocristalino, policristalino e, por vezes, apresentando textura mortar), com raro feldspato, titanita e hornblenda. Também ocorrem fragmentos líticos (muscovita-gnaiss), sustentada pelo arcabouço, em empacotamento pontual, localmente tangencial. Protomatriz composta por argila marrom comumente associada a opacos (possível matéria orgânica), por vezes ainda formando torrões de argila (vistos macro – sob lupa binocular - e microscopicamente, sempre associados a presença de hidróxidos de ferro). Boa parte da matriz parece ter sido lixiviada durante o processo de confecção. Vazios intersticiais, possivelmente formado por heterogeneidade no empacotamento ou por lixiviação da matriz. Material opaco corresponde predominantemente a matéria orgânica, com muito raros cristais idiomórficos (possível sulfeto), distribuídos de forma heterogênea aleatória.

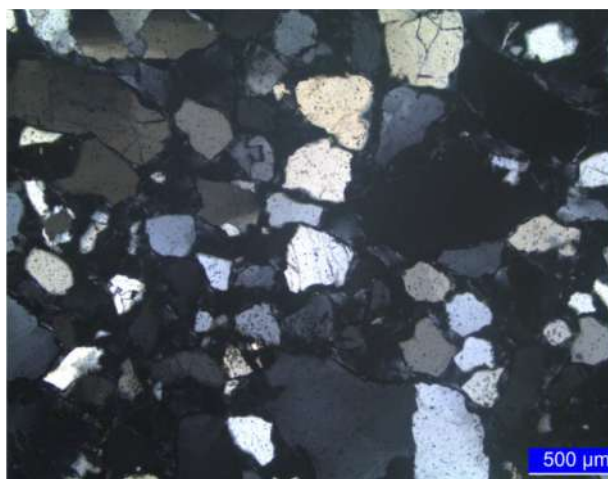
---

**CLASSIFICAÇÃO: Quartzo arenito**

---



**Fotomicrografia 29** - “Caixa 9 – 46,60 a 46,79 m – BAR ARN” (LMCC N° 3169-21). Aspecto geral da rocha. Polarização simples.



**Fotomicrografia 30** - “Caixa 9 – 46,60 a 46,79 m – BAR ARN” (LMCC N° 3169-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 7** - Resultados da análise petrográfica (ABNT NBR 15845:2015 - Parte 1) para “Caixa 519 – 530,50 a 530,61 m - PCGL” (LMCC N° 3173-21), finalizada em 29.07.2021.

**MATERIAL:** Testemunho de sondagem

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS:** rocha coerente

**<sup>7</sup>COR: condição seca:** cinza claro médio (N6)

**condição úmida:** cinza esverdeado escuro 5GY6/1)

**ESTRUTURA:** conglomerática

**DESCONTINUIDADES:** não detectadas.

**MATERIAL DE PREENCHIMENTO:** não se aplica.

**DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA - Lâmina IPT n° 12.376**

**COMPOSIÇÃO:** (avaliação visual - %)

Arcabouço (fragmentos líticos)	20
Matriz	65
Cimento	<5
Vazios	10-15

**NATUREZA:** Sedimentar

**TEXTURA:** arcabouço com seixos arredondados, alta esfericidade, e matriz com areia subangulosa, moderada a baixa esfericidade.

**ARRANJO:** suportado pela matriz, arcabouço em empacotamento flutuante, matriz em empacotamento tangencial, porosidade intersticial.

**GRANULAÇÃO:** Fina a grossa, com grãos do arcabouço medindo de 3,0 mm a 6,0 cm e grãos da matriz de 30 µm a 1,3 mm.

**ESTADO MICROFISSURAL:** Fraco microfissuramento intragranular e intergranular, parcialmente preenchida por hidróxidos de ferro.

**ALTERAÇÃO:** feldspatos turvos, parcial a totalmente alterados em sericita (principalmente nos fragmentos líticos), biotita verde raramente alterada em clorita, além de presença intersticial de argilominerais verdes.

<sup>7</sup> Cor determinada segundo: Rock-Color Chart Committee, Geological Society of America and Rock-Color Chart Committee. 1963. **Rock-color chart**. Geological Society of America, New York. 9p.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**CONSIDERAÇÕES:** A rocha apresenta arranjo desordenado, suportado pela matriz polimodal (areia e argila). Os seixos do arcabouço são compostos por fragmentos líticos (biotita gnaisse) com alto arredondamento e esfericidade, baixo grau de seleção, em empacotamento flutuante. A matriz consiste em grãos mal selecionados, subangulosos, moderada a baixa esfericidade, em empacotamento clasto suportado tangencial, compostos por fragmentos líticos (biotita gnaisse), quartzo (policristalino ou monocristalino deformado), feldspato alcalino, plagioclásio, carbonato e rara biotita. Cimento, quando presente, apresenta composição carbonática. Porosidade do tipo intersticial, causada por heterogeneidade de empacotamento. Material opaco consiste predominantemente em matéria orgânica, com presença pontual de possíveis sulfetos, em cristais idiomórficos, heterogeneamente dispersos na matriz lamítica.

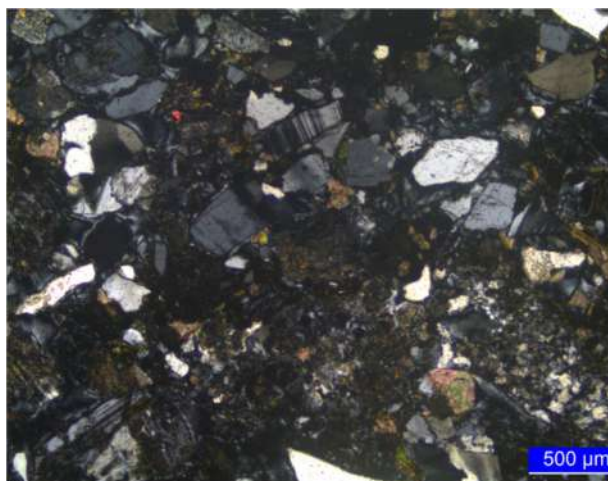
---

**CLASSIFICAÇÃO: Paraconglomerado com matriz arenosa e lamítica**

---



**Fotomicrografia 31** - “Caixa 519 – 530,50 a 530,61 m - PCGL” (LMCC N° 3173-21). Aspecto geral da rocha. Polarização simples.

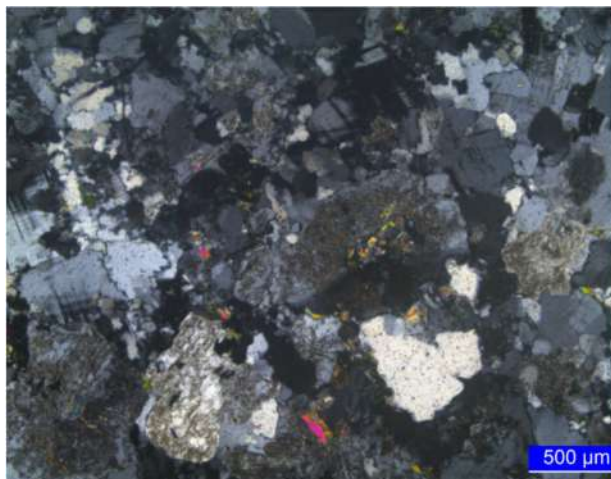


**Fotomicrografia 32** - “Caixa 519 – 530,50 a 530,61 m - PCGL” (LMCC N° 3173-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.

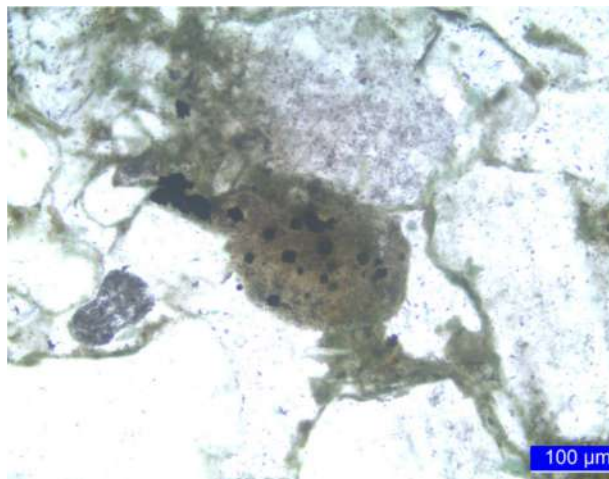


**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

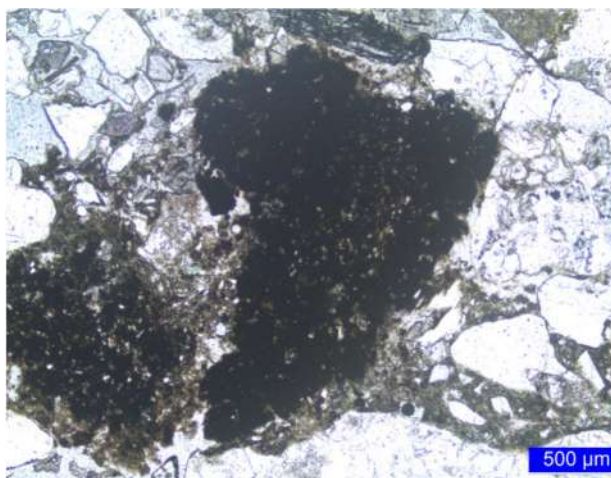
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações



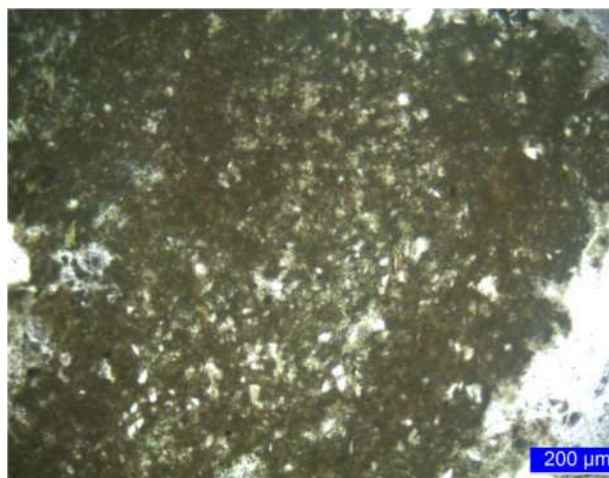
**Fotomicrografia 33** - “Caixa 519 – 530,50 a 530,61 m - PCGL” (LMCC N° 3173-21). Aspecto geral do fragmento lítico (biotita gnaisse). Polarização cruzada.



**Fotomicrografia 34** - “Caixa 519 – 530,50 a 530,61 m - PCGL” (LMCC N° 3173-21). Ao centro da imagem, matriz lamítica contendo possíveis sulfetos idiomórficos. Polarização simples, com condensador.



**Fotomicrografia 35** - “Caixa 519 – 530,50 a 530,61 m - PCGL” (LMCC N° 3173-21). Ao centro da imagem, concentração de matéria orgânica. Polarização simples.



**Fotomicrografia 36** - “Caixa 519 – 530,50 a 530,61 m - PCGL” (LMCC N° 3173-21). Maior detalhe da fotomicrografia anterior. Polarização simples, com condensador.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações

**Tabela 8** - Resultados da análise petrográfica (ABNT NBR 15845:2015 - Parte 1) para “Caixa 956 – 878,65 a 878,85 m - TMS” (LMCC N° 3174-21), finalizada em 29.07.2021.

**MATERIAL:** Testemunho de sondagem

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS:** rocha coerente

**<sup>8</sup>COR:** condição seca: cinza oliva (5Y4/1)

condição úmida: cinza oliva (5Y4/1)

**ESTRUTURA:** acamadada, plano-paralela

**DESCONTINUIDADES:** presença de veios

**MATERIAL DE PREENCHIMENTO:** carbonato (possível <sup>9</sup>calcita)

**DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA - Lâmina IPT n° 12.377**

**COMPOSIÇÃO:** (avaliação visual - %)

Arcabouço (quartzo, feldspatos, muscovita, clorita e biotita) 60-65

Matriz 35-40

**NATUREZA:** Sedimentar

**TEXTURA:** arcabouço com grãos angulosos e baixa esfericidade, matriz lamítica.

**ARRANJO:** suportado pela matriz, arcabouço em empacotamento flutuante.

**GRANULAÇÃO:** fina, com grãos do arcabouço medindo até 90 µm.

**ESTADO MICROFISSURAL:** não foram detectadas microfissuras.

**ALTERAÇÃO:** não foram detectadas evidências de alteração.

**CONSIDERAÇÕES:** A rocha apresenta intercalação rítmica, de contato abrupto, entre camadas com as seguintes características: a) lama carbonática (micrítica), em camadas de espessura de até 1,0 mm, com presença de material opaco (possível matéria orgânica no topo e na base); b) lama carbonática micrítica, com quantidade variada de grãos detríticos (diâmetro até 90 µm), subangulosos e de baixa esfericidade, predominantemente quartzo, muscovita e carbonato, em distribuição heterogênea aleatória, formando camadas de espessura até 1,9 mm; c) camadas de espessura até 600 µm, predominantemente detríticas, com grãos (diâmetro até 90 µm) de quartzo, feldspatos, muscovita, clorita e biotita, com baixo arredondamento e esfericidade, cimentação carbonática. Nota-se concentração de matéria orgânica, geralmente associada a camadas com presença de lama carbonática.

<sup>8</sup> Cor determinada segundo: Rock-Color Chart Committee, Geological Society of America and Rock-Color Chart Committee. 1963. **Rock-color chart**. Geological Society of America, New York. 9p.

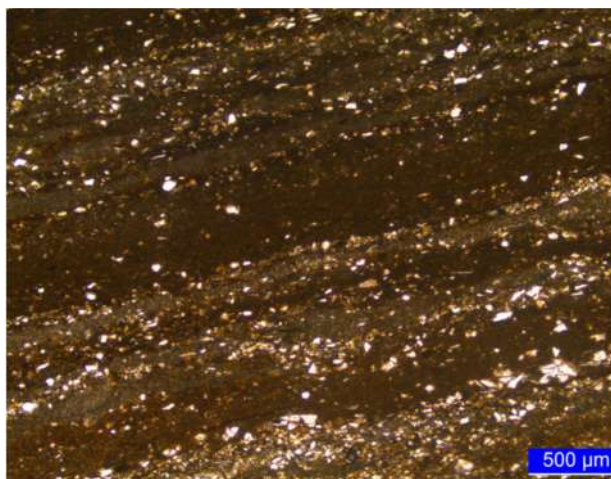
<sup>9</sup> Mineral apresenta efervescência quando submetido a teste com HCl 10% a frio.



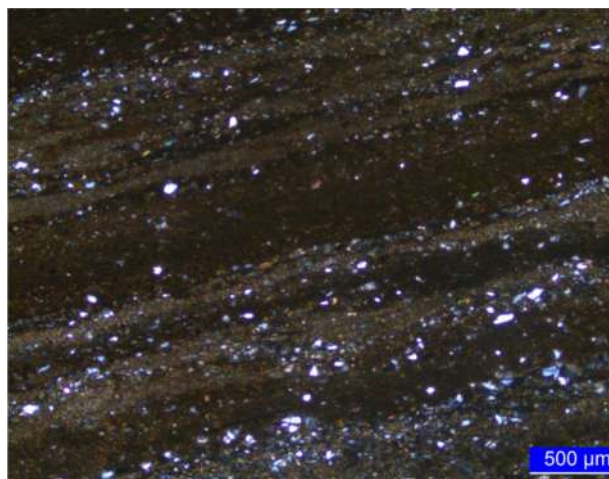
---

## CLASSIFICAÇÃO: Ritmito

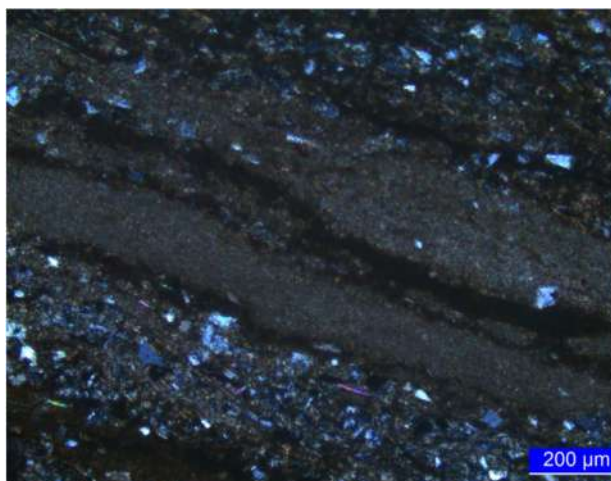
---



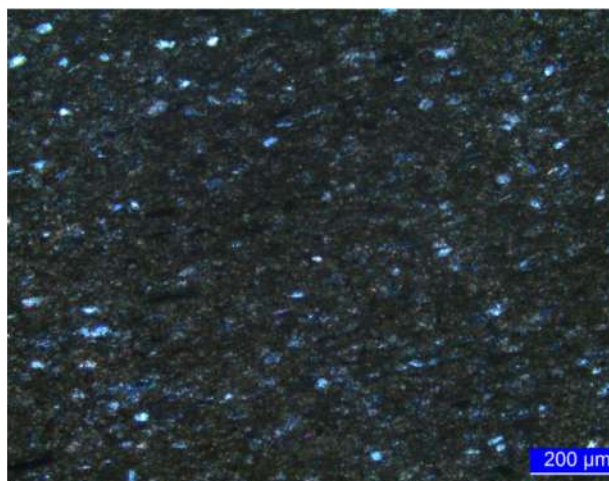
**Fotomicrografia 37** - “Caixa 956 – 878,65 a 878,85 m - TMS” (LMCC N° 3174-21). Aspecto geral da rocha. Polarização simples.



**Fotomicrografia 38** - “Caixa 956 – 878,65 a 878,85 m - TMS” (LMCC N° 3174-21). Mesmo aspecto da fotomicrografia anterior. Polarização cruzada.



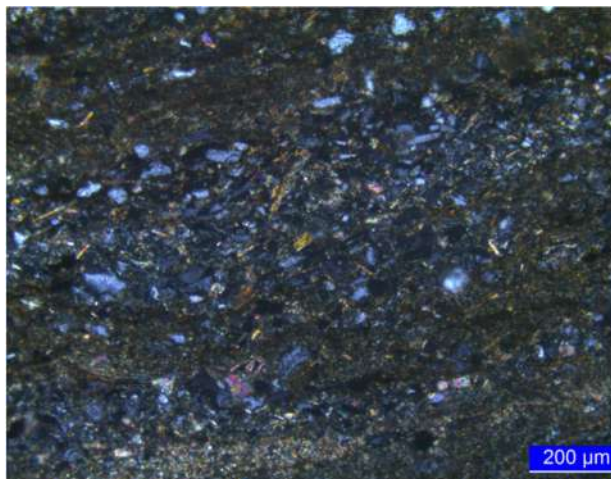
**Fotomicrografia 39** - “Caixa 956 – 878,65 a 878,85 m - TMS” (LMCC N° 3174-21). Ao centro da imagem, camada do tipo “a”. Polarização cruzada.



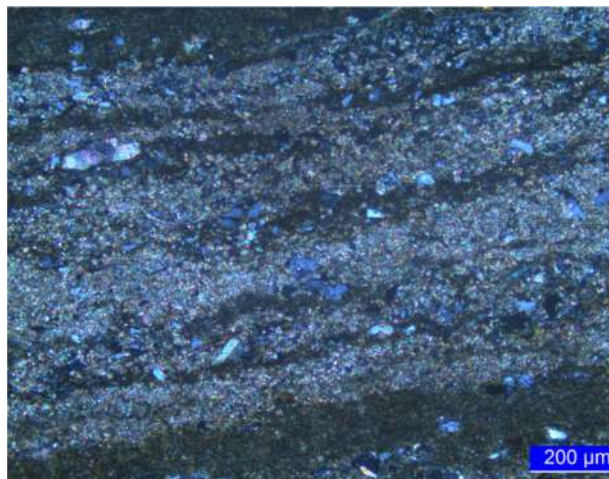
**Fotomicrografia 40** - “Caixa 956 – 878,65 a 878,85 m - TMS” (LMCC N° 3174-21). Camada do tipo “b”. Polarização cruzada.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção / Habitação e Edificações



**Fotomicrografia 41** - “Caixa 956 – 878,65 a 878,85 m - TMS” (LMCC N° 3174-21). Ao centro da imagem, outro exemplo de camada do tipo “b”. Polarização cruzada.



**Fotomicrografia 42** - “Caixa 956 – 878,65 a 878,85 m - TMS” (LMCC N° 3174-21). Camada do tipo “c”. Polarização cruzada.

**EQUIPE TÉCNICA**

Geóloga Natasha da Silveira Pinto –FIPT  
Geóloga Mestre Priscila Rodrigues Melo Leal – IPT  
Técnico Nilson de Paula– FIPT

São Paulo, 02 de agosto de 2021.

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**  
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção

Geol. MSc. Priscila Rodrigues Melo Leal  
Pesquisadora  
CREA n° 5061868349 – NRE 8477  
**Assinado Digitalmente**

**HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES**  
Laboratório de Materiais para Produtos de Construção

Químico Me. Fabiano Ferreira Chotoli  
Gerente Técnico  
CRQ n° 04243178 – NRE n° 8488  
**Assinado Digitalmente**