



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

Marília Dantas da Silva

**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO MACIÇO ROCHOSO E
FUNDAÇÕES EM ESTACAS EMBUTIDAS EM ROCHA**

Dissertação de Mestrado

Recife/PE

2013

Marília Dantas da Silva

**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO MACIÇO ROCHOSO E
FUNDAÇÕES EM ESTACAS EMBUTIDAS EM ROCHA**

Dissertação submetida ao Corpo Docente da
Coordenação do Mestrado de Engenharia
Civil da Universidade Federal de Pernambuco
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Civil.

Orientador

Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho

Coorientador

Dr. Werner Bilfinger

Recife, 2013

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

S586c Silva, Marília Dantas da.
Caracterização geotécnica do Maciço Rochoso e Fundações em estacas embutidas em rochas / Marília Dantas da Silva – Recife: O Autor, 2013.
169f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho.
Coorientador: Prof. Dr. Werner Bilfinger.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2013.
Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Caracterização de Maciço Rochoso. 3. Fundações em Rocha. 4. Estacas embutidas em Rocha. 5. I. Coutinho, Roberto Quental (Orientador). II. Bilfinger, Werner (Coorientador). III. Título.

624 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2014/ 267



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

defendida por

Marília Dantas da Silva

Considera a candidata APROVADA

Recife, 28 de fevereiro de 2013

Orientadores:

Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho
(orientador)

Dr. Werner Bilfinger
(co- Orientador)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho - UFPE
(orientador)

Prof.^a Dr.^a Bernadete Ragoni Danziger - UERJ
(examinadora externa)

Prof. Dr. André Pacheco de Assis - UnB
(examinador externo)

O Anjo Mais Velho

"O dia mente a cor da noite
E o diamante a cor dos olhos
Os olhos mentem dia e noite a dor da gente"

Enquanto houver você do outro lado
Aqui do outro eu consigo me orientar
A cena repete a cena se inverte
Enchendo a minha alma daquilo que outrora eu deixei de acreditar

Tua palavra, tua história
Tua verdade fazendo escola
E tua ausência fazendo silêncio em todo lugar

Metade de mim
Agora é assim
De um lado a poesia o verbo a saudade
Do outro a luta, a força e a coragem pra chegar ao fim
E o fim é belo incerto... Depende de como você vê
O novo, o credo, a fé que você deposita em você e só

Só enquanto eu respirar
Vou me lembrar de você
Só enquanto eu respirar...

O Teatro Mágico

A Deus,
Meus pais, Eronildo (*in memoriam*) e Maria da Hora;
meus irmãos e amigos Antônio e Marili Dantas,
dedico.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus pela força, coragem e aos anjos da terra que foram colocados em minha vida. Com honrosa satisfação agradeço a querida D. Zitinha que da forma mais angelical, carinhosa e compreensiva, me apoiou durante a realização deste propósito.

Ao professor e orientador Roberto Quental Coutinho, pela orientação, sugestões, dedicação, amizade e respeito demonstrado ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Ao co-orientador Werner Bilfinger, pelo grande auxílio dispensado nos ensinamentos e nas críticas e sugestões à pesquisa.

Aos professores da Universidade Federal de Pernambuco pelo apoio e incentivo recebidos no desenvolvimento deste trabalho, em especial aos professores Márcio Barros e Robson, do Departamento de Engenharia de Minas.

Aos meus grandes líderes Jeferson Brito e Rodrigo Amorim pelo apoio e incentivo, sem o qual este trabalho não teria sido possível.

Aos amigos de mestrado da área de geotecnia, pela constante amizade, contribuições e incentivo, em especial aos amigos, Débora Feijó e Diego Laranjeira.

Aos professores André Assis e Bernadete Danziger pela participação na banca examinadora.

Aos exemplos de amor, abnegação, simplicidade e dos muitos abraços nas horas mais precisas dos amigos Fernandha Batista, Tarciana Melo, Débora Feijó, Neidjane Gomes, agradeço. À compreensão, quando da minha ausência, e aos momentos extremamente prazerosos, agradeço aos amigos de coração Josana, Andrezza, Mariella, Janne, Juliane, Elie, Carol, Laura, Jafé, Gabriella, Amanda Maria, Luana, Omena, Louise e tantos outros.

Enfim, pela grande oportunidade de convívio com todos que acima citei e com aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram à realização deste objetivo, meus sinceros agradecimentos.

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO MACIÇO ROCHOSO E FUNDAÇÕES EM ESTACAS EMBUTIDAS EM ROCHA

RESUMO

Este trabalho tem como principal objetivo abordar a caracterização do maciço rochoso e o estudo das fundações em estaca raiz embutidas em rocha, evidenciando as particularidades e condicionalismos próprios que ocorrem nas várias fases da obra, desde a prospecção até a execução das fundações. A área de estudo está localizada na cidade de São Lourenço da Mata/PE, no embasamento pré-cambriano da região nordeste, denominada Província Borborema, formadas principalmente por granitos de diversas composições. As atividades desenvolvidas de investigação envolveram: a) campo: determinação do RQD e recuperação através dos testemunhos de sondagens, b) laboratório: determinação dos índices físicos (Massa Específica Seca e Saturada, Porosidade e Absorção de Água), determinação da resistência à Compressão Uniaxial, e a análise petrográfica. Para o controle das fundações em estacas foram realizados ensaios de prova de carga estática e ensaios de carregamento dinâmico, além do acompanhamento da sondagem expedita *rockdrill*. Os resultados dos ensaios de carregamento estático e dinâmico apresentaram-se satisfatórios, atingindo no mínimo duas vezes a carga de trabalho no carregamento máximo. A sondagem expedita com o *rockdrill* mostrou-se uma boa ferramenta de controle para este tipo de fundação, sendo também utilizada para confirmação do topo rochoso. A análise dos índices físicos se mostrou compatível com os existentes para este tipo de rocha e os maciços analisados apresentaram boas características para apoio de fundação.

Palavras Chaves: Caracterização de Maciço Rochoso. Fundações em Rocha. Estacas embutidas em rocha.

CHARACTERIZATION OF SOLID ROCKY AND PILE FOUNDATIONS EMBEDDED IN ROCK

ABSTRACT

This work has as main objective to approach the rock mass characterization and study of root pile foundations embedded in rock, highlighting the particularities and constraints that occur at various stages of the work, from prospection to the execution of foundations. The study area is located in the city of São Lourenço da Mata, State of Pernambuco, in the Precambrian basement of the northeast region, defined as Borborema Province, mainly formed by granites of different compositions. The research activities involved: a) field: determination of RQD and recuperation through samples, b) laboratory: determination of physical index (Dry and Saturated Specific Gravity, Porosity and Water Absorption), determination of Uniaxial Compressive strength, and petrographic analysis. For control of the foundations on piles were performed static load tests of and dynamic loading, and monitoring of the expeditious investigation with rockdrill. The results of tests of static and dynamic loading were successful, reaching at least twice the workload at peak loading. The expeditious investigation with rockdrill presented as a good control tool for this type of foundation, being also used to confirm the bedrock. The analysis of the physical index proved to be compatible with existing data for this type of rock and the analyzed rock mass showed good characteristics for foundation supporting.

Key Words: Characterization of rock mass. Foundations in rock. Pile foundations embedded in rock.

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1.	CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES.....	14
1.2.	OBJETIVOS	15
1.2.1.	Objetivo Geral.....	15
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	15
1.3.	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	15
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1.	CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS	16
2.1.1.	Rochas Ígneas ou Magmáticas	16
2.1.1.1.	Rochas plutônicas	16
2.1.1.2.	Rochas hipoabissais	17
2.1.1.3.	Rochas extrusivas (ou vulcânicas ou efusivas).....	17
2.1.2.	Rochas Sedimentares	18
2.1.3.	Rochas Metamórficas.....	19
2.2.	CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO .	20
2.2.1.	Caracterização Geomecânica	20
2.2.2.	Ensaio para Caracterização dos Maciços Rochosos	26
2.2.3.	Classificações Geomecânicas	27
2.3.	TIPOS DE FUNDAÇÕES EM ROCHA	35
2.4.	FUNDAÇÕES PROFUNDAS EM ROCHA	37
3.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	39
3.1.	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	39
3.2.	A OBRA	41
3.3.	FUNDAÇÕES DA OBRA.....	41
4.	METODOLOGIA DAS INVESTIGAÇÕES REALIZADAS	42
4.1.	INVESTIGAÇÕES DE CAMPO E LABORATÓRIO.....	42
4.1.1.	Ensaio Geofísicos	42
4.1.2.	Investigações Mecânicas.....	47
4.1.3.	Ensaio de Laboratório	51
5.	EXECUÇÃO E CONTROLE DAS ESTACAS RAIZ EM ROCHA	56
5.1.	CONTROLES DURANTE A EXECUÇÃO	56
5.1.1.	Etapas de Execução e controle das estacas raiz	56
5.1.2.	Utilização do rockdrill como ferramenta de investigação nas fundações em rocha	65
5.2.	CONTROLES APÓS A EXECUÇÃO	70
5.2.1.	Prova de Carga Estática - PCE.....	70
5.2.2.	Ensaio de Carregamento dinâmico - ECD	85
5.2.2.1.	Resultados obtidos na execução dos ensaios de carregamento dinâmico	87
6.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO MACIÇO	93
6.1.	GENERALIDADES	93

6.2.	GEOLOGIA LOCAL.....	93
6.3.	SONDAGENS MECÂNICAS	93
6.4.	SÍSMICA DE REFRAÇÃO.....	95
6.5.	DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES FÍSICOS	96
6.6.	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	97
6.6.1.	Técnica de Ensaio	98
6.6.2.	Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial	98
6.7.	ANÁLISE PETROGRÁFICA	99
6.8.	CARACTERIZAÇÃO DOS MACIÇOS	108
7.	CONCLUSÕES.....	114
	REFERÊNCIAS	116
	ANEXOS.....	119
	PERFIS DE SONDAGEM	119
	ENSAIOS PETROGRÁFICO	131

Lista de Figuras

Figura 1. Ciclo de formação das rochas (Coch & Ludman, 1991).	16
Figura 2. Orientação de uma descontinuidade ,ABGE/CBMR (1983).	21
Figura 3. Persistência em diferentes blocos , ABGE/CBMR (1983)	23
Figura 4. Superfícies de preenchimento, ABGE/CBMR (1983)	25
Figura 5. Sapatas construídas a superfície e em pequenas profundidades.	36
Figura 6. Sapatas e Estaca Raiz executadas.....	36
Figura 7. Etapas de execução de estaca raiz, (Velloso e Lopes, 2004).....	38
Figura 8 –Localização da área de estudo.....	39
Figura 9. Mapa geológico indicando os domínios da Província Borborema, e indicação da área em estudo, em vermelho.	40
Figura 10. Mapa geológico do município de São Lourenço da Mata.	41
Figura 11. – Ilustração da geração e da propagação de ondas sísmicas, (Alta Resolução, 2011).....	43
Figura 12. Esquema ilustrativo do princípio da refração sísmica (Alta Resolução, 2011).	43
Figura 13. Locação da sísmica de refração. (EGT, 2011)	45
Figura 14. Síntese das informações geofísicas correlacionadas com as prováveis condições geológicas e uma primeira correlação quanto à escavação (Alta Resolução, 2012).	46
Figura 15. Localização de todas as sondagens realizadas na obra (EGT, 2011)	48
Figura 16. Localização das estacas da obra por módulo.....	49
Figura 17. Sondagens Mistas - Módulo Sul.....	50
Figura 18. Sondagens Mistas - Módulo Sudoeste.....	50
Figura 19. Sondagens Mistas - Módulo Oeste 1 e 2.....	51
Figura 20. Amostras de Rocha utilizadas no ensaio.	52
Figura 21. Equipamento utilizado para o ensaio de compressão uniaxial, com uma capacidade de carregamento de até 300 toneladas.	53
Figura 22. Determinação e leitura da carga aplicada.....	54
Figura 23. Amostras escolhidas e Corte e regularização das mesmas	55
Figura 24. Microscópio ótico e lâmina de rocha.....	55
Figura 25. Perfuração de estaca raiz em solo.	56
Figura 27. Detalhe do tubo de injeção, instalado no interior do revestimento.....	58
Figura 26. Instalação da armadura.....	58
Figura 28. Modelo de Boletim de acompanhamento ABEF adaptado (2010).....	59
Figura 29: Tempo de perfuração em rocha das estacas no maciço sudeste	63
Figura 30: Tempo de perfuração em rocha das estacas no maciço sul	63
Figura 31: Tempo de perfuração em rocha das estacas no maciço sudoeste	64
Figura 32: Tempo de perfuração em rocha das estacas no maciço Oeste.....	64
Figura 33: Furo 01 a 03 -Topo rochoso aferido com o rockdrill	66
Figura 34: Equipamento Rockdrill	67
Figura 35: Liberação de Sapata	68
Figura 36: Perfuração utilizando rockdrill x Sondagem mecânicas	69
Figura 37: Sistema de reação.....	73
Figura 38. Dispositivo de leitura da célula de Carga.....	74
Figura 39. Deflectômetros (Relógios comparadores).....	75
Figura 40. Níveis laser para medir deslocamentos das estacas de reação.....	75
Figura 41. Carregamento lento da estaca E122 até 156t.....	76
Figura 42. Carregamento rápido da estaca E122 até 260 t	76
Figura 43. Carregamento lento da estaca E184 até 156t.....	77
Figura 44. Carregamento rápido da estaca E184 até 260 t	77
Figura 45. Carregamento lento da estaca E7043 até 156t.....	78
Figura 46. Carregamento rápido da estaca E7043 até 260 t	78
Figura 47. Carregamento lento da estaca E5043 até 156t.....	79
Figura 48. Carregamento rápido da estaca E5043 até 260 t	79
Figura 49. Carregamento lento da estaca E5103 até 156t.....	80
Figura 50. Carregamento rápido da estaca E5103 até 260 t	80
Figura 51. Carregamento lento da estaca E1 até 156t.....	81
Figura 52. Carregamento rápido da estaca E1 até 260 t	81
Figura 53. Equipamento do ensaio de carregamento dinâmico	86
Figura 54. Seção típica do maciço rochoso	94

Figura 55. Espessura média de capeamento para chegar ao topo rochoso	96
Figura 56. Diagrama QAP, (Streckeisen, 1991)	101
Figura 57. Fotomicrografias –Amostra 7 – Rocha fotografada ao microscópio óptico de luz transmitida, onde observam-se quartzo recristalizado e alteração do feldspato – plagioclásio. a) Luz paralela b) Luz cruzada	102
Figura 58. Detalhe de agregado de grãos de quartzo recristalizado com contornos tendendo a retilíneos e alteração forte de alguns grãos de feldspato. a) Luz paralela. b) Luz cruzada	103
Figura 59. Diagrama QAP (Streckeisen, 1991)	105
Figura 60. Fotomicrografias –Amostra 8 – Rocha fotografada ao microscópio óptico de luz transmitida, onde observam-se feldspato bastante alterado com inclusões de quartzo e piroxênio alterado. a) Luz paralela. b) Luz cruzada	106
Figura 61. Detalhe da alteração do feldspato, quartzo com extinção ondulante suave. Observa-se ainda uma grande quantidade de microfissuras. a) Luz paralela. b) Luz cruzada	107
Figura 62. Caracterização Maciço Sul.....	108
Figura 63: Índices físicos do maciço sul	109
Figura 64. Caracterização Maciço Sudeste.....	110
Figura 65. Caracterização Maciço Sudoeste.....	110
Figura 66 -Índices Físicos do Maciço Sudoeste	111
Figura 67. Caracterização Maciço Oeste	112
Figura 68 – Índice Físico Maciço Oeste.....	113

Lista de Tabelas

Tabela 1. Denominação da rocha segundo o grau de alteração (IPT, 1984, por Serra Junior e Ojima, 1988)..	20
Tabela 2. Denominação da rocha segundo a coerência (Guidicini et al., 1972).....	21
Tabela 3. Descrição do espaçamento das descontinuidades, ABGE/CBMR (1983).	22
Tabela 4. Descrição da persistência, ABGE/CBMR (1983).....	23
Tabela 5. Descrição da abertura, ABGE/CBMR (1983)	24
Tabela 6. Graus de fraturamento (Guidicini et al, 1972).....	26
Tabela 7. Índice de Deere, com relação a qualidade da rocha.....	28
Tabela 8. Classes de maciços rochosos em função do parâmetro Q (Barton et al., 1974)	30
Tabela 9. Sistema de Classificação Geomecânica RMR (Bieniawski, 1989)	32
Tabela 10. Ajuste de Valores Devido À Orientação das Juntas	32
Tabela 11. Classes de Maciços Rochosos Determinada a Partir do Valor Total	33
Tabela 12. Significado das Classes de Maciço Rochoso	33
Tabela 13. Guia para determinação do valor referente à condição das juntas.	33
Tabela 14. Classificação do R _{Mi} (modificado-Palmström, 1996a).....	34
Tabela 15. Descrição das seções executadas e seus respectivos comprimentos em metros lineares	44
Tabela 16. Exemplos de valores de velocidades de propagação de ondas sísmicas longitudinais (ondas P)	46
Tabela 17. Correlação entre velocidades sísmicas e escarificabilidade Redaelli & Cerello, 1998	47
Tabela 18. Síntese dos resultados obtidos pelo método sísmico	47
Tabela 19. Formulações utilizadas na determinação dos parâmetros físicos	52
Tabela 20. Registros de Perfuração das estacas.....	61
Tabela 21. Carga de trabalho de 1300kN Estágios de carregamento e descarregamento lento – Carga máxima por estágio	71
Tabela 22. Carga de trabalho de 1300kN Estágios de carregamento e descarregamento rápido – Carga máxima por estágio.....	72
Tabela 23. Resumo dos resultados obtidos nas provas de carga estática.....	82
Tabela 24. Características da estaca ensaiada.....	88
Tabela 25: Resultados da análise PDAW	88
Tabela 26: Resultados das análises CAPWAP	88
Tabela 27: Forças medidas na análise CAPWAP	89
Tabela 28: Carga última das estacas ensaiadas, máxima resistência de ponta e máximo atrito lateral.	92
Tabela 29. Resultados massa específica, porosidade e absorção.....	97
Tabela 30. Classificação da Resistência para rochas(IAEG, 1979).....	98
Tabela 31. Resultados resistência á compressão	99
Tabela 32. Classificação Petrográfica das amostras analisadas.....	100
Tabela 33. Características das amostras para análise petrográfica.....	100
Tabela 34. Principais características microscópica – Amostra 7.....	100
Tabela 35. Principais características microscópica – Amostra 8.....	104

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

As investigações são um dos assuntos mais importantes na Engenharia Geotécnica, em específico, na Engenharia de Fundações. Trata-se de um assunto em contínuo desenvolvimento, no qual a atuação do conhecimento deve ser constante.

Fundações profundas em rocha são um tópico particular neste contexto, onde, além das investigações, o sucesso depende também do acompanhamento e dos conhecimentos adquiridos durante a fase construtiva. Considerando que a rocha é mais competente, entendendo-se por competente de maior resistência e menor deformabilidade que o solo e que por isso gera menos problemas com as fundações, conseqüentemente com as estruturas, a mecânica da rocha se desenvolveu mais lentamente que a mecânica dos solos. Predominam sistemas de classificação e metodologias empíricas, associadas a experiência.

A caracterização do maciço rochoso envolvido na execução das fundações não termina na fase de projeto, devendo prosseguir sistematicamente durante a construção, com o rigor conferido de forma a permitir afinar métodos, redimensionar estruturas e adotar soluções que convenham para a obra em geral.

Apesar da evolução dos métodos de modelagem numérica, haverá sempre uma dificuldade em caracterizar e modelar geometricamente e fisicamente o subsolo, inclusive os maciços rochosos. Mesmo apresentando altas resistências, existem fatores que reduzem significativamente a resistência de maciços rochosos e, conseqüentemente, também a capacidade de carga de elementos de fundação. Os principais fatores são:

- Fraturas e outras descontinuidades;
- Falhas, constituindo-se como uma estrutura geológica de resistência inferior à da matriz de rocha;
- Perfis de alteração;
- Heterogeneidade;

A aplicação dos métodos apropriados de caracterização, unidos a uma boa execução, são fatores essenciais para a qualidade do produto final.

O reconhecimento de um determinado maciço rochoso, tendo como objetivo a construção de uma obra, inclui a sua modelação geológica e geomecânica, de onde resulta a concepção de um perfil geológico-geotécnico que incorpora as informações recolhidas durante as várias fases de caracterização, sendo refinado com o evoluir destas.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Este trabalho aborda a caracterização do maciço rochoso e o estudo das fundações em estaca raiz embutidas em rocha, evidenciando as particularidades e condicionalismos próprios que ocorrem nas várias fases da obra, desde a prospecção até a execução das fundações, excluindo-se a concepção de projeto.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

1. Extrair dados da execução do empreendimento em estudo, que permitam projetar obras no futuro com mais conhecimento e menos incertezas, trazendo economia e confiabilidade;
2. Alertar para as consequências dos problemas mais comuns neste tipo fundação na fase de execução e indicar as soluções possíveis;
3. Realizar avaliações analíticas que englobam estudos dos dados de execução das estacas e dos dados obtidos a partir dos ensaios realizados para obter parâmetros de projeto e de execução.
4. Caracterizar o maciço rochoso, com os resultados das investigações e ensaios realizados

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação pretende abordar o tema fundações em estaca tipo raiz embutida em rocha . Este trabalho está dividido em sete capítulos, conforme apresentado abaixo:

- **Capítulo 1** – Introdução acerca do trabalho;
- **Capítulo 2** - Apresenta a fundamentação teórica com os seguintes conteúdos: Conceitos de tipos de rocha, caracterização e classificação dos maciços rochosos e fundações em rocha, depois restringe a fundações profundas em rocha;
- **Capítulo 3** - Apresenta a obra em estudo e em particular suas fundações;
- **Capítulo 4** - Detalha a Metodologia das investigações realizadas;
- **Capítulo 5** – Registra os dados de execução e controles durante e após execução das fundações em rocha e resultados obtidos;
- **Capítulo 6** – Discute os resultados obtidos para caracterização do maciço rochoso;
- **Capítulo 7** - Apresenta as conclusões do trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS

Para Frazão e Paraguassu (1998), rocha é um corpo sólido natural, resultante de um processo geológico determinado, formado por agregados de um ou mais minerais, arranjados segundo as condições de temperatura e pressão existentes durante sua formação. Também podem ser corpos de material mineral não cristalino como o vidro vulcânico e materiais sólidos orgânicos, como o carvão.

As rochas são divididas em três grupos, de acordo com a natureza do processo que agregou os minerais:

- Rochas Magmáticas ou Ígneas
- Rochas Sedimentares
- Rochas Metamórficas

Estes grupos se inter-relacionam, representando as diversas possibilidades de transformação de um tipo de rocha em outro, como mostra a figura 1.

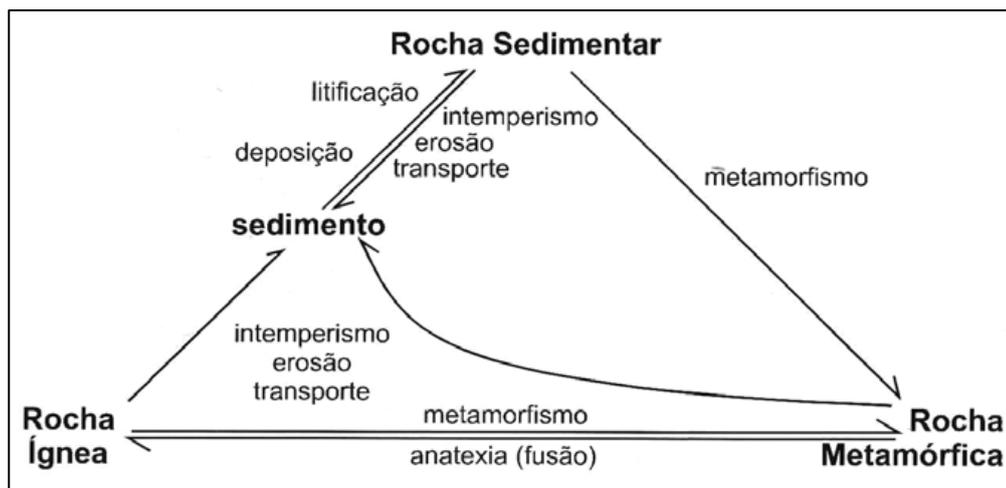


Figura 1. Ciclo de formação das rochas (Coch & Ludman, 1991).

2.1.1. Rochas Ígneas ou Magmáticas

Resultam da consolidação do magma, gerado no interior da crosta terrestre e são por isso de origem primária. Delas se derivam por vários processos as rochas sedimentares e metamórficas.

Quanto às condições de formação das rochas ígneas, elas podem ser subdivididas em intrusivas e extrusivas (ou efusivas, ou vulcânicas). As intrusivas, por sua vez, são subdivididas em dois grupos: as intrusivas de grandes tamanhos e profundidade, denominadas de plutônicas, e as intrusões menores, situadas mais próximas da superfície, chamadas de hipoabissais.

2.1.1.1. Rochas plutônicas

São aquelas consolidadas em regiões profundas na crosta (vários quilômetros abaixo da superfície terrestre), sob condições de alta pressão e temperatura. O resfriamento do magma é relativamente lento, as reações entre fase sólida e líquida são favorecidas, com tendência a desenvolvimento de cristais maiores e diferenciação acentuada dentro da câmara magmática.

Portanto, as rochas ígneas originadas em regiões profundas da crosta, possuem textura grossa e seus constituintes minerais podem ser reconhecidos e diferenciados, usualmente, a olho nu.

De maneira geral, as rochas plutônicas têm resistências mecânicas mais altas, devido a relativa homogeneidade dos corpos rochosos, forte coesão dos constituintes minerais (textura) e granulação mais grossa (ABGE 2011).

2.1.1.2. Rochas hipoabissais

São as rochas formadas em profundidades menores da crosta, ou seja, mais próximas da superfície, resultando da consolidação de magma que penetra em fraturas e cavidades das rochas encaixantes. Apresentam características intermediárias entre as rochas plutônicas e as extrusivas.

2.1.1.3. Rochas extrusivas (ou vulcânicas ou efusivas)

Formam-se pelo resfriamento e solidificação de material magmático (lava) que extravasou à superfície da Terra, resfriando-se e solidificando-se rapidamente, sob condições relativamente baixas de pressão e temperatura. Sob essas condições, as partículas minerais ainda não solidificadas têm oportunidade reduzida para crescer, resultando numa rocha de granulação fina. Em algumas situações o resfriamento é tão rápido que se torna impossível a separação de qualquer mineral, originando vidro vulcânico.

Uma rocha magmática expressa as condições geológicas em que se formou, graças a sua textura. A textura diz principalmente do tamanho e da disposição dos minerais que constituem a rocha, enquanto que a natureza mineralógica dos cristais ou mesmo vidro, se for o caso, diz da composição química aproximada do magma. Pode-se dizer que os magmas geralmente possuem elementos voláteis que escapam durante o processo de consolidação, sem formar minerais nos mesmo locais, e, sim, em zonas mais afastadas da rocha que se consolidou.

A composição mineralógica das rochas é outra característica altamente notável. São relativamente poucos os minerais que se tomam parte na constituição essencial de uma rocha. Dá-se a estes o nome de minerais essenciais, pois servem para definir, caracterizar uma determinada rocha magmática. Na maioria das vezes são apenas 2 ou 3 os minerais essenciais (Leinz, 1975).

Os demais, porventura existentes, podem ainda ocorrer, mas em quantidades tão pequenas que são por isso chamados minerais acessórios. Estes não são necessários para a classificação das rochas. Os principais minerais essenciais são: feldspato, quartzo, anfibólio-piroxênio, olivina, muscovita, biotita e nefelina.

Estes minerais podem ocorrer em quantidades variáveis, ora predominando um ora outro, como podem, eventualmente, não existir numa determinada rocha.

Ainda com relação à composição mineralógica as rochas ígneas normalmente não apresentam grandes problemas para a engenharia civil quando não alteradas. Quando alteradas ou em estágio inicial de alteração, é preciso que se tome cuidado com os produtos de alteração dos minerais ferro-magnesianos, presentes principalmente nas rochas básicas, que podem dar origem à argilominerais expansivos.

As rochas ígneas são as que apresentam, em geral melhor comportamento geomecânico e são as mais utilizadas em construção civil, no Brasil. Algumas também são importantes matérias-primas industriais.

2.1.2. Rochas Sedimentares

As rochas sedimentares são aquelas formadas a partir do material originado da destruição erosiva de qualquer tipo de rocha, material este que deverá ser transportado e posteriormente depositado ou precipitado em um dos muitos ambientes de sedimentação da superfície do globo terrestre. Assim como as rochas magmáticas, as rochas sedimentares necessitam de condições específicas para sua formação.

São formadas por fragmentos de outras rochas, processos químicos, ou processos biológicos. Quando são formadas por fragmentos de outras rochas são denominadas derochas detríticas ou clásticas e entre elas podem ser citadas o argilito, o siltito, os arenitos, e os conglomerados.

As rochas químicas são formadas por precipitação e evaporação e também por porsubstituição, como no caso dos calcários calcíticos que se transformam em dolomitos. Quando são formadas por evaporação são denominadas evaporitos e formam camadas de sais como halita, silvinita e carnalita.

Também, podem ser formadas por processos biológicos pela morte de organismos como os calcários de corais ou pela acumulação de matéria orgânica como é o caso do carvão mineral.

Em qualquer um dos casos, as rochas sedimentares são formadas em locais denominados “bacias sedimentares”, que são depressões da crosta nos diversos ambientes como os desertos, áreas continentais, regiões marinhas etc.

O critério da classificação das rochas sedimentares segue vários princípios, normalmente combinados entre si, como o ambiente, o tipo de sedimentação, constituição mineralógica ou tamanho das partículas. Como as rochas sedimentares são, na maioria dos casos formadas a partir de fragmentos de outras rochas, seria de se esperar que elas apresentassem uma mineralogia bastante variada, porém os minerais essenciais das rochas sedimentares são em número bastante reduzidos. Como os minerais presentes nas rochas sedimentares passam por processos de fragmentação e alteração química, apenas os mais resistentes escapam da destruição total, daí o pequeno número de espécies minerais presentes nas rochas sedimentares.

Desta forma o número de minerais que resistem com sua estrutura e composição química intactas é bastante pequeno. Os outros minerais quando sujeitos a estes processos se modificam e passam a constituir novos minerais denominados “neoformados”, os quais são estáveis sob as novas condições reinantes.

2.1.3. Rochas Metamórficas

As rochas metamórficas podem ser definidas como rochas geradas a partir das variações das condições de pressão e temperatura de outros tipos rochosos, condições estas diferentes daquelas nas quais as rochas foram geradas. A este conjunto de transformações sofridas pelas rochas dá-se o nome de metamorfismo, englobando todo o conjunto de transformações sofridas pelas rochas sob novas condições de pressão e temperatura, sem que as mesmas sofram fusão. Dependendo do caso, poderá ou não mudar a composição mineralógica, mas a textura muda obrigatoriamente (Leinz, 1975).

Normalmente podem ocorrer tanto a recristalização dos minerais preexistentes como também a formação de novos minerais, graças à mudança da estrutura cristalina sob as novas condições de pressão, temperatura, ou ainda graças à combinação química entre dois ou mais minerais formando um novo mineral, agora compatível e estável sob as novas condições reinantes.

Dependendo da natureza dos esforços sofridos pela rocha, poder-se-ão verificar deformações mecânicas nos minerais. Estas deformações têm importância na reconstituição dos eventos geológicos e tectônicos que intervieram na formação da rocha.

As rochas metamórficas podem apresentar uma mineralogia bastante variada uma vez que podem se formar a partir de todo tipo de rocha, porém seus minerais essenciais formam um grupo bastante restrito assim como no caso das rochas magmáticas e sedimentares. Existe porém, um grupo de minerais de ocorrência mais restrita que são típicos de rochas metamórficas. Desta forma os minerais presentes nas rochas metamórficas podem ser divididos em dois grandes grupos:

- Minerais Essenciais – feldspatos, piroxênios, anfibólios, quartzo, carbonatos e micas;
- Minerais Típicos – granada, epidoto, turmalina, cianita, estautolita, andaluzita, serpentina e talco.

Em certas condições, se o magma penetrar ou ficar em contato com certas rochas preexistentes, poderá verificar-se um metamorfismo motivado pelo aumento de temperatura, graças ao calor do magma. Se os minerais da rocha encaixante ficarem instáveis àquela temperatura mais elevada, dar-se-á a devida transformação, ou mineralógica ou na textura.

O interesse para a engenharia civil se relaciona à sua mineralogia e descontinuidades (texturas e estruturas). No que diz respeito à mineralogia das rochas metamórficas verifica-se que parte dos minerais que participam de sua composição (típicos do metamorfismo) é estável apenas nas suas condições de formação e quando submetidos a novas condições físico-químicas se altera facilmente (Leinz, 1975).

2.2. CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO

Um maciço rochoso é constituído por um conjunto de blocos de rocha justapostos, separados por descontinuidades, e é a relação entre a quantidade de descontinuidades e a escala da obra que indica o grau de isotropia do meio (Serra Júnior e Ojima, 1998).

Contudo, o comportamento do maciço não se restringe apenas a quantidade de descontinuidades, mas é influenciado pelas condições que essas descontinuidades apresentam e pela resistência da própria rocha. Já que se ela for muito pequena, as descontinuidades podem ser menos importantes. Portanto, algumas considerações sobre elementos geológicos envolvidos tornam-se necessárias.

2.2.1. Caracterização Geomecânica

A Mecânica de Rochas é a ciência que estuda as propriedades mecânicas e o comportamento das rochas, isto é, como a rocha responde quando sujeita a um campo de forças.

A Engenharia Civil está interessada em saber quais as modificações que se introduzem quando o maciço é carregado por uma obra de engenharia, pela presença de um estádio, barragem, edifício etc.

As características que traduzem a qualidade dos maciços rochosos, sob o ponto de vista da execução de obras de Engenharia, associam-se, principalmente à:

1. Litologia: Diz respeito aos tipos de rochas, classificações petrográficas, sempre levando em consideração o objetivo do trabalho, no caso para obras de engenharia os conceitos devem ser simplificados e objetivos.

2. Alteração: Se analisa o tipo de alteração; se hidrotermal ou intempérica, sendo o segundo tipo mais prejudicial sob o ponto de vista de obras de engenharia, visto que diminui a resistência mecânica e aumenta a deformabilidade, além de modificar as características de permeabilidade e porosidade do maciço. Na tabela 1 é apresentada uma divisão em siglas e categorias mais utilizadas na avaliação da rocha definidas de acordo com o grau de alteração.

Tabela 1. Denominação da rocha segundo o grau de alteração (IPT, 1984, por Serra Junior e Ojima, 1988)

Siglas	Denominações	Características da rocha
A1 W1 RS	Rocha sã ou praticamente sã	Os minerais primários sem vestígios de alterações ou com alterações físicas e químicas incipientes. Neste caso a rocha é ligeiramente descolorida.
A2 W2 RAD	Rocha medianamente alterada	Apresenta minerais medianamente alterados e a rocha é bastante descolorida.
A3 W3 RAM	Rocha muito alterada	Apresenta minerais muito alterados, por vezes pulverulentos e friáveis.
A4 W4 REA	Rocha extremamente	Apresenta minerais totalmente alterados e a rocha é intensamente descolorida, gradando para cores de solo.

	alterada	
--	----------	--

3. Coerência: É definida com base em propriedades de tenacidade, dureza e friabilidade das rochas, é caracterizada por meio da análise da resistência que a rocha oferece ao impacto do martelo e ao risco com lâmina de aço. Da mesma maneira que a alteração, trata-se de um critério relativo, válido para comparação entre variedades de um mesmo litotipo. Como a alteração, permite uma análise da ação intempérica sobre o maciço. Em geral, os estágios iniciais de alteração resultam em significativa diminuição da resistência da rocha, em relação à rocha original, enquanto nos estágios mais avançados de alteração, esta tendência se atenua, como mostra a tabela 2.

Tabela 2. Denominação da rocha segundo a coerência (Guidicini et al., 1972)

Siglas	Denominações	Características da rocha
C1	Rocha Coerente	Quebra com dificuldade ao golpe de martelo, produzindo fragmentos de bordas cortantes. Superfície dificilmente riscável por lâmina de aço. Somente escavável a fogo
C2	Rocha medianamente coerente	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Superfície riscável com lâmina de aço. Escavável a fogo.
C3	Rocha com coerência média	Quebra com facilidade ao golpe do martelo, produzindo fragmentos que podem ser partidos manualmente. Superfície facilmente riscável com lâmina de aço. Escarificável.
C4	Rocha incoerente	Quebra com a pressão dos dedos, desagregando-se. Pode ser cortada com lâmina de aço. Friável e escavável com lâmina.

4. Descontinuidades: Segundo a Associação Internacional de Mecânica de Rochas (ISRM), é o termo geral para qualquer descontinuidade mecânica, em um maciço rochoso, que apresenta baixa ou nenhuma resistência à tração. Este é o termo coletivo para a maioria dos tipos de diáclases, juntas, planos de fraqueza do acamamento, planos de fraqueza da xistosidade, zonas de alteração ou de falhas.

As descontinuidades desempenham um importante papel no comportamento dos maciços rochosos. Com o intuito de padronizar o levantamento das descontinuidades a ISRM (1978) publicou uma sugestão de método para descrição de descontinuidades de maciços rochosos. São utilizados 10 parâmetros:

1) Orientação:

É a atitude da descontinuidade no espaço, podendo ser descrita pela direção do mergulho (azimute) e o mergulho da reta de maior declividade do plano da descontinuidade. A posição ocupada no espaço por uma estrutura geológica planar é definida pela sua direção e pelo ângulo de mergulho, ou seja, a inclinação do plano.

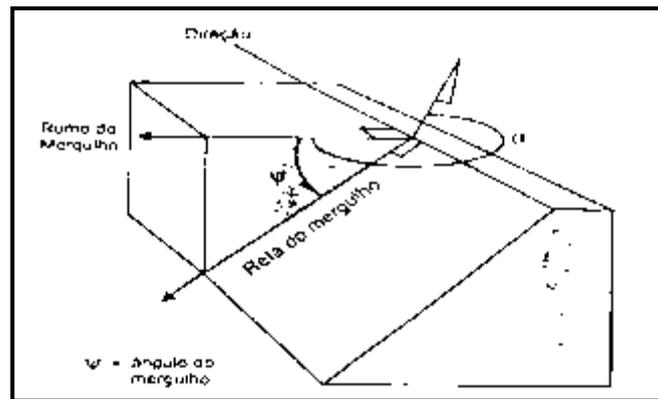


Figura 2. Orientação de uma descontinuidade, ABGE/CBMR (1983)

A orientação controla as possibilidades de condições de instabilidade e um número de deformações excessivas.

2) Espaçamento:

É considerado como a distância perpendicular entre dois planos consecutivos de descontinuidades pertencentes a uma mesma família representando o espaçamento médio de uma família de juntas.

O espaçamento entre descontinuidades adjacentes controla o tamanho dos blocos individuais de rocha intacta. Descontinuidades com espaçamentos maiores fazem que o maciço tenha baixa coesão.

O espaçamento tem grande influência na permeabilidade do maciço e nas características de percolação.

Tabela 3. Descrição do espaçamento das descontinuidades, ABGE/CBMR (1983).

Descrição	Espaçamento
Extremamente próximos	< 20mm
Muito próximos	20 - 60mm
Extremamente espaçados	> 6000 mm

É obtido por meio de medidas efetuadas ao longo de uma direção determinada, que pode ser uma sondagem ou uma linha de levantamento sistemático de descontinuidades em afloramentos.

3) Persistência:

É a extensão do traço de uma descontinuidade como observado em um afloramento.

A persistência ou continuidade de uma fratura é um parâmetro ligado ao tamanho e à forma geométrica da estrutura e, por isso, profundamente afetada pela orientação e dimensão da superfície rochosa.

Tabela 4. Descrição da persistência, ABGE/CBMR (1983)

Descrição	Persistência
Muito baixa	<1m
Baixa	1- 3m
Média	3 –10m
Alta	10- 20m
Muito alta	>20m

Uma descontinuidade cujas extremidades não se encontram nos afloramentos é denominada persistente. A persistência de uma fratura é condicionada, também, pela sua ordem de aparecimento em uma seqüência de eventos de fraturamento. As juntas mais recentes sempre apresentam a tendência ou de se originar a partir de outra superfície mais antiga, ou de se interromper nelas.

No geral, são necessárias ao menos três famílias sistemáticas de descontinuidades, razoavelmente contínuas, para a formação de blocos rochosos bem definidos. A figura ilustra aspectos da formação de blocos, em função da persistência dos sistemas de descontinuidades.

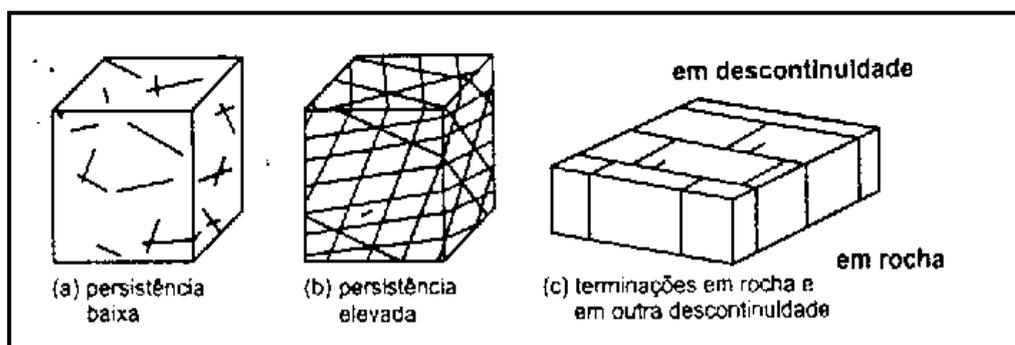


Figura 3. Persistência em diferentes blocos , ABGE/CBMR (1983)

4) Rugosidade:

É a medida das irregularidades do relevo com relação ao plano médio da descontinuidade. Irregularidades em grande escala são chamadas de ondulações. A rugosidade e ondulação contribuem para a resistência ao cisalhamento. Ondulações em grande escala podem modificar o mergulho local.

Em geral, as irregularidades no plano de uma descontinuidade se manifestam na escala da ordem de alguns metros, quando são caracterizadas como ondulações, ou em dimensões milimétrica a centimétrica, quando são identificadas como rugosidade ou aspereza.

5) Resistência das paredes:

Refere-se à resistência a compressão das paredes adjacentes a uma descontinuidade. Esta resistência deve ser menor que a da rocha intacta devido à alteração das paredes proporcionada pela presença das descontinuidades.

O grau de alteração próximo à superfície das fraturas afetam a resistência da mesma e se as paredes estão em contato, teremos uma importante componente da resistência ao cisalhamento.

6) Abertura:

É a distância perpendicular entre as paredes adjacentes de uma descontinuidade, cujo espaço intermediário é preenchido por água ou ar.

Tabela 5. Descrição da abertura, ABGE/CBMR (1983)

Abertura	Descrição
< 0,1mm	Muito fechadas
0,1- 0,25mm	Fechadas
0,5- 2,5mm	Abertas
>1m	Cavernosas

A abertura das descontinuidades é importante no estudo da percolação de água no interior dos maciços rochosos e caracteriza-se como o espaço, vazio ou preenchido por água, que separa suas paredes, distinguindo-se nesse aspecto eventuais preenchimentos ou mineralizações que podem ocupar o plano da descontinuidade.

A abertura atual de uma junta, todavia, não coincide necessariamente com sua abertura original, que pode ter sido modificada em estágios posteriores a sua formação, como ocorre no processo de erosão ou de soerguimento dos maciços quando a fratura é trazida a níveis mais rasos.

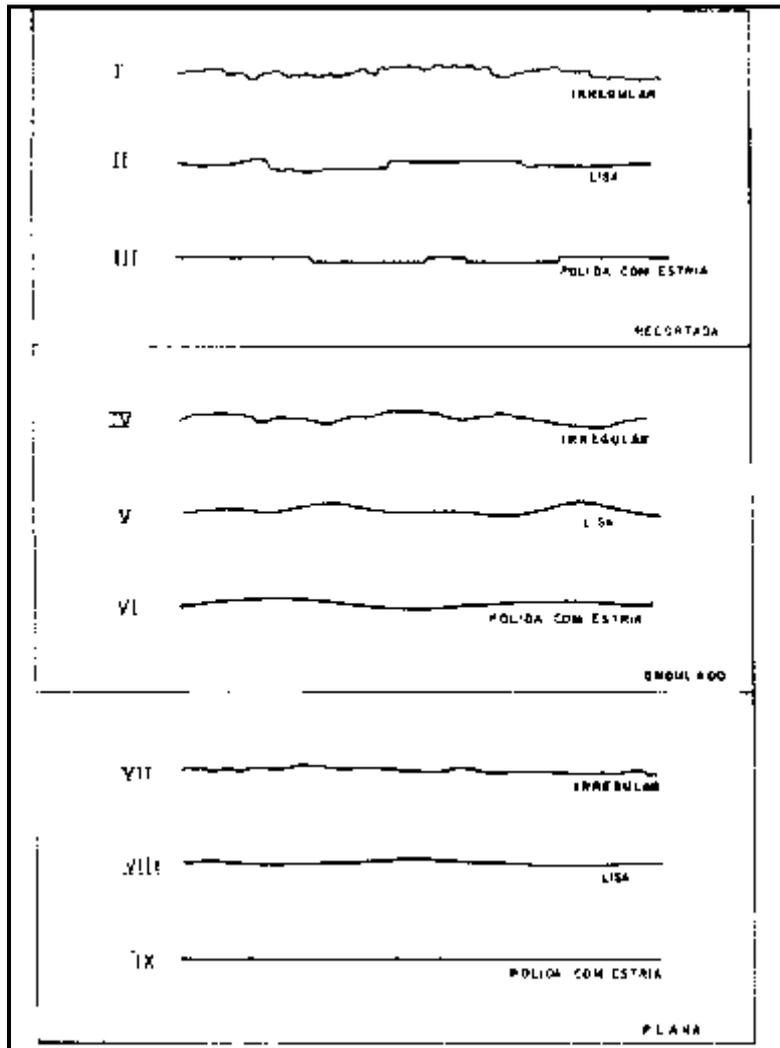


Figura 4. Superfícies de preenchimento, ABGE/CBMR (1983)

Os preenchimentos são importantes porque, dependendo de sua espessura, podem modificar ou controlar completamente a resistência ao cisalhamento. Onde as paredes opostas não se tocam e o preenchimento ocupa todo o espaço vazio entre as mesmas, a resistência, a deformabilidade e a permeabilidade do material que preenche o maciço rochoso.

7) Preenchimento:

É o material que separa as paredes de uma descontinuidade e que usualmente é mais fraco que a rocha que lhe deu origem. Os materiais típicos de preenchimento são: areia, silte, argila, brecha e milonito. Também inclui minerais secundários e descontinuidades seladas, por exemplo: quartzo e veios de calcita.

8) Percolação:

Fluxo de água e umidade livre, visíveis em descontinuidades individuais ou no maciço rochoso como um todo.

A percolação de água no maciço rochoso resulta principalmente do fluxo através de descontinuidades.

9) Número de Famílias:

É a quantidade de famílias que compõem um sistema de juntas. O maciço rochoso pode conter também descontinuidades individuais.

10) Grau de fraturamento:

São as dimensões dos blocos de rocha que resultam da orientação das famílias de juntas que se interceptam e do espaçamento das famílias individuais. Descontinuidades individuais podem influenciar o tamanho e a forma dos blocos.

O grau de fraturamento expressa a quantidade de fraturas por metro linear de maciço.

Utilizado principalmente na descrição de testemunhos, ele difere do espaçamento por não estar relacionado à distância perpendicular entre fraturas de uma mesma família, mas reflete a quantidade de pedaços em que o maciço ficou fragmentado. Guidicini et al (1972) propõe a classificação da tabela 6 para determinar o grau de fraturamento.

Tabela 6. Graus de fraturamento (Guidicini et al, 1972)

Siglas	Número de fraturas por metro	Denominação
F1	<1	Ocasionalmente fraturado
F2	1 – 5	Pouco fraturado
F3	6 – 10	Medianamente fraturado
F4	11 – 20	Muito fraturado
F5	>20	Extremamente fraturado

Um dos principais pontos de incerteza é a avaliação dos parâmetros de resistência de um maciço rochoso formado por seus dois componentes: volumes rochosos intactos, e superfícies de descontinuidade. Para caracterizar esses maciços, outros processos devem sempre ser utilizados nesta quantificação.

Existem três processos para determinar estes parâmetros:

- Ensaio de laboratório;
- Ensaio “in situ” e;
- Estudos de retroanálise.

2.2.2. Ensaio para Caracterização dos Maciços Rochosos

Constituem a base paramétrica dos estudos voltados ao aproveitamento dos maciços nas obras de Engenharia. Um ensaio consiste em submeter uma amostra de rocha a determinadas condições e solicitações em um sistema com variáveis controladas, monitorando-se o comportamento da rocha, observando e medindo as reações ocorridas. Com base nos ensaios se procede a Classificação Geomecânica (RQD, RMR, RSR...)

Tipos básicos de ensaios:

- Caracterização petrográfica: Além da identificação litológica, proporcionam informações sobre composição mineralógica, granulagem, textura e estruturas das rochas.
- Propriedades índices: Compreendem, basicamente, umidade, porosidade, massa específica, absorção de água, expansão, desgaste;
- Propriedades mecânicas: Compressão, cisalhamento, deformabilidade, podem ser determinadas através de ensaios *in situ*, inclusive em furos de sondagens e em laboratórios.
- Propriedades hidráulicas (permeabilidade) compreendem a determinação da condutividade hidráulica, sendo que em geral é mais importante a condutividade do preenchimento das descontinuidades do que a da rocha intacta.

Investigação de Campo

A prospecção e caracterização geotécnica são fundamentais na concepção de uma obra, influenciando todas as fases subsequentes, tanto as de projeto como as de execução destas obras. Baseados na caracterização geológico-geotécnica dos terrenos e nos esforços atuantes na obra, os profissionais envolvidos terão de conceber e optar pelos métodos apropriados de construção, bem como prever soluções adequadas para as opções escolhidas.

As principais ferramentas utilizadas com o objetivo de investigar a geologia e geotecnia de uma área de interesse são compreendidas pelo mapeamento geológico, os ensaios geofísicos e as sondagens mecânicas.

O mapeamento geológico possibilita o acesso direto aos materiais que estão expostos na superfície, delimita os diferentes corpos presentes na área e coleta amostras para ensaios de laboratório. O estudo de geologia da área complementa informações.

Os ensaios geofísicos permitem determinar a distribuição, em profundidade, de parâmetros físicos dos maciços, tais como velocidade de propagação de ondas acústicas e resistividade elétrica, que determinam indiretamente a distribuição e o posicionamento dos corpos geológicos, suas características físicas e tecnológicas. Esses ensaios não alteram as propriedades físicas do material ensaiado.

Com as sondagens mecânicas é possível definir com precisão, as características dos materiais ao longo da linha de perfuração, nessas sondagens descrevem-se testemunhos do solo e do maciço rochoso, variações litológicas, estruturas geológicas e as características geotécnicas dos materiais (ABGE 2011).

2.2.3. Classificações Geomecânicas

Os métodos de classificação de maciços rochosos para estabilização de escavações, foram a princípio desenvolvidos para a estabilidade do maciço rochoso em obras subterrâneas, através de K. Terzaghi na década de quarenta. Na década de setenta surgiram as primeiras

tentativas de adaptação destas classificações voltadas para estabilidade de taludes rochosos, esses sistemas empíricos foram desenvolvidos devido à heterogeneidade e ao efeito de escala que torna pouco representativos os ensaios de laboratório e de campo, dificultando a obtenção dos parâmetros necessários na modelagem.

Dentre os diversos métodos de classificação de maciços rochosos, destacam-se: o “Rock Mass Rating” (RMR - Índice de Volume de Rocha), também chamado de CSIR (organismo Sul Africano, onde Bieniawski desenvolveu a sua classificação – 1973, revisado em 1984); e o sistema Q (Tunneling Quality Index) , Barton, Lien and Lunde (1974) – Norwegian Geotechnical Institute.

Porém existem outros sistemas que bem os precederam e foram utilizados na sua formulação como é o RQD (Rock Quality Designation), o RSR (“Rock Structure Rating”) ou são de datas mais recentes como o sistema RMi (Rock Mass Index).

A abordagem de Terzaghi englobou a avaliação do comportamento de escavações executadas em maciços de rocha sã e intacta (classe I), até a maciços de rochas muito alteradas (classe IX). Identificando-se os tipos geomecânicos dos maciços, os mecanismos de instabilização e a natureza dos sistemas de contenção. Na sua classificação, Terzaghi não apresenta limites nítidos entre as diferentes categorias de rochas, pois da forma com que foram dispostos seus limites, estes abrangem uma variedade bastante ampla de comportamentos geomecânicos similares.

Terzaghi em sua classificação, apesar da grande importância Histórico-Científica, incorporou critérios por demais genéricos e qualitativos, sem escalas de valores para os parâmetros relativos, tendo a preocupação de quantificar comportamento geomecânicos conduzindo a abordagens diferenciadas do problema das escavações subterrâneas em maciços rochosos (Barros 2000).

Deere (1964) deu uma grande contribuição no desenvolvimento das classificações geomecânicas, através da proposição de um índice capaz de quantificar o padrão geomecânico do maciço, obtido diretamente a partir da análise de testemunhos de sondagens convencionais. Este índice, denominado RQD “Rock Quality Designation”, que corresponde a recuperação de porções de testemunho de dimensões iguais ou superiores a 10 cm, obtidos em uma dada manobra da sondagem, utilizando-se diâmetros NX ou seja próximo a 50 mm.

Deere propôs a seguinte relação entre o seu valor numérico, qualidade de engenharia da rocha (Hoek e Brown, 1980), no seu sistema de classificação (Goodman, 1989), Tabela 7.

Tabela 7. Índice de Deere, com relação a qualidade da rocha

RQD	Qualidade da Rocha
< 25%	Muito pobre
25 - 50%	Pobre
50 - 75%	Regular
75 - 90%	Bom

90 – 100%	Muito bom
-----------	-----------

Wickham, Tiedemann e Skinner (1972), consideraram alguns fatores para avaliar os maciços rochosos através de um parâmetro denominado RSR (“Rock Structure Rating”), por meio do qual estabeleceram correlações para escolha do suporte, utilizando cambotas metálicas.

O valor de RSR de um dado maciço é obtido a partir da quantificação de três parâmetros (A, B e C):

- Parâmetro A, relativo ao tipo geomecânico da rocha e as estruturas geológicas do maciço;
- Parâmetro B, referente às descontinuidades (espaçamento e atitudes), e à orientação da escavação;
- Parâmetro C, relativo às características hidrogeológicas, em termos de vazão, e as condições das paredes das descontinuidades.

A somatória dos valores parciais de A, B e C fornece o valor de RSR.

Estes estudos evidenciaram a necessidade do uso de uma metodologia de classificação geomecânica para projetos de engenharia, capaz de identificar condições de heterogeneidade, anisotropia e descontinuidade, mediante a quantificação de parâmetros representativos das feições mais relevantes do maciço.

Até 1973, os estudos de classificação de maciços rochosos, referiam-se apenas as escavações subterrâneas, a partir deste ano, Bieniawski, apresentou um novo sistema de classificação de maciços rochosos para túneis e aplicável a taludes, esse é obtido adicionando-se escores a parâmetros da massa rochosa. Este sistema de classificação de Bieniawski, RMR (Rock Mass Rating), também é chamado de CSIR (South African Council for Scientific and Industrial Research).

Barton, Lien e Lunde, (1974), pesquisadores do NGI (Norwegian Geotechnical Institute), propuseram um novo parâmetro (denominado de parâmetro “Q”), para quantificar o padrão geomecânico de um maciço rochoso, estabelecido especificamente para túneis, definido por:

$$Q = (RQD/J_n) \cdot (J_r/J_a) \cdot (J_w/SRF)$$

onde:

RQD - índice geomecânico de Deere;

J_n - índice da influência do número de famílias das fraturas (descontinuidades);

J_r - índice de influência da rugosidade das paredes das fraturas;

J_a - índice de influência da alteração das paredes das fraturas;

J_w - índice de influência da ação da água subterrânea; e

SRF - índice de influência do estado de tensões no maciço (“Stress Reduction Factor”).

Observa-se claramente que as relações:

RQD/J_n - dependente do tamanho dos blocos do maciço rochoso;

J_r/J_a - dependente da resistência ao cisalhamento das superfícies das fraturas; e

J_w/SRF - depende da tensão existente nos maciços rochosos.

Determinado o parâmetro Q , a classificação do maciço rochoso é sugerida pela Tabela 8.

A Association Française des Travaux en Souterrain (AFTES), em 1974 produziu um texto de recomendações relativo à escolha do suporte para túneis. A partir do conhecimento do coeficiente de resistência f definido por Protodiakonov, é feita uma classificação do maciço em dez classes.

Tabela 8. Classes de maciços rochosos em função do parâmetro Q (Barton et al., 1974)

Padrão Geomecânico do maciço	Valores de Q
Péssimo (excepcionalmente ruim)	< 0,01
Extremamente ruim	0,01 - 0,1
Muito ruim	0,1 - 1,0
Ruim	1,0 - 4,0
Regular	4,0 - 10,0
Bom	10,0 - 40,0
Muito bom	40,0 - 100,0
Ótimo (extremamente bom)	100,0 - 400,0
Excelente (excepcionalmente bom)	>400,0

O coeficiente de resistência f é definido pelas equações:

$$f = \operatorname{tg}\phi + c/\gamma_c \text{ (para solos) e}$$

$$f = \gamma_k/100 \text{ (para rochas),}$$

onde: ϕ é o ângulo de atrito do terreno, c é a coesão, γ_c é a resistência à compressão simples do solo e γ_k é a resistência à compressão simples da rocha.

Após a determinação da classe, são analisados outros aspectos relativos ao maciço e à obra, com vistas a apreciar a vantagem da utilização preferencial de certo tipo de suporte dentre os vários possíveis.

Bieniawski (1976), introduziu algumas substituições importantes. O índice numérico do maciço rochoso, RMR ficava então independente da estrutura a construir e se obtinha a partir de cinco parâmetros:

- Resistência da matriz rochosa (resistência à compressão simples);
- RQD;
- Frequência das descontinuidades (espaçamento);
- Estado das juntas e (padrão das descontinuidades);
- Água dentro do maciço rochoso (ação da água subterrânea);

Além de um fator de ajuste, que é função da orientação das descontinuidades. Este fator de ajuste, segundo a orientação das descontinuidades vale nos casos dos taludes:

Muito favorável	0
Favorável	5
Normal	25
Desfavorável	50
Muito desfavorável	60

Não existe nenhuma orientação sobre a definição de cada classe. Além disso, se indicam uns valores médios da coesão e o ângulo de enrocamento para cada categoria de massa rochosa, segundo cinco intervalos do índice RMR.

Bieniawski e Orr (1976), postularam uma correlação entre o índice RMR e o módulo de deformação "in situ" da massa rochosa.

Posteriormente Bieniawski (1979), realizou pequenas correções que pontuam os parâmetros (Tabela – 10).

Hoek (1994) apresentou um sistema de classificação denominado por GSI (Geological Strength Index) que fornece um parâmetro geotécnico que varia entre 5 e 100.

À exceção de maciços rochosos de muito má qualidade, o valor do GSI de um maciço pode ser estimado através do valor do sistema RMR, utilizando um peso de 15 para acondição da presença da água e de 0 para a orientação das descontinuidades. Assim, para maciços com $RMR \geq 23$, a relação entre estes dois índices faz-se através da seguinte expressão:

$$GSI = RMR' - 5$$

Para maciços rochosos de má qualidade com valores de $RMR < 23$, a correlação é expressa com base em Q' (igual ao Q mas sem consideração dos parâmetros J_w e SRF):

$$GSI = \ln Q' + 44$$

Tabela 9. Sistema de Classificação Geomecânica RMR (Bieniawski, 1989)

Parâmetros		Faixas de Valores							
1	Resistência da Rocha Intacta	Resistência à Compressão Puntiforme	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Para a faixa de valores inferior, é preferível usar o ensaio de compressão uniaxial		
		Resistência à Compressão Uniaxial	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa	1 – 5 MPa	< 1 MPa
	Valores	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%			
	Valores	20	17	13	8	3			
3	Espaçamento das Juntas	> 2m	0.6 – 2m	200 – 600mm	60 - 200mm	< 60 mm			
	Valores	20	15	10	8	5			
4	Condição das Juntas	Superfícies muito rugosas Não contínuas Sem abertura Paredes duras	Superfícies levemente rugosas Separação < 1mm Paredes duras	Superfícies levemente rugosas Separação < 1mm Paredes macias	Slickensides ou Preenchimento < 5 mm de largura ou Juntas abertas 1-5 mm, contínuas	Preenchimento macio > 5mm Ou Juntas abertas > 5mm, contínuas			
		Valores	30	25	20	10	0		
5	Água Subterrânea	Fluxo por 10m de comprimento de túnel	Nulo ou	> 10	10 - 25 litros/min ou	25–125 litros/min ou	> 125 litros/min ou		
		Razão Pressão de água na junta Tensão principal maior	0	< 0.1	0.1 - 0.2 ou	0.2 - 0.5 ou	> 0.5 ou		
		Condições Gerais	ou Completamente seco	Molhado	Úmido	Água sob pressão moderada	Graves problemas com água		
	Valores	15	10	7	4	0			

Tabela 10. Ajuste de Valores Devido À Orientação das Juntas

Direção e Mergulho das Juntas		Muito Favorável	Favorável	Regular	Desfavorável	Muito Desfavorável
Valores	Túneis	0	- 2	- 5	- 10	- 12
	Fundações	0	- 2	- 7	- 15	- 25

	Taludes	0	- 5	-25	- 50	- 60
--	---------	---	-----	-----	------	------

Tabela 11. Classes de Maciços Rochosos Determinada a Partir do Valor Total

Valores	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Classe Número	I	II	III	IV	V
Descrição	Rocha muito boa	Rocha Boa	Rocha Regular	Rocha Pobre	Rocha Muito Pobre

Tabela 12. Significado das Classes de Maciço Rochoso

Número da Classe	I	II	III	IV	V
Tempo Médio de Auto-suporte	10 anos para um vão de 5m	6 meses para um vão de 4m	1 semana para um vão de 3m	5 horas para um vão de 1.5m	10 minutos para um vão de 0.5m
Coesão do Maciço Rochoso	> 300 kPa	200 – 300 kPa	150 – 200 kPa	100 – 150 kPa	< 100 kPa
Ângulo de Atrito do Maciço Rochoso	> 45 ⁰	40 ⁰ – 45 ⁰	35 ⁰ – 40 ⁰	30 ⁰ – 35 ⁰	< 30 ⁰

Tabela 13. Guia para determinação do valor referente à condição das juntas.

Parâmetro	Pontuação				
Persistência	< 1m 6	1 – 3m 4	3 – 10m 2	10 – 20m 1	> 20m 0
Abertura	Nenhum 6	< 0.1mm 5	– 1.0mm 4	1 – 5mm 1	> 5mm 0
Rugosidade	Muito Rugosa 6	Rugosa 5	Levemente Rugosa 3	Suave 1	Espelhada 0
		Preenchimento Duro		Preenchimento Macio	
Preenchimento	Nenhum 6	< 5mm 4	> 5mm 2	< 5mm 2	> 5mm 0
Intemperismo	Sã 6	Levemente Alterada 5	Moderadamente Alterada 3	Altamente Alterada 1	Decomposta 0

O sistema R_{Mi} (Palmström, 1996a) foi desenvolvido para caracterizar a resistência de maciços rochosos para propósitos construtivos a partir de parâmetros cuja determinação é feita por métodos reconhecidos. O R_{Mi} se diferencia dos sistemas RMR e Q por determinar parâmetros do maciço sem importar o tipo de obra. O índice do maciço rochoso R_{Mi} é definido como:

$$R_{Mi} = \sigma_c \cdot JP$$

Onde:

R_{Mi} - índice do maciço rochoso

σ_c - resistência a compressão uniaxial da rocha intacta

JP - parâmetro de descontinuidade, que é composto do volume do bloco e três características (rugosidade, alteração e tamanho) das descontinuidades, variando entre 0 para rochas muito fraturadas e 1 para rocha intacta.

O valor de R_{Mi} varia entre 0,001 e 100 e os intervalos e classes definidas para este sistema de classificação são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Classificação do R_{Mi} (modificado-Palmström, 1996a)

Para R _{Mi}	Relacionado à resistência do maciço rochoso	Valor R _{Mi}
Extremamente baixo	Extremamente fraco	<0,001
Muito baixo	Muito fraco	0,001-0,01
Baixo	Fraco	0,01-0,1
Moderado	Médio	0,1-1,0
Alto	Resistente	1,0-10
Muito alto	Muito resistente	10-100
Extremamente alto	Extremamente resistente	>100

Diferentes métodos de avaliação para classificação de maciço rochoso podem ser empregados, entretanto tais correções requerem uma análise detalhada, a fim de envolver as reais causas de instabilidade para o apoio das fundações.

As classificações estrangeiras, na sua maioria, foram desenvolvidas (em países de clima temperado), onde a alteração da rocha é pouco importante, afetando apenas poucos metros na parte superior do maciço, enquanto que nos países tropicais, a alteração atinge grandes profundidades, agindo nas fraturas e falhas, podendo ocorrer zonas alteradas até 50 metros abaixo do topo de rocha (Barros, 2000).

Qualquer classificação de maciço rochoso deve considerar que as rupturas, na maioria dos casos são governadas pelas descontinuidades e se produzem segundo superfícies formadas por uma ou várias juntas.

As classificações são vantajosas porque obrigam a quantificar as propriedades essenciais do terreno. Num projeto onde se classifica, é seguro que se faça um esforço de campo e o papel comum, simplificará a análise dos dados. Porém classificação como um único método, não deverá ser usada, porque simplifica excessivamente.

2.3. TIPOS DE FUNDAÇÕES EM ROCHA

Os maciços rochosos apresentam geralmente uma resistência e rigidez maior para suporte de cargas da estrutura que os solos, porém obras de grande porte podem transmitir cargas para o maciço rochoso muito próximo da sua capacidade de carga ou ainda no caso de haver uma descontinuidade orientada para uma direção particular pode o mesmo apoio suportar uma carga menor, por isso é necessário que o maciço apresente níveis de segurança de imediato e em longo prazo.

As fundações em rocha podem ser constituídas por sapatas construídas à superfície ou a pequenas profundidades ou por estacas embutidas na rocha. O tipo de fundação a adotar para cada estrutura depende da magnitude e direção da carga e das condições geotécnicas. As figuras 5 e 6 mostram exemplos das fundações superficiais e de estacas embutidas em rocha.

Durante a fase de escavação, normalmente para execução de sapatas, são utilizados explosivos na construção dessas fundações, na qual é essencial controlar as técnicas de forma a minimizar os danos no maciço rochoso. Existem circunstâncias, no caso da existência de estruturas na vizinhança, em que o uso de explosivos não é possível. Utilizam-se, então, métodos de escavação sem explosivos, como martelos hidráulicos e cimento expansivo.

As principais características desse tipo de fundação são:

- Absorção de cargas mais elevadas que as fundações em solo
- Possibilidades da existência de camadas de materiais menos resistentes abaixo de uma camada com maior resistência.

Neste trabalho dar-se-á ênfase apenas às estacas por se tratarem do tipo de fundação em questão na dissertação.

Nas fundações profundas em rocha há um direcionamento a projetos bastantes conservadores, provocados por falta de estudos realizados sobre o assunto e ainda por desconhecimento por toda variabilidade e complexidade do material rochoso.

A utilização de fundações profundas em rocha acontece quando as camadas superficiais do terreno de assentamento não apresentam boas características mecânicas, sendo necessário buscar melhores condições de apoio em grandes profundidades ou ainda quando as características do maciço rochoso, mesmo em menores profundidades não apresentam boas resistências mecânicas.

Estacas Raíz são comumente utilizadas em fundações de difíceis cravações, usadas como base para apoiar as estrutura muito carregadas, em virtude do seu baixo ruído, baixa vibração e flexibilidade de tamanhos para se adequar a diferentes condições de carga e as condições do subsolo. Tais atributos são especialmente favorecidos em áreas urbanas, onde as restrições estritas no que diz respeito ao ruído e vibração são impostas pelas autoridades competentes, que muitas vezes restringe o uso de sistemas convencionais.



Figura 5. Sapatas construídas a superfície e em pequenas profundidades.



Figura 6. Sapatas e Estaca Raiz executadas

Apesar das condições favoráveis quanto à estabilidade das fundações em rocha, existem situações de ruptura. Estas podem derivar de cargas excessivas devido à presença de falhas ou zonas de baixa resistência, cavidades naturais, deterioração da rocha com o tempo ou colapso devido a movimentos de blocos de rocha na fundação. Os fatores mais determinantes na estabilidade das fundações são as estruturas geológicas da fundação, a resistência da rocha intacta e das descontinuidades, as pressões da água e os métodos utilizados durante a construção para escavar e reforçar o maciço (Eberhardt, 2003).

Os dois principais tipos de rupturas em fundações em rocha são:

- Devido ao colapso de blocos de rocha, resultado das descontinuidades.
- Devido a cargas excessivas

Rupturas devido a cargas excessivas raramente ocorrem, porém pode acontecer em grandes estruturas construídas em formações rochosas pouco resistentes ou quando existem cavidades no interior no maciço.

Já rupturas devido ao colapso de rochas são determinadas pela orientação, espaçamento e comprimento das descontinuidades, determinando a forma e dimensão dos blocos que podem deslizar. A estabilidade dos blocos depende da resistência das superfícies de descontinuidade e das forças externas, tais como a água, cargas estruturais, sismos e cargas de reforço.

A perda da capacidade de carga pode estar relacionada ainda com a deterioração da formação rochosa com o tempo. As formações rochosas mais suscetíveis de alteração são arenitos mal cimentados e formações com argilas expansivas.

Outra causa importante de ruptura é devida à ação da água que incluem deterioração e subpressões nos blocos. Quando a rocha é competente, mas contém descontinuidades, a água pode passar e originar blocos potencialmente instáveis.

2.4. FUNDAÇÕES PROFUNDAS EM ROCHA

Neste trabalho, serão apresentadas as principais características desse tipo de fundação, processos executivos e alguns dados para servirem de base para projetos de futuras fundações em rocha, em específico, estaca tipo raiz.

A capacidade de carga da rocha e o contato concreto/rocha, pela ponta ou pelo atrito lateral dificilmente são conhecidos por uma série de fatores inerentes às características da rocha e da fundação, em específico, do tipo de estaca. A realização de provas de carga estáticas possibilitaria um conhecimento maior, mas, por um lado, quando realizadas, provas de carga geralmente não são levadas até a ruptura e, por outro lado, são onerosas tanto em tempo, quanto em custo direto. Ensaios de carregamento dinâmicos, por vezes também chamados de provas de carga dinâmicas, tem visado incrementar o conhecimento sobre a capacidade de carga e minimizar essa deficiência.

Estacas-Raiz

Segundo a NBR 6122, a estaca-raiz caracteriza-se pela execução (i) por perfuração rotativa ou rotoperçussiva e (ii) por uso de revestimento integral no trecho em solo que garante a estabilidade da perfuração (conjunto de tubos metálicos recuperáveis), e que é completada por colocação de armação em todo comprimento e preenchimento com argamassa cimento-areia (Velloso e Lopes, 2004).

A estaca raiz é uma estaca concretada “in loco”, com diâmetro acabado variando de 80 a 410 mm, no trecho em rocha há redução do diâmetro (ABEF, 2004).

A argamassa é adensada com o auxílio de pressão, em geral dada por ar comprimido.

As estacas raiz (na Itália, pali-radice) foram desenvolvidas, em sua origem, para a contenção de encostas, as quais eram cravadas formando reticulados. Posteriormente,

foram utilizadas em reforços de fundações e, em seguida, como fundações normais. Na figura 7 estão as fases de execução de uma estaca-raiz (Velloso e Lopes, 2004).

A estaca tipo raiz se caracteriza pelo atrito lateral elevado com o maciço (solo ou rocha) mediante aplicação de carga, pela versatilidade dos equipamentos utilizados que podem acessar áreas confinadas, pela execução com grandes inclinações e por atingirem grandes profundidades.

Essas estacas têm particularidades que permitem sua utilização em casos em que os demais tipos não podem ser empregados:

- No seu método executivo, há ferramentas que permitem executá-las mesmo em perfis geológicos com presença de matacões, rocha e até concreto.
- Não produzem choques nem vibrações, em razão da ausência de vibrações e de descompressão do terreno, no processo de perfuração, a estaca tipo raiz garante a integridade de edificações próximas eventualmente sensíveis.
- Os equipamentos são, em geral, de pequeno porte, o que possibilita o trabalho em ambientes restritos;
- Pela versatilidade do equipamento podem ser executadas na vertical ou em qualquer inclinação.

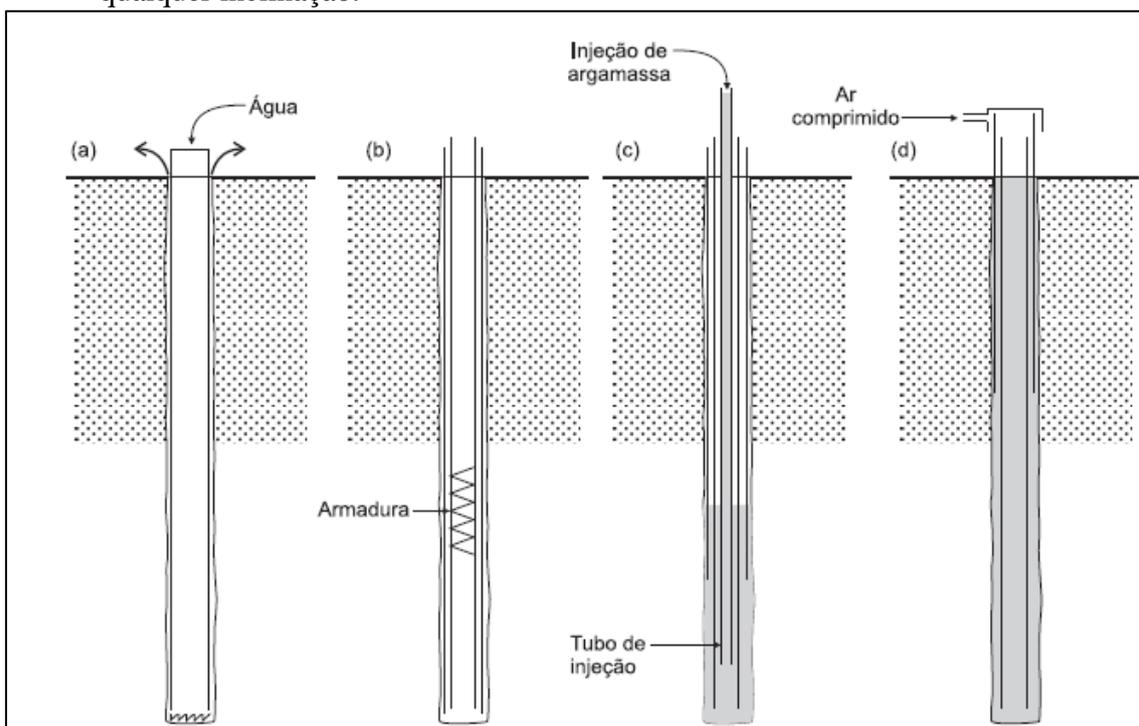


Figura 7. Etapas de execução de estaca raiz, (Velloso e Lopes, 2004)

Descreve-se o processo executivo dessas estacas como:

- 1) Perfuração: utiliza-se normalmente o processo rotativo, com circulação de água ou lama bentonítica na perfuração em solo, que permite a colocação de um tubo de revestimento provisório até a perfuração em solo. No encontro com a rocha, a perfuração prossegue com uma coroa diamantada ou, o que é mais comum, por processo percussivo (uso de “martelo de fundo”).
- 2) Armadura: terminada a perfuração, introduz-se a armadura de aço, constituída por uma única barra, ou um conjunto delas, devidamente estribadas (“gaiola”).

3) Concretagem: argamassa de areia e cimento é bombeada por um tubo até a ponta da estaca. À medida que a argamassa sobe pelo tubo de revestimento, este é concomitantemente retirado e são dados golpes de ar comprimido (com até 5 kgf/cm²), que adensam a argamassa e promovem o contato com o solo (favorecendo o atrito lateral).

Aplicações:

Além de ser aplicada nas fundações em rochas, podem ser aplicadas em vários casos, entre os quais se destacam os seguintes:

- Fundações em qualquer tipo de terreno e em locais de difícil acesso;
- Reforço de fundações;
- Estabilização de encostas;
- Paredes de contenção;

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na Zona Oeste da Região metropolitana do Recife, na cidade de São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil (Figura 8).



Figura 8 –Localização da área de estudo

3.1. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

Geologia Regional

A obra se situa no contexto geológico do embasamento pré-cambriano da região nordeste, denominada Província Borborema, especificamente sobre a unidade mais próxima à cidade de Recife, conhecida como Terreno Rio Capibaribe. São terrenos

antigos, formados principalmente por granitos de diversas composições, gnaisses e xistos, intensamente deformados por diversos processos tectônicos sobrepostos.

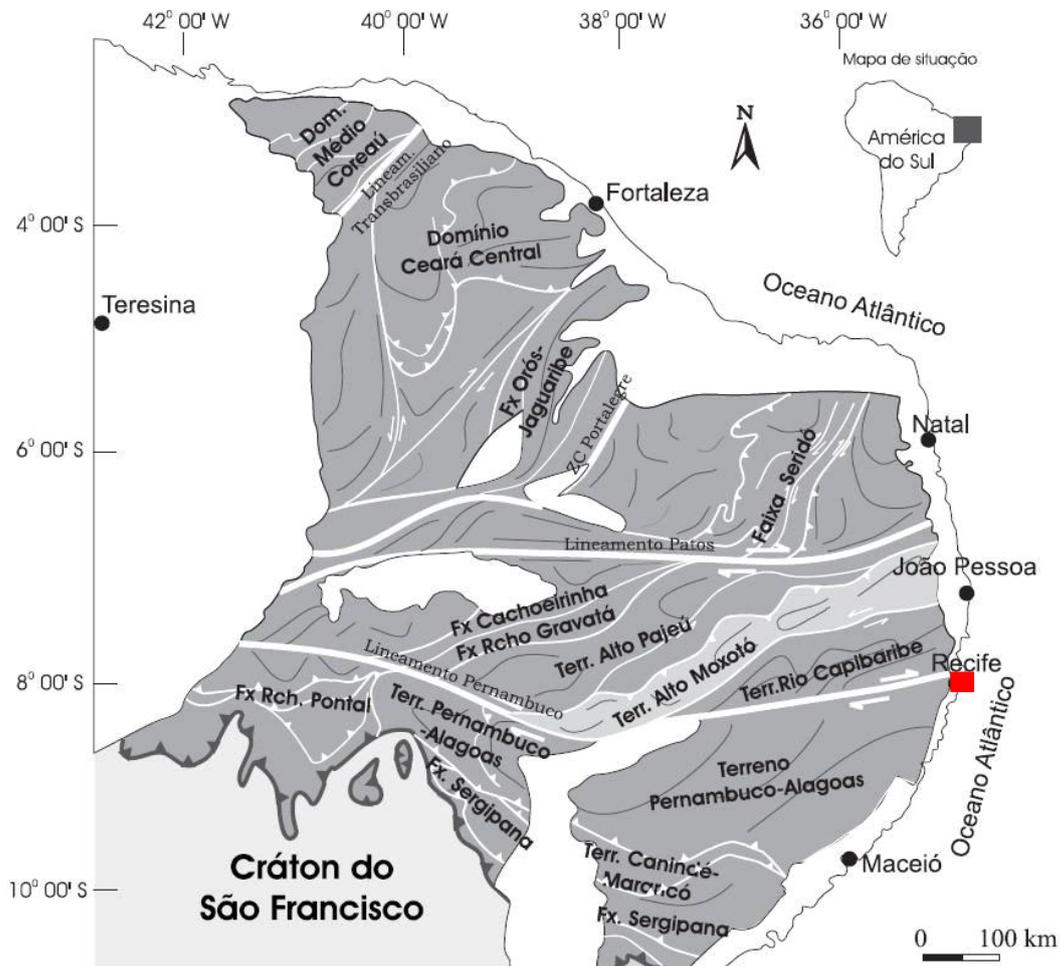


Figura 9. Mapa geológico indicando os domínios da Província Borborema, e indicação da área em estudo, em vermelho.

Geologia Local

A Obra está disposta em sua totalidade sobre os granitos do Complexo Salgadinho, situado no extremo leste do Terreno Rio Capibaribe, e seus solos de alteração. Ocorrem ainda, localmente, depósitos aluvionares de concentração de areias finas argilosas com matéria orgânica, associados à deposição de material carregado pelas drenagens que cruzam a área em direção ao Rio Capibaribe, situado a norte.

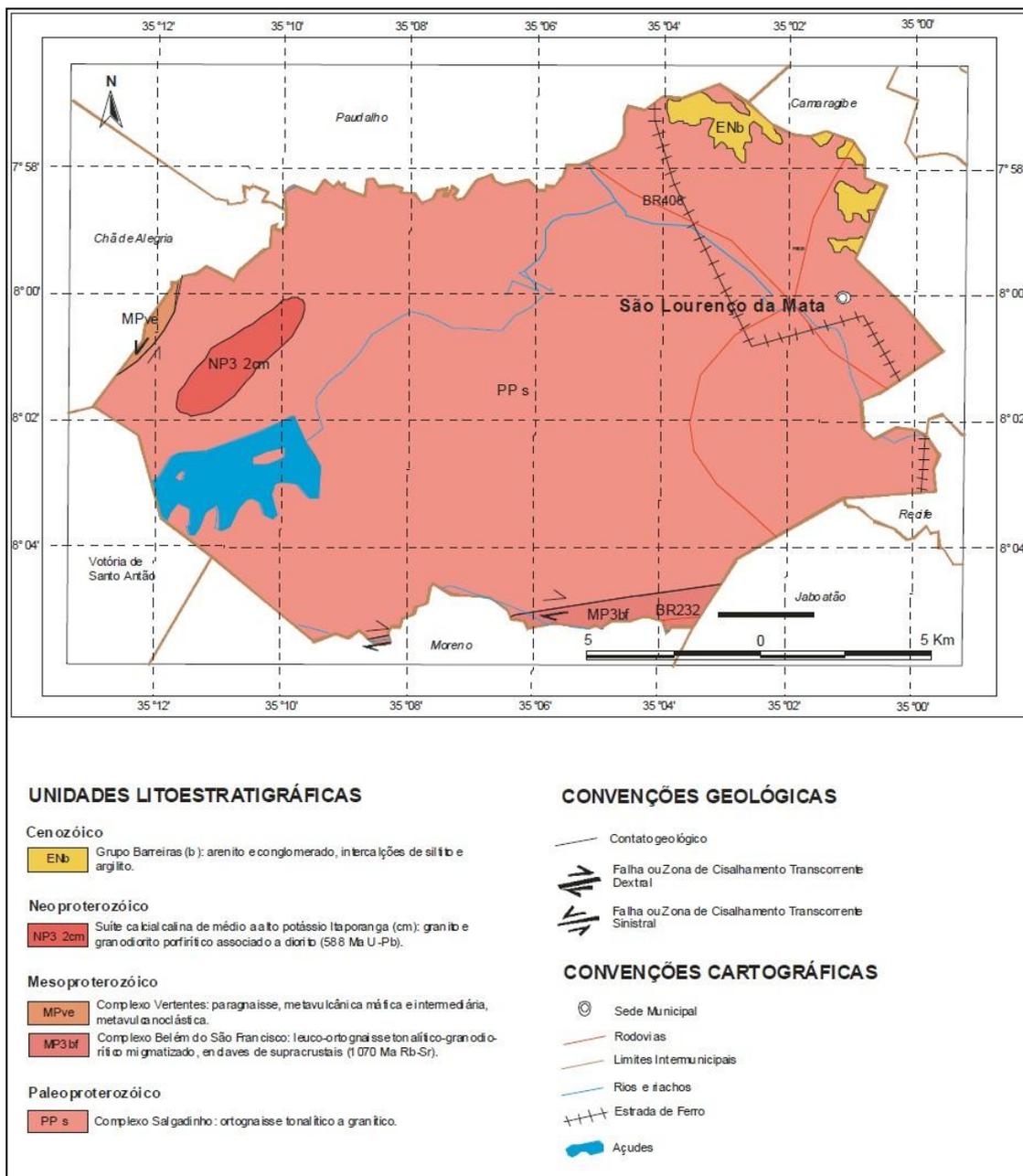


Figura 10. Mapa geológico do município de São Lourenço da Mata.

3.2. A OBRA

A construção caracteriza-se por uma obra de grande porte que apresenta seis níveis, dois subsolos, um pavimento térreo e mais três pavimentos superiores em uma área de aproximadamente 130.000m². Para melhor análise da mesma, foi dividida em trechos de estudo e posteriormente, caracterizado como taludes.

3.3. FUNDAÇÕES DA OBRA

A obra em questão consiste nas fundações de um estádio de futebol. Em parte da área do estádio, o topo rochoso encontra-se coberto por aluviões, coluviões e/ou solo residual e em outros trechos, a rocha aflora praticamente na superfície. Em função destas condicionantes, foram utilizadas duas soluções de fundação distintas:

- No caso de topo rochoso raso, a profundidades de 4 a 5m, foram executadas fundações diretas em sapatas apoiada em rocha;
- No caso do maciço rochoso com profundidades maiores que 5m foram executadas fundações profundas em estaca tipo raiz com embutimento em rocha.

As estacas tipo raiz utilizadas foram de 41 cm de diâmetro no trecho em solo e 31 cm no trecho em rocha, com comprimentos total entre 7 e 20 m.

Neste trabalho são apresentados os resultados das investigações realizadas para caracterização dos macios rochosos, os processos executivos e os controles realizados durante e após a execução das estacas raiz, embutidas em rocha, a fim de contribuir com o conhecimento desse tipo de fundação.

4. METODOLOGIA DAS INVESTIGAÇÕES REALIZADAS

4.1. INVESTIGAÇÕES DE CAMPO E LABORATÓRIO

Na grande maioria das obras, as investigações para a execução do projeto de fundações consistem de sondagens de simples reconhecimento com cravação do amostrador SPT. No caso de fundações em rocha, é recomendável que se realizem investigações de campo e laboratório mais refinadas, a fim de permitir o desenvolvimento de projetos mais otimizados.

4.1.1. Ensaio Geofísicos

Foi realizada na obra uma campanha de Investigação Geofísica pelos Métodos da Sísmica de Refração e Eletroresistividade.

Os métodos geofísicos são técnicas indiretas de investigação da subsuperfície através da aquisição e interpretação dos parâmetros físicos obtidos por meio de instrumentos especiais, caracterizando-se como métodos não invasivos ou não destrutivos. A aplicação de métodos geofísicos em uma área permite avaliar as condições geológicas locais através dos contrastes das propriedades físicas dos materiais de subsuperfície como, por exemplo: condutividade ou resistividade elétrica, velocidade de propagação da onda P ou onda S, permissividade dielétrica, magnetismo, densidade, etc, que podem ter como origem as diferenciações litológicas e outras heterogeneidades do terreno, tanto naturais como induzidas (Alta Resolução, 2012).

Uma das principais vantagens da aplicação das técnicas geofísicas em relação aos métodos tradicionais de investigação em subsuperfície (por exemplo, sondagens) é a varredura espacial de grandes áreas com menor custo relativo.

O objetivo do método sísmico foi de delimitar a interface solo/rocha alterada/rocha sã e, conseqüentemente, estimar as espessuras de cada camada identificada. Em síntese, a campanha geofísica foi realizada para subsidiar e complementar os estudos, fornecendo imagens da subsuperfície em termos da distribuição da propriedade física mensurada, que foi a velocidade de propagação da onda elásticas P.

PRINCÍPIOS DOS MÉTODOS EMPREGADOS

a) Sísmica de Refração

O método de refração sísmica é baseado no princípio de gerar uma frente de ondas sísmicas por uma fonte de energia (marreta, explosivo, queda de peso) e registrar este sinal através de diversos sensores (geofones) os quais são cravados no terreno ao longo de uma linha. As ondas compressoriais (ondas P) viajam nas rochas analogamente à propagação de ondas sonoras no ar. Frentes de ondas esféricas emanam da fonte, podendo-se imaginar as ondas sísmicas como raios sísmicos, os quais são normais à superfície esférica da onda (Figura 11).

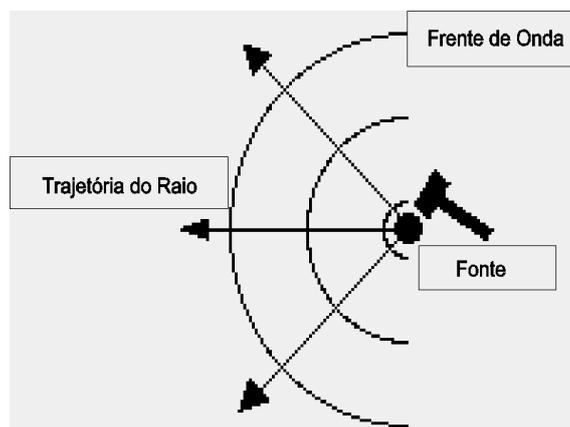


Figura 11. – Ilustração da geração e da propagação de ondas sísmicas, (Alta Resolução, 2011).

A velocidade com que a onda P se propaga no meio depende das propriedades físicas (p.e rigidez, grau de saturação, densidade) e do grau de homogeneidade e de fraturamento das rochas.

Desta forma, o método de refração sísmica mede o tempo que uma onda compressional (onda P) ou cisalhante (onda S), gerada por uma fonte sísmica, leva para viajar através das camadas da Terra e retornar aos sensores (geofones) instalados ao longo de uma linha na superfície do terreno (Figura 12).

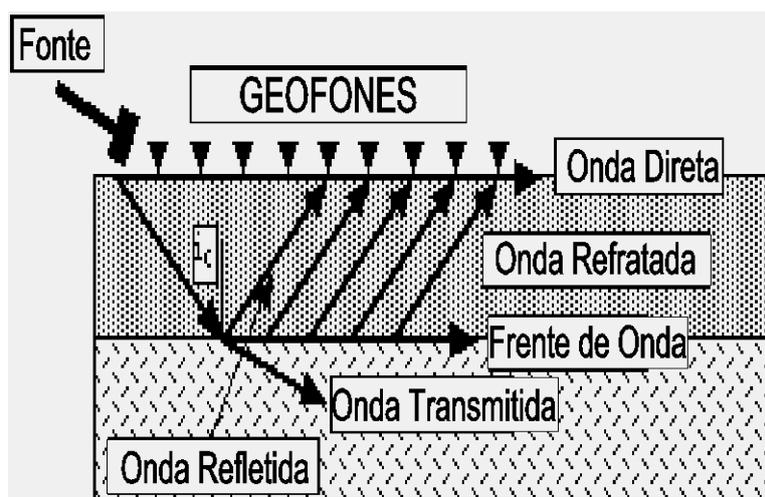


Figura 12. Esquema ilustrativo do princípio da refração sísmica (Alta Resolução, 2011).

Medindo-se o tempo de percurso da frente de onda e aplicando leis da física que governam a propagação de ondas, os diferentes horizontes geológicos podem ser inferidos em termos de velocidade e profundidade da interface.

Os dados de campo, portanto, consistem em medir distâncias entre a fonte sísmica e os sensores e o tempo de percurso das ondas sísmicas (desde a geração do impulso até sua chegada aos sensores). Da informação tempo-distância, podem ser calculadas e modeladas as velocidades e profundidades das camadas individuais.

Os fundamentos da teoria da refração sísmica baseiam-se na Lei de Snell, a qual governa a refração das ondas tanto sonoras como luminosas quando atravessam interfaces entre camadas possuindo diferentes velocidades. Quando uma onda se propaga através de uma camada e encontra outra camada com maior velocidade, parte da energia é refratada, e parte é refletida de volta à superfície.

Se uma série de geofones é espalhada ao longo de uma linha na superfície, o tempo de chegada da onda pode ser registrado versus a distância da fonte ao geofone, resultando em uma curva tempo-distância (dromocrônica). Foram executadas 22 Seções Sísmicas (Trechos A a V, ordenados alfabeticamente). A Tabela 15 apresenta um boletim com as linhas executadas e seus respectivos comprimentos em metros lineares.

Tabela 15. Descrição das seções executadas e seus respectivos comprimentos em metros lineares

Seção A	330m	Seção G	220m	Seção M	275m	Seção S	220m
Seção B	330m	Seção H	275m	Seção N	320m	Seção T	210m
Seção C	330m	Seção I	110m	Seção O	230m	Seção U	220m
Seção D	330m	Seção J	275m	Seção P	255m	Seção V	220m
Seção E	275m	Seção K	275m	Seção Q	275m		
Seção F	330m	Seção L	220m	Seção R	220m		

Foram executados 5.745 metros lineares de seções sísmicas distribuídos em vinte e dois trechos, não contínuos.

Uma Planta de Localização contendo os alinhamentos investigados e toda amarração topográfica (As circulares em vermelho as sondagens a percussão, as quadradas em verde, poços de inspeção, circulares em azul, sondagens mistas e as quadradas em vermelho, sondagem a trado) foi confeccionada e apresentada no Figura 13.

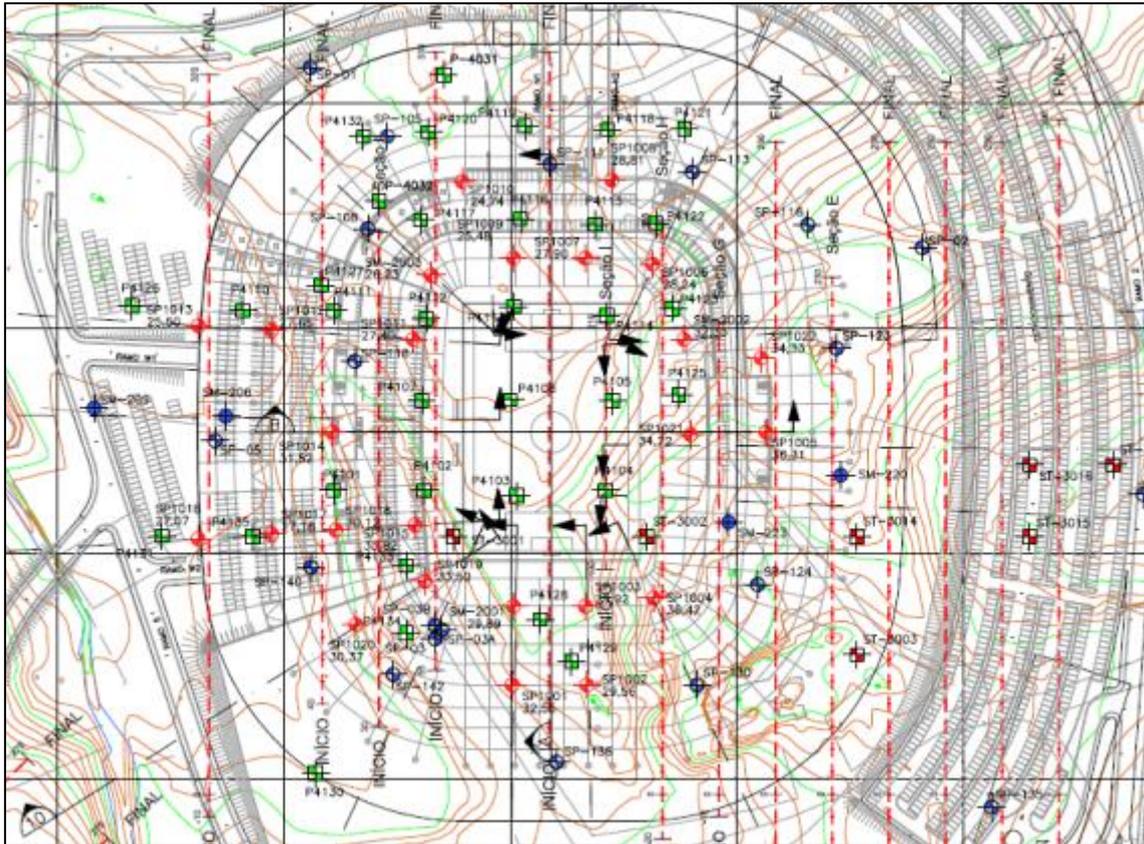


Figura 13. Localização da sísmica de refração. (EGT, 2011)

Os tempos da chegada da onda P foram lidos e organizados de forma a compilar as curvas tempo versus distância (dromocrônicas), base para os processos interpretativos e posteriormente a geração das Seções Sísmicas.

Ao analisar todas as dromocrônicas geradas para cada perfil sísmico levantado verificou-se que dois estratos ajustaram melhor os dados observados (tempo da chegada da onda P *versus* distância aos geofones). As velocidades destas camadas podem ser sintetizadas conforme segue:

- Camada 1 : Velocidades entre 0,4 a 1,2 km/s;
- Camada 2 : Velocidades superiores a 4,0 km/s;

A fim de facilitar o entendimento e para padronização dos resultados foi compilada uma legenda das informações para os estratos sísmicos, esta legenda é apresentada na Figura 14 e corresponde ao intervalo de velocidade sísmica dos estratos sísmicos mapeados.

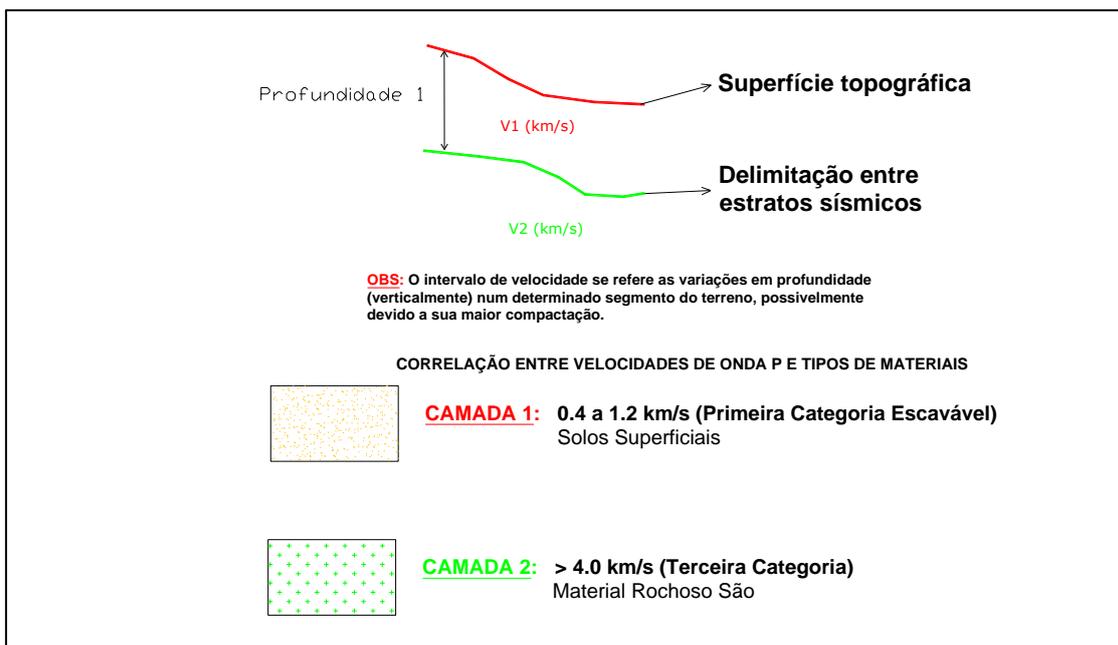


Figura 14. Síntese das informações geofísicas correlacionadas com as prováveis condições geológicas e uma primeira correlação quanto à escavação (Alta Resolução, 2012).

A Tabela 16 apresenta uma classificação da velocidade de propagação da onda sísmica (P) em relação a alguns materiais frequentemente encontrados durante os levantamentos sísmicos.

Tabela 16. Exemplos de valores de velocidades de propagação de ondas sísmicas longitudinais (ondas P)

VELOCIDADE (m/s)	PROVÁVEL TIPO DE MATERIAL
200 – 400	Solos, depósitos superficiais de sedimentos não-consolidados, colúvio
400 - 1.400	Argilas e areias, não-consolidadas a pouco consolidadas
1.400 – 1.800	Areias saturadas, argilas compactadas, rocha bastante alteradas
1.800 – 2.400	Sedimentos consolidados e provavelmente saturados, rochas metamórficas ou ígneas, altamente fraturadas e/ou alteradas, arenito e folhelhos
2.400 – 3.700	Folhelhos, arenitos, rochas ígneas e metamórficas alteradas e/ou fraturadas
3.700 – 4.500	Rochas ígneas e metamórficas fracamente alteradas e/ou fraturadas
4.500 – 6.000	Rochas ígneas e metamórficas sãs, não fraturadas

Reconhecendo o interesse e/ou necessidade de escavação em determinados trechos, os estratos sísmicos deste levantamento podem ser agrupados em três classes, procurando caracterizá-los de acordo com a velocidade e o grau de escarificabilidade, conforme a correlação existente entre velocidades sísmicas e escarificabilidade (Redaelli & Cerello, 1998) indicada na Tabela 17.

Tabela 17. Correlação entre velocidades sísmicas e escarificabilidade Redaelli & Cerello, 1998

Velocidade de Ondas sísmicas (m/s)	Característica do material	Categoria do material
300 a 800	Escavável (equipamento normal)	1 ^a
800 a 2200	escarificável (trator D-9)	1 ^a
2200 a 2600	Transição	2 ^a
>2600	Escavação por explosivo	3 ^a

A partir das informações diretas da Tabela 16, a qual associa as velocidades sísmicas para os diferentes materiais, e da Tabela 17 correlacionando velocidades sísmicas versus categoria do material quanto ao grau de escarificabilidade (Redaelli & Cerello, 1998), as três camadas sísmicas foram interpretadas e podem ser sintetizadas e apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18. Síntese dos resultados obtidos pelo método sísmico

CAMADA 1 (baixa velocidade 0,4 a 1,2 km/s)	Solos maduros, muito pouco a pouco consolidados na porção mais superficial. Argilas e areias pouco a medianamente compactados, saprolito com alguns trechos com rochas bastante alteradas. Em termos de escarificabilidade, a camada pertence à primeira categoria, ou seja, escavável e/ou escarificável. Novamente blocos de rochas (matações) podem ocorrer eventualmente no interior desta camada.
CAMADA 2 (alta velocidade > 4 km/s)	Topo rochoso, geralmente, composto por rocha pouco fraturada e, em termos do grau de escarificabilidade, composto por material de terceira categoria, desmonte somente por explosivo.

4.1.2. Investigações Mecânicas

As sondagens a percussão (SPT) e mistas (SM) foram executadas com fins de caracterizar os materiais da área, determinar o nível freático, a profundidade e qualidade do topo rochoso. Foram executadas quatro campanhas, a primeira delas em dezembro de 2008 (série SP01- 05), a segunda em abril de 2009 (série 100/200/300), a terceira executada entre agosto e novembro de 2010 (série 1000/2000) e a quarta executada entre abril e junho de 2011 (série 3000), figura 15.

Das sondagens executadas, somente as mistas da quarta etapa figura 16, foram utilizadas para análise de laboratório, porém as demais foram levadas em consideração para caracterização da área em estudo,.

As informações coletadas por meio das investigações geotécnicas – sondagens mecânicas (SPT/SM) e perfis sísmicos – têm a função de subsidiar a confecção de um modelo da forma do topo rochoso e as propriedades dos materiais encontrados em subsuperfície.

Porém, o perfil do terreno é complexo, como descrito acima, pelo padrão de alteração por intemperismo no maciço rochoso, que se inicia por meio de fraturas, resultando em contatos laterais entre solo e rocha e gerando numerosos matações em meio ao solo, o que pode causar interferências nos resultados das investigações, ainda mais nas sondagens a percussão e na resposta da geofísica.

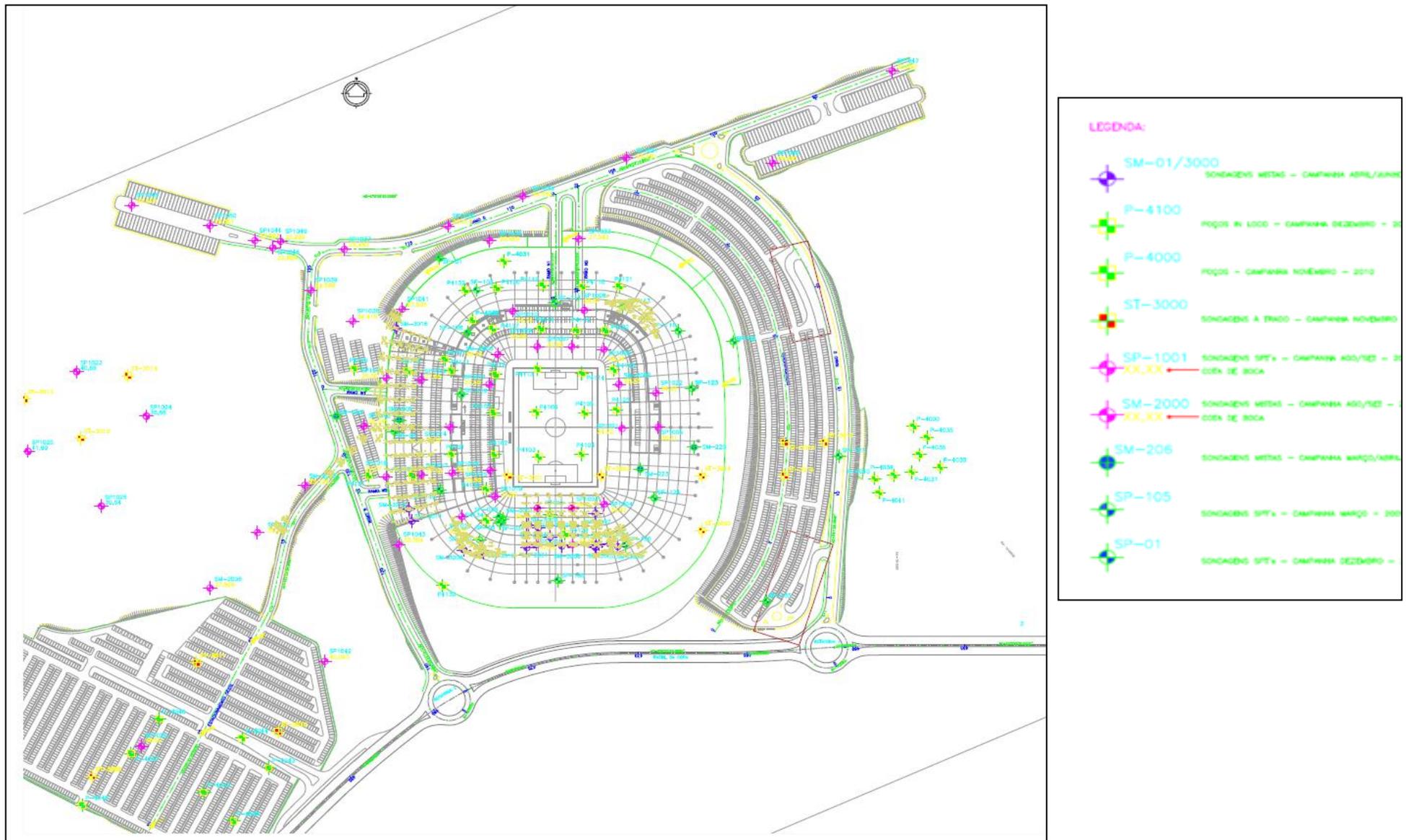


Figura 15. Localização de todas as sondagens realizadas na obra (EGT, 2011)

A obra foi dividida em dez módulos, onde somente os módulos Sul, Parte do Sudoeste, Sudoeste, Nordeste e Oeste 1 e 2 foram realizadas fundações profundas em rocha, objetivo da dissertação apresentada, excluindo o nordeste, as demais áreas foram executadas em fundações superficiais em sapatas, apoiadas em rocha.

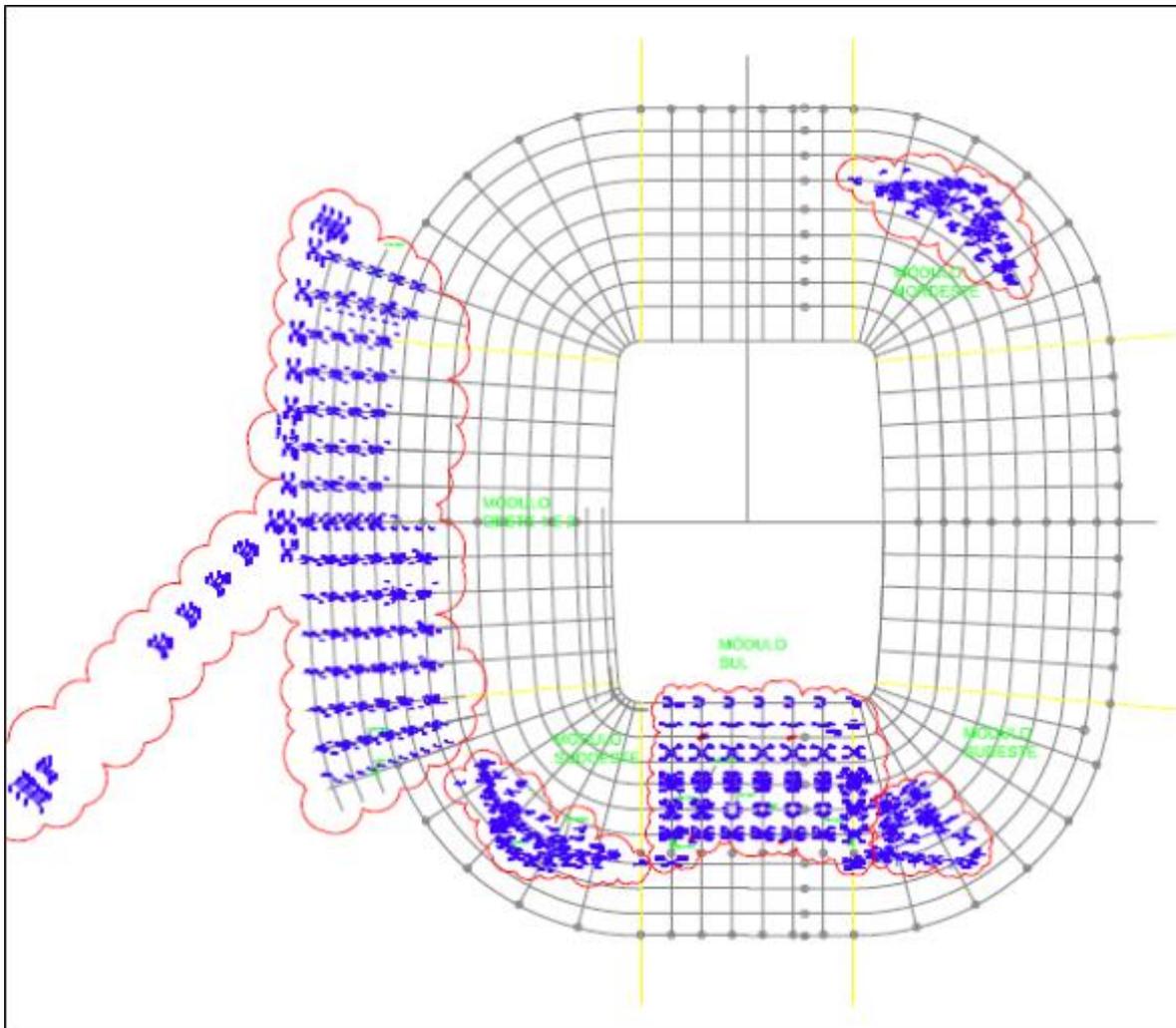


Figura 16. Localização das estacas da obra por módulo

Das sondagens realizadas, dez sondagens rotativas da quarta etapa, (Duas no módulo sudoeste, Três nos módulos oeste 1 e 2 e Cinco no módulo sul), foram escolhidas para serem executados ensaios de caracterização das rochas, de resistência a compressão uniaxial e ensaios petrográficos. As figuras 17 a 19 apresentam as locações das sondagens escolhidas por módulo.

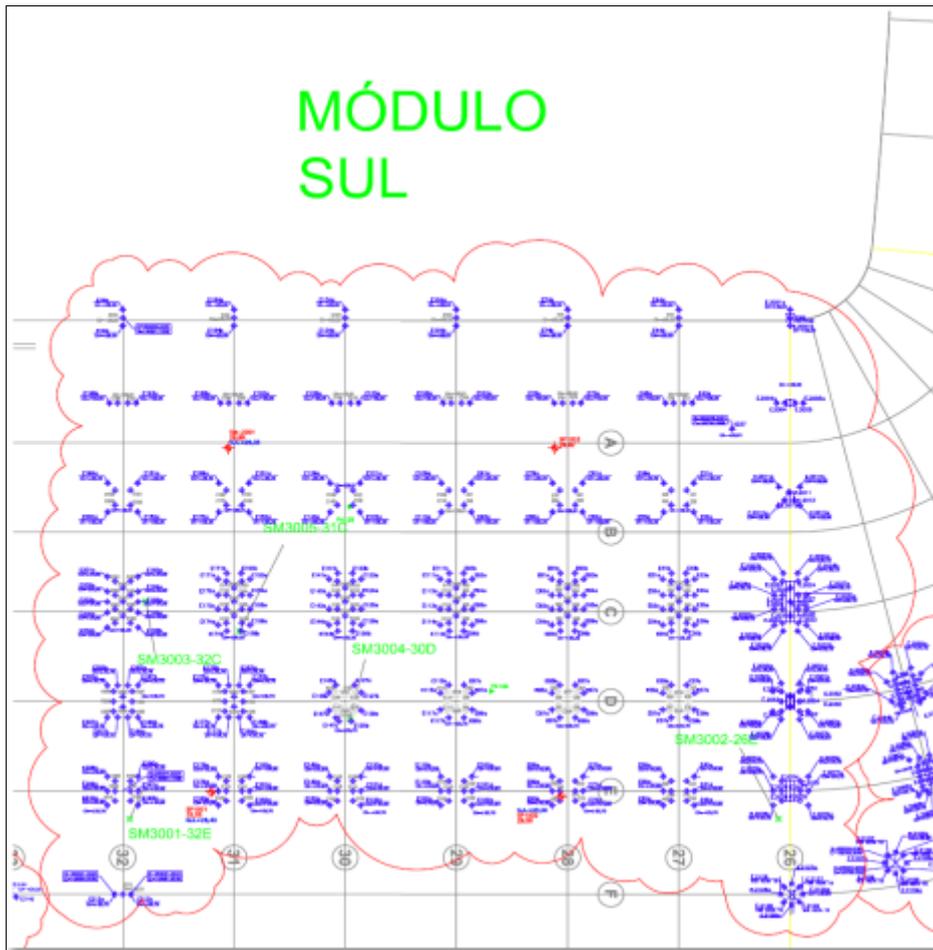


Figura 17. Sondagens Mistas - Módulo Sul

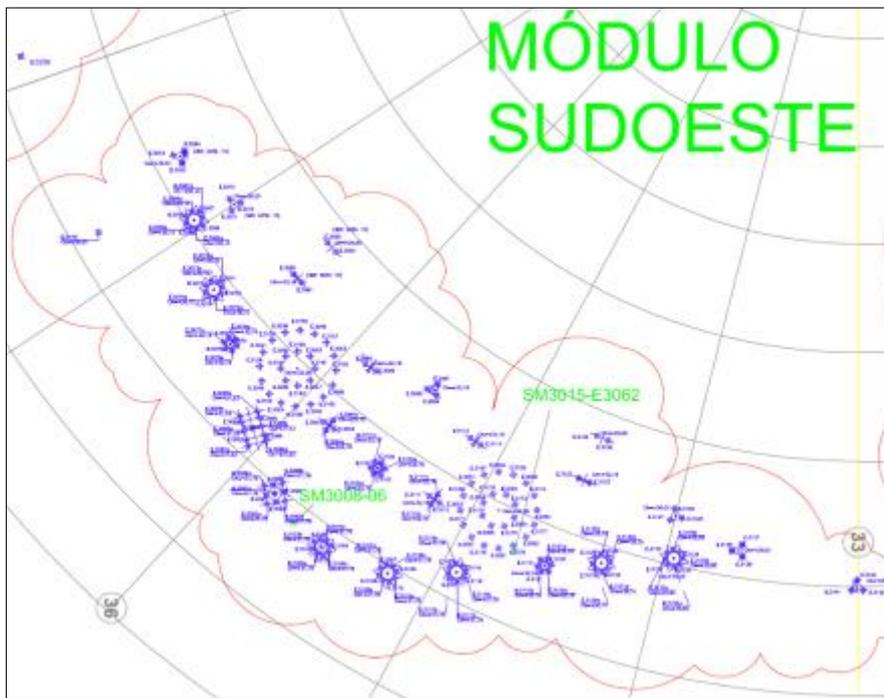


Figura 18. Sondagens Mistas - Módulo Sudoeste.

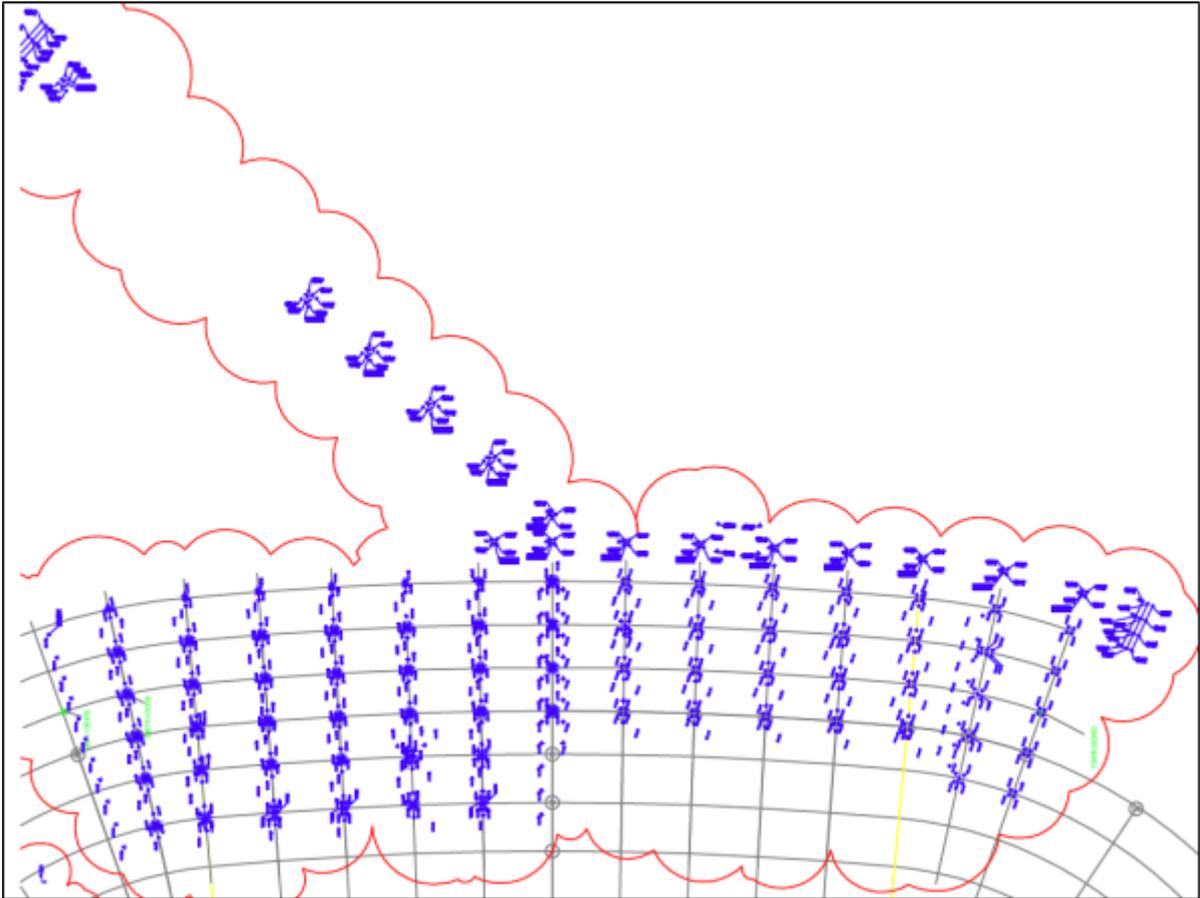


Figura 19. Sondagens Mistas - Módulo Oeste 1 e 2

O “impenetrável” das sondagens a percussão deve ser tratado com cuidado, pois neste ambiente é possível que o limite da sondagem tenha sido um dos numerosos blocos ou matacões imersos em solo.

Algumas das sondagens – especificamente da campanha 200 – não foram consideradas por terem apresentado resultados muito diferentes do modelo geológico caracterizado pelas sondagens imediatamente adjacentes.

4.1.3. Ensaios de Laboratório

Nas amostras retiradas das sondagens rotativas foram realizadas, ensaios de caracterização da rocha, que podem ser designadas como propriedades índices das rochas, dentre as quais se podem destacar: Absorção, na qual certa quantidade de líquido ocupa os espaços vazios de uma rocha; Porosidade identifica a proporção relativa de sólidos e vazios e; Peso específico, que fornece informações indiretas sobre os constituintes da rocha.

Foram realizados também ensaio de resistência à compressão simples ou uniaxial, e análise petrográfica em algumas amostras.

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

O ensaio de caracterização física foi realizado no Laboratório de Engenharia de Minas da UFPE, seguindo as recomendações da norma NBR 12766: “Rochas para

revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d’água aparente”. Estes ensaios foram utilizados para caracterizar o estado físico das rochas. A Figura 20 apresenta, as amostras de rocha obtida nas sondagens rotativas e utilizada neste ensaio.



Figura 20. Amostras de Rocha utilizadas no ensaio.

O ensaio consiste em secar os corpos-de-prova em estufa, a uma temperatura de $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$ por 24 horas, e ao retirá-los, deixá-los esfriar à temperatura ambiente. Após isso, pesa-se e anota-se a massa de cada corpo de prova (massa A). Colocam-se os corpos de prova numa bandeja e adiciona-se água até $1/3$ de suas alturas, após 4 horas adiciona-se água até $2/3$ e depois de mais 4 horas completa-se a submersão dos corpos de prova e deixa-se completar o tempo total de 24 horas.

Transcorridas 24 horas de submersão, enxuga-se a superfície dos corpos de prova e pesa se ao ar (massa B). Finalmente, pesam-se os corpos de prova na condição submersa (massa C), utilizando-se uma balança de pesagem hidrostática.

Para a determinação dos parâmetros físicos, a saber, massa específica aparente seca ($\rho_{a\text{sec}}$), massa específica aparente saturada ($\rho_{a\text{sat}}$), porosidade aparente (η_a) e absorção d’água aparente (α_a) foram utilizadas as expressões apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19. Formulações utilizadas na determinação dos parâmetros físicos

$\rho_{a\text{sec}} (\text{ML}^{-3})$	$\rho_{a\text{sat}} (\text{ML}^{-3})$	$\eta_a (\%)$	$\alpha_a (\%)$
$\rho_{a\text{sec}} = A/(B-C)$	$\rho_{a\text{sat}} = B/(B-C)$	$\eta_a = ((B-A)/(B-C)).100$	$\alpha_a = ((B-A)/A).100$

Sendo:

A → Massa seca; B → Massa saturada superfície seca; C → Massa submersa para amostra saturada.

ENSAIO DE RESISTÊNCIA Á COMPRESSÃO SÍMPLES OU UNIAXIAL

O ensaio de compressão simples consiste na determinação das características mecânicas das rochas através em um corpo de prova de rocha de forma cilíndrica, submetido a uma tensão normal nas bases igual à razão da força normal pela área da base figura 21.



Figura 21. Equipamento utilizado para o ensaio de compressão uniaxial, com uma capacidade de carregamento de até 300 toneladas.

O teste de resistência à compressão uniaxial é usualmente aconselhado por ser um dos mais rigorosos testes de resistência de um material, e de simples interpretação. Deste ensaio são obtidas importantes informações para o estudo de propriedades mecânicas da rocha (Barros, 2000).

Portanto, este parâmetro é a propriedade mais investigada na mecânica das rochas. Além disso, os outros parâmetros avaliados necessitam de equipamentos mais sofisticados.

Como consequência, hoje faz parte de qualquer estudo sobre caracterizações tanto do material intacto, quanto do maciço rochoso.

Por muitos anos o teste de compressão uniaxial foi o principal método quantitativo para caracterização da resistência de materiais rochosos.

Algumas classificações de maciços rochosos têm por base este parâmetro (Deere & Miller, 1966; Bieniawski, 1973; ISRM, 1981, etc.).

A resistência à compressão uniaxial correlaciona-se muito bem com os principais meios mecânicos de atuação nas fundações em rocha, seja ela para fundações superficiais, para estimar as taxas de apoio, quanto para fundação profunda para contribuir no cálculo de capacidade de carga.

O teste de resistência é realizado por meio de um carregamento uniaxial numa amostra cilíndrica ou prisma de rocha. A célula de carga ou manômetro calibrado é usada para

determinar a carga de Pico P (Figura 22), e o valor da resistência σ_c é obtido pela divisão de P pela área da seção transversal A, da amostra (Franklin, 1989).



Figura 22. Determinação e leitura da carga aplicada

Preparação das Amostras

É notado que o comportamento dos corpos de prova que são curtos em relação ao seu diâmetro é afetado fortemente pelo contato com as rótulas entre os quais eles são comprimidos. Mesmo quando as superfícies do corpo de prova e as rótulas são planos e paralelos, pois a rigidez das rótulas restringe a expansão lateral das faces (topo e base) do corpo de prova. (Jaeger e Cook, 1969).

Vários expedientes têm sido adaptados para evitar o efeito da descontinuidade na seção e propriedades no contato entre o corpo de prova e as rótulas. A relação h/d entre 2,5 a 3,0 é executada como a maneira mais comum, para permitir que o corpo de prova expanda livremente nos contatos entre a base e o topo com as rótulas (Jaeger e Cook, 1969, Jumikis 1983, Franklin 1989). Outros pesquisadores têm tentado outros meios como: polir as rótulas, lubrificando com grafita, molibdenita e outros lubrificantes sólidos, ou usando uma tinta especial para as rótulas, no caso dessa dissertação, foi inserido madeiras (com espessuras de 2 a 3 mm), entre as rótulas e os topos do corpo de prova.

As condições que irão refletir a verdadeira resistência são: 1 - o diâmetro do corpo de prova deve ter no mínimo 50 mm, e 2 - pelo menos o diâmetro deve ser 10 vezes o tamanho do maior grão da rocha, se isto não ocorrer, poderá correr o risco de determinar a resistência do mineral e não do conjunto (rocha), (Franklin, 1989). A carga deve ser aplicada através de um assento esférico para acomodar a falta de paralelismo entre as faces (base e topo), e não uniformidade da tensão. A tensão aplicada a uma razão controlada dentro da faixa de 0,5 a 1,0 MPa/s, tal que a ruptura ocorra dentro de 5 a 10 min.

É fator importante observar que as faces devam ser perpendiculares ao eixo do cilindro. Como desvantagem deste teste pode-se incluir o tempo e o esforço necessário para cortar e aplainar as faces, (topo e base). O teste pode ser usado apenas quando o furo tem corpos de provas de tamanho adequado e suficientemente firme para permitir o teste (Franklin, 1989).

ANÁLISE PETROGRÁFICA

A análise petrográfica, também chamada de método petrográfico, é preconizada pela NBR 15577-3 (2008).



Figura 23. Amostras escolhidas e Corte e regularização das mesmas

Entre as vinte amostras escolhidas para fazer o ensaio de resistência à compressão uniaxial, oito amostras foram coletadas do mesmo material e preparadas no Laboratório de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco, para análise petrográfica.

A primeira fase de preparação consistiu na escolha de amostras representativas (Figura 23) e na confecção das lâminas e posteriormente proceder à análise petrográfica das mesmas.

Este método envolve tanto observações macroscópicas, quanto análises através do microscópio óptico, figura 24, que permitem identificar a natureza ou tipo de rocha, os minerais presentes e suas inter-relações, o grau de alteração, o estado microfissural dos cristais, sua granulação e textura, além de outras características que possam influenciar na durabilidade da rocha. Através desse ensaio é possível fazer uma reconstituição histórica da rocha, onde se incluem informações que vão desde as condições físicas químicas atuantes na época de sua formação até a identificação de eventos geológicos (tectônicos, hidrotermais, metassomáticos, intempéricos) a que foi submetida ao longo de sua existência (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).



Figura 24. Microscópio óptico e lâmina de rocha

Certas estruturas, como, por exemplo, a microfissuração, pode exercer papel relevante no comportamento mecânico dos materiais rochosos, com influência significativa em suas propriedades.

5. EXECUÇÃO E CONTROLE DAS ESTACAS RAIZ EM ROCHA

5.1. CONTROLES DURANTE A EXECUÇÃO

5.1.1. Etapas de Execução e controle das estacas raiz

A execução de uma estaca raiz compreende fundamentalmente a três fases executivas:

1. Perfuração auxiliada por circulação de água;
2. Montagem e colocação da armadura;
3. Preenchimento com argamassa;

Em todas as etapas deve haver uma criteriosa supervisão durante a execução, pois quaisquer falhas executiva em uma das fases, pode resultar diminuição considerável na capacidade de carga na estaca.

Perfuração em solo

A execução deve ser verificada “*full time*” por um técnico especializado, além dos profissionais envolvidos da empresa executora. O mesmo deve verificar o comprimento perfurado em solo com a introdução integral de tubo de revestimento segmentados e rosqueados um a um (Figura 25).

Utilizando a composição de tubos de injeção, confere-se a profundidade de perfuração.



Figura 25. Perfuração de estaca raiz em solo.

É necessário confrontar a medida resultante da soma dos comprimentos do segmento dos tubos de revestimento empregados, com a medida projetada. A análise das diferenças encontradas deve ser verificada criteriosamente, já que o processo de perfuração da estaca raiz é por si só uma sondagem.

Perfuração em rocha

Análise relativamente fácil de ser feita, já que neste momento deve-se haver a troca de equipamento para a perfuração em rocha utiliza-se martelo de fundo pneumático, além disso o barulho da perfuração é diferenciado bem como o material que está sendo expelido do furo.

Deve-se verificar também quanto tempo durou a perfuração em rocha, para ter uma noção das próximas perfurações com o mesmo embutimento da estaca em rocha e mesma capacidade do compressor. O tempo de perfuração da rocha está associado ao material perfurado e a capacidade do compressor, muitas vezes se a capacidade do compressor for muito baixa, pode-se pensar que está perfurando uma rocha mais resistente e, no entanto, o problema está na pressão injetada. Está é uma etapa que requer bastante atenção, já que só poderá ser conferido o comprimento perfurado com a observação da descida do martelo de fundo, tendo-se que se preocupar com os comprimentos perfurados em rocha menores que os especificados em projeto, pois estes devem ser rigorosamente iguais ou maiores que os projetados.

Montagem e colocação da armadura

A montagem da armadura da estaca deve ser feita em forma de gaiola, garantindo o cobrimento mínimo de 2 cm.

As emendas devem ser feitas, quando necessárias, conforme NBR 6118, garantindo sua axialidade.

Durante a instalação das armaduras, deve-se executar a limpeza interna do tubo de revestimento, utilizando para isto a composição de lavagem, que deve ser introduzida até a cota inferior da estaca. A limpeza é concluída quando a água de retorno não apresentar mais traço de material transportado.

Observar exatamente qual o comprimento total da estaca perfurada, verificando se a armadura foi colocada até o fim.



Figura 26. Instalação da armadura

Preenchimento com a argamassa

Durante a fase de preenchimento com a argamassa deve-se garantir que o tubo de PVC seja introduzido até o final da perfuração e executar-se a injeção de argamassa fluida de baixo para cima até que ela preencha totalmente a perfuração e vaze pelo topo do tubo, de modo a expulsar todas as impurezas da perfuração. Em seguida é rosqueada no topo do tubo uma tampa ligada a um compressor de ar que injeta golpes de ar comprimido com pressões de 49 KPa a 392 KPa.



Figura 27. Detalhe do tubo de injeção, instalado no interior do revestimento.

Os dados de todas as etapas de execução podem ser registrados para análise das demais estacas a executar. Na obra em estudo, utilizou-se a tabela de acompanhamento da

ABEF (Figura 28), com algumas adaptações que foram necessárias, por exemplo, o acréscimo do controle do tempo de perfuração em solo e em rocha, para estimativa em outras perfurações em trechos de mesmas características geológicas.

Empresa Executante		Boletim de execução de Estaca Raiz				
Obra / Local: _____						
Localização:				N° Estaca/ETXO:		
Cota terreno natural:				Cota apoio projeto:		
Carga de Trabalho: (KN)				Tipo Estaca:		
Perfuração - Campo						
Início		Término		Diâmetro do revestim. (mm)	Comprimento	Inclinação
Data	Hora	Data	Hora			
Profundidade			Classificação do Solo			
Início	Término	Total (m)				
Características da Armação						
Trecho	Armação			Estribo	Número de Emendas	
Em solo						
Em rocha						
Verificação da profundidade da estaca - liberação para injeção		<i>estaca/ETXO</i>				
Injeção						
Data	Horário		Pressão de Injeção (kgf/cm ²)	Quantidade de sacos de Cimento (50Kg)	Quantidade de areia	
	Início	Término				
Observações:						
Empresa executante						

Figura 28. Modelo de Boletim de acompanhamento ABEF adaptado (2010)

Durante a execução de todas as estacas essas informações foram registradas, tendo um boletim para cada estaca, e reunidas em uma única planilha, para análise.

Esses registros foram feitos diários para evitar problemas com controle desses boletins de acompanhamento, já que são dados de elevada importância para a obra e para futuros trabalhos relacionados a este assunto.

Abaixo é introduzida uma tabela de alguns dados, estando apenas as estacas que foram realizados os ensaios de prova de carga dinâmica, para futuras análise no capítulo de controle pós execução.

Foram registradas aqui informações de 91 estacas distribuídas pelos trechos sul, sudeste, sudoeste e oeste 1 e 2. A finalidade da apresentação desses dados é verificar a heterogeneidade do terreno com dados de campo, que são os tempos de perfuração das estacas no trecho em rocha. Na tabela algumas estacas com mesma profundidade em rocha ou bastante próximas, apresentar o tempo de perfuração bastante diferente, mostrando uma rocha mais ou menos resistente, a depender do trecho e sendo confirmado posteriormente pelos ensaios de resistência a compressão.

É importante ressaltar que os registros dos tempos de perfuração deve ser separado, para cada estágio de perfuração (solo/rocha). Em algumas estacas, porém o registro do tempo pode ter apresentado algum erro, já que pode acontecer de dar início á execução de uma estaca num dia e concluir no outro, perdendo-se o controle do momento em que iniciou e concluiu, subtraindo o tempo da paralização.

Tabela 20. Registros de Perfuração das estacas

EIXO	TRECHO	ESTACA	SONDAGEM MISTA	COMPRI MENTO SOLO (r)	COMPRIMEN TO ROCHA (m)	COMPRIMEN TO REAL (m)	TEMPO PERF. SOLO	TEMPO PERF. ROCHA
23-24	SUDESTE	E2096	3002	1,00	6,50	7,50	00:29:00	02:31:00
23-24	SUDESTE	E2097	3002	1,00	6,50	7,50	00:45:00	03:01:00
23-24	SUDESTE	E2098	3002	1,00	6,50	7,50	00:54:00	02:52:00
23-24	SUDESTE	E2099	3002	1,00	6,50	7,50	00:21:00	01:30:00
23-24	SUDESTE	E2102	3002	1,00	6,50	7,50	00:15:00	01:30:00
23-24	SUDESTE	E2120	3002	2,50	5,00	7,50	00:13:00	01:35:00
23-24	SUDESTE	E2123	3002	1,60	6,00	7,60	00:25:00	02:42:00
23-24	SUDESTE	E2124	3002	2,50	6,50	9,00	00:28:00	03:05:00
23-24	SUDESTE	E2131	3002	1,60	6,00	7,60	00:20:00	02:00:00
23-24	SUDESTE	E2132	3002	1,50	6,00	7,50	00:20:00	02:17:00
23-24	SUDESTE	E2133	3002	1,50	6,00	7,50	00:34:00	02:25:00
23-24	SUDESTE	E2134	3002	1,50	6,00	7,50	00:14:00	01:34:00
24	SUDESTE	E2066A	3002	3,00	6,20	9,60	00:11:00	02:19:00
24	SUDESTE	E2072A	3002	2,57	6,42	9,50	00:07:00	01:31:00
24	SUDESTE	E2094A	3002	1,08	7,20	8,50	00:12:00	00:56:00
24-25	SUDESTE	E2118	3002	1,00	6,50	7,50	00:25:00	02:05:00
25	SUDESTE	E2059A	3002	4,43	8,53	13,33	00:13:00	01:30:00
25	SUDESTE	E2064A	3002	3,88	8,87	12,75	00:20:00	01:24:00
25	SUDESTE	E2087B	3002	2,60	5,10	8,00	00:20:00	00:51:00
25	SUDESTE	E2111	3002	4,00	5,00	9,00	00:28:00	01:21:00
25	SUDESTE	E2112	3002	3,50	5,00	8,50	00:40:00	02:58:00
25-26	SUDESTE	E2105	3002	1,30	6,50	7,80	00:12:00	02:52:00
25-26	SUDESTE	E2108A	3002	4,70	8,35	14,60	01:40:00	01:50:00
26	SUDESTE	E2023B	3002	7,10	2,83	9,93	00:20:00	01:45:00
26	SUDESTE	E2033A	3002	6,80	7,70	14,50	00:50:00	01:00:00
26	SUDESTE	E2057A	3002	7,20	7,90	15,50	00:20:00	01:35:00
26	SUDESTE	E2079A	3002	10,78	5,00	16,08	00:10:00	00:57:00
26	SUDESTE	E2127A	3002	11,60	5,00	16,90	00:40:00	00:57:00
26	SUDESTE	E2129A	3002	10,50	5,00	16,70	00:15:00	02:35:00
27	SUL	E44B	3003	2,80	5,70	8,50	00:10:00	00:33:00
27	SUL	E49A	3003	6,40	5,00	12,60	00:26:00	00:47:00
27	SUL	E54A	3005	12,30	5,00	18,24	00:42:00	02:15:00
27	SUL	E37A	3005	10,72	5,07	18,60	02:10:00	01:21:00
27	SUL	E42A	3005	11,50	5,00	16,90	00:25:00	00:50:00
28	SUL	E79A	3003	5,00	5,00	13,70	00:20:00	01:00:00
28	SUL	E80A	3003	5,50	6,20	13,70	00:22:00	01:05:00
28	SUL	E84A	3005	13,00	5,00	19,20	00:45:00	01:25:00
28	SUL	E85A	3005	13,73	5,00	19,05	00:35:00	01:00:00
28	SUL	E90A	3005	12,56	7,00	19,85	01:00:00	01:30:00
29	SUL	E104B	3003	8,00	5,00	15,50	00:38:00	02:20:00
29	SUL	E108A	3003	7,60	5,00	13,90	00:19:00	01:15:00
29	SUL	E92A	3003	6,50	5,00	12,50	00:10:00	01:21:00
29	SUL	E109A	3003	6,70	5,00	12,00	00:22:00	01:01:00
29	SUL	E96A	3005	12,88	5,00	18,14	00:21:00	01:03:00
29	SUL	E99B	3004	12,70	5,00	17,70	00:28:00	01:19:00

29	SUL	E102A	3004	12,80	5,00	20,00	00:47:00	03:37:00
30	SUL	E133A	3003	7,70	5,00	14,50	00:24:00	01:33:00
30	SUL	E122	3005	6,00	5,00	11,00	00:21:00	01:08:00
30	SUL	E139A	3005	5,90	5,00	11,50	00:30:00	01:20:00
30	SUL	E140	3005	6,00	5,00	11,00	00:20:00	01:17:00
30	SUL	E144A	3005	11,75	6,25	18,00	03:15:00	01:25:00
30	SUL	E147A	3004	6,96	5,06	18,00	00:32:00	03:45:00
30	SUL	E150A	3004	12,57	5,63	18,20	00:23:00	01:17:00
31	SUL	E174B	3005	7,14	6,30	15,60	01:30:00	01:12:00
31	SUL	E177A	3004	4,95	6,50	13,00	00:15:00	04:35:00
31	SUL	E180A	3001	7,56	5,00	16,40	00:27:00	01:05:00
32	SUL	E186B	3003	5,40	8,00	14,00	00:49:00	02:29:00
32	SUL	E207A	3001	3,40	7,90	13,40	00:15:00	01:15:00
32	SUL	E210A	3001	3,95	7,20	13,00	00:23:00	01:13:00
34-35	SUDOESTE	E3120A	3015	4,14	8,52	14,40	00:06:00	01:45:00
34-35	SUDOESTE	E3130	3015	4,00	5,00	9,00	00:35:00	01:32:00
35	SUDOESTE	E3051	3015	3,00	5,00	8,00	00:14:00	01:12:00
35	SUDOESTE	E3062	3015	2,60	5,00	7,60	00:22:00	01:33:00
35-36	SUDOESTE	E3091	3008	5,90	5,00	10,90	00:28:00	02:12:00
35-36	SUDOESTE	E3091A	3008	8,80	6,22	15,02	00:30:00	01:36:00
35-36	SUDOESTE	E3092	3008	5,10	5,00	10,10	00:22:00	01:17:00
35-36	SUDOESTE	E3103	3008	4,00	6,50	10,50	00:30:00	02:00:00
35-36	SUDOESTE	E3104	3008	7,00	5,00	12,00	00:21:00	01:11:00
35-36	SUDOESTE	E3108A	3008	8,48	6,87	15,35	01:48:00	01:46:00
36	SUDOESTE	E3039	3008	3,50	5,00	8,50	01:50:00	00:20:00
36-37	SUDOESTE	E3075	3008	4,00	5,00	9,00	00:25:00	02:45:00
36-37	SUDOESTE	E3079	3008	4,00	5,00	9,00	00:32:00	03:27:00
36-37	SUDOESTE	E3088A	3008	6,10	6,83	15,03	00:50:00	04:45:00
38'	SUDOESTE	E5145	3013	9,25	6,80	19,27	00:58:00	01:25:00
39	OESTE 2	E5123	3013	7,96	4,03	12,70	00:23:00	01:10:00
40	OESTE 2	E5107	3013	6,80	4,00	10,80	00:30:00	02:00:00
41	OESTE 2	E5076	3013	6,04	5,00	12,00	00:19:00	00:53:00
42	OESTE 2	E5059	3013	4,52	4,10	8,62	00:26:00	00:50:00
42	OESTE 2	E5065	3013	6,03	6,51	12,54	00:15:00	00:50:00
43	OESTE 2	E5181	3013	5,63	4,07	9,70	00:25:00	00:52:00
43	OESTE 2	E5027	3013	3,30	5,00	8,30	00:18:00	03:19:00
44	OESTE 2	E5013	3013	4,00	5,03	9,83	00:35:00	01:14:00
45	OESTE 1	E7199	3016	5,90	4,00	10,40	00:42:00	00:55:00
45	OESTE 1	E7202	3016	4,50	5,00	9,50	00:25:00	00:56:00
45	OESTE 1	E7021	3016	6,20	5,00	11,20	00:45:00	00:58:00
46	OESTE 1	E7041	3016	5,60	5,00	11,10	00:32:00	00:45:00
46	OESTE 1	E7158	3016	5,68	5,00	12,07	00:26:00	04:04:00
47	OESTE 1	E7186	3016	5,50	4,90	10,70	00:19:00	02:22:00
48	OESTE 1	E7088	3016	5,45	4,00	9,80	00:45:00	00:48:00
49	OESTE 1	E7107	3016	3,45	5,00	10,90	00:37:00	00:53:00
50	OESTE 1	E7224	3016	3,60	4,00	10,00	00:09:00	00:33:00

Com os dados apresentados, pode-se analisar os diferentes tipos de maciços na obra, e os tempos de perfuração em rocha médio para cada maciço.

No maciço sudeste foram analisadas 29 estacas, com comprimentos embutidos em rocha que variaram entre 2,83 e 8,87 m, as quais neste trecho todas projetadas para ser embutida 5 m em rocha. Porém, durante a perfuração houve em alguns casos a não continuidade de rocha de boa qualidade, sendo estendida a perfuração até completar os 5m contínuos. Além disso, o tempo de perfuração em rocha para essa variação de comprimentos ficou de 51min a 3:05 hs, ficando distribuídas, conforme gráfico abaixo.

A figura 29 ilustra de forma esquemática a distribuição de frequência dos tempos gasto para perfurar em média 6,20 m em rocha de 29 estacas do trecho sudeste da obra.

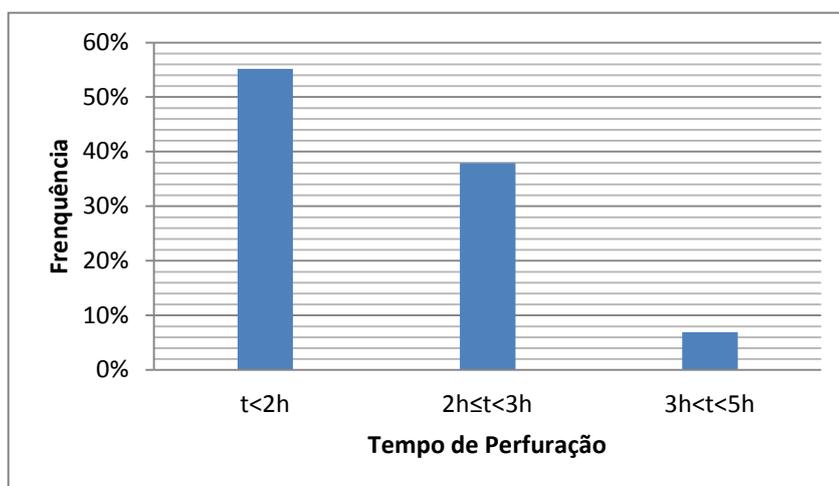


Figura 29: Tempo de perfuração em rocha das estacas no maciço sudeste

A figura 30 ilustra de forma esquemática a distribuição de frequência dos tempos gastos para perfurar em média 5,5m em rocha de 30 estacas do trecho sul da obra.

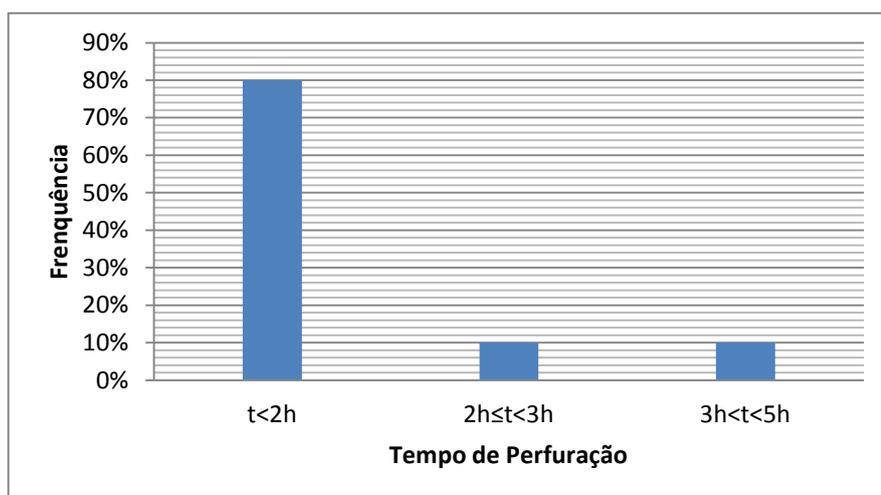


Figura 30: Tempo de perfuração em rocha das estacas no maciço sul

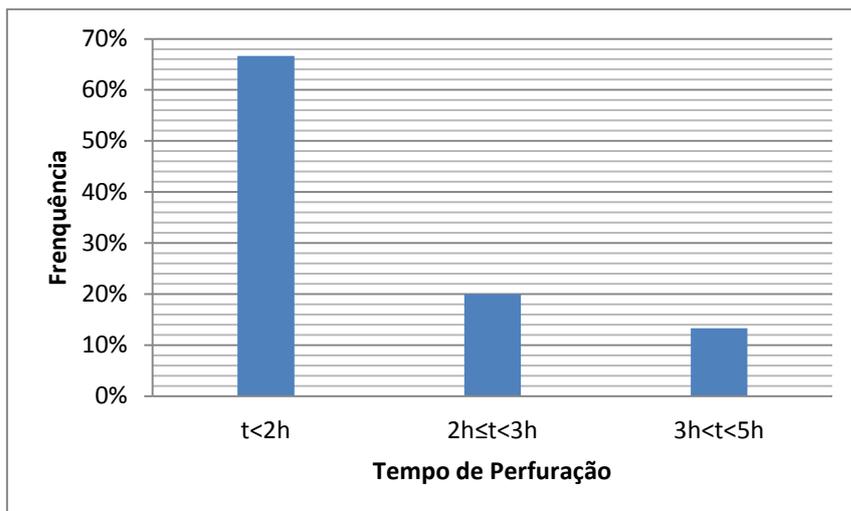


Figura 31: Tempo de perfuração em rocha das estacas no maciço sudoeste

A figura 31 ilustra de forma esquemática a distribuição de frequência dos tempos gasto para perfurar em média 5,63 m de 15 estacas do trecho sudoeste da obra.

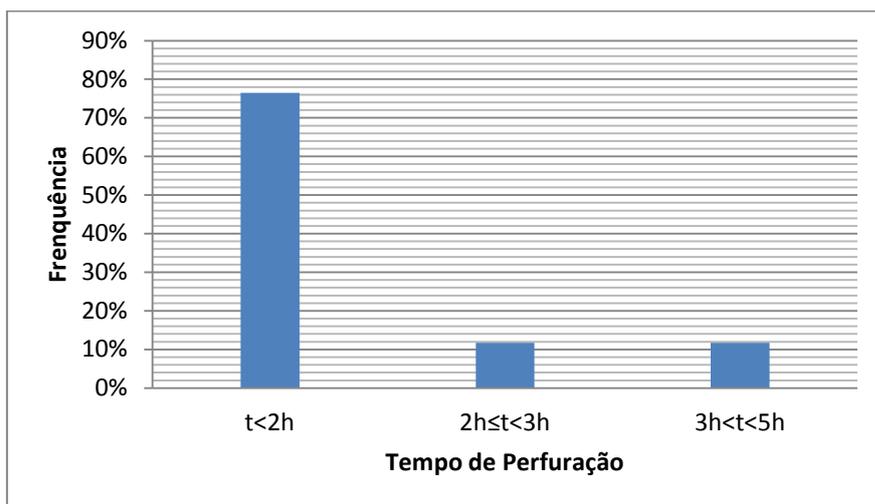


Figura 32: Tempo de perfuração em rocha das estacas no maciço Oeste

A figura 32 ilustra de forma esquemática a distribuição de frequência dos tempos gasto para perfurar em média 4,68 m de 17 estacas do trecho oeste da obra.

Os gráficos indicam que uma parte significativa das estacas foi perfurada em tempos inferiores a 2 horas. Estacas com perfuração em rocha apresentam tempos de perfuração diversificados, a depender principalmente da resistência da rocha ,do estado dos equipamentos utilizados na perfuração e principalmente da potência do compressor utilizado. O estado de conservação do martelo, que faz parte dos equipamentos de perfuração em rocha é fator bastante importante nesse tempo, pois se o mesmo estiver entupido, por exemplo, apesar de parecer que está perfurando rocha, devido ao barulho de bater mais firme, ele não perfura praticamente nada dessa maneira, pode passar até 20min e descer apenas 5cm, e essa confirmação pode ser feita, por acompanhamento no campo e pelos fragmentos que estão sendo colocados para fora do furo.

Dessa forma pode-se ter dois erros o início do topo rochoso e o tempo de perfuração, por isso a importância do acompanhamento no processo de execução de estaca raiz.

Além disso, a potência do compressor utilizado também interfere nesse tempo de perfuração, no caso da obra em estudo os compressores utilizados tinham capacidade mínima de 20.000 KPa e máxima de 25.000 KPa.

A análise dos dados, levando em consideração as características da obra e as condições obtidas pela obra, demonstraram que 70% das estacas para perfuração do trecho em rocha apresentaram uma velocidade de 1 metro em 20 minutos, com pequenas variações.

5.1.2. Utilização do rockdrill como ferramenta de investigação nas fundações em rocha

Diante das investigações geotécnicas realizadas e das dificuldades encontradas na execução das fundações em rocha, a busca pela redução de custo e prazo para liberação das fundações fez com que desenvolvesse-se uma nova metodologia de investigação geotécnica com o equipamento Rockdrill, utilizado normalmente para detonações em rocha. Investigação está que permitiu reduzir (i) a interpolação entre as sondagens mecânicas já executadas, (ii) liberação da base das fundações superficiais, (iii) e a comprovação da cota de apoio das fundações profundas.

Durante a execução das fundações, foram observadas as grandes variações de comprimentos das estacas e cotas de assentamentos das sapatas em um mesmo trecho, relativamente próximo um do outro. Logo, foi necessário desenvolver uma técnica de investigação mais rápida e de custo baixo para que fosse aferido o topo rochoso, sem utilizar as técnicas convencionais, como as sondagens mecânicas, apesar de serem mais precisas, os resultados obtidos são mais demorados e de custo elevado.

Portanto, foi adotado o uso do equipamento rockdrill, como elemento de:

- aferição da interpolação entre as sondagens mecânicas;
- liberação da base das fundações rasas, comprovando a cota da rocha competente;
- aferição do topo rochoso para determinar a cota de apoio das fundações profundas.

Utilização do rockdrill na aferição do topo rochoso

O rockdrill é uma perfuratriz roto-pneumática, utilizada nos desmontes de rocha. Os parâmetros de furação (velocidade, força, etc.) no caso de desmonte com explosivos, bem como a perfurabilidade da rocha a desmontar, possibilita ter a sensibilidade sobre as características do material que está sendo perfurado. Em decorrência disso, utilizou-se esse mesmo equipamento para mapear o topo rochoso, de forma imediata e como instrumento de aferição a interpolação das sondagens executadas na área de implantação das fundações.

Inicialmente, adotou-se a prática do rockdrill na obra, no mapeamento do topo rochoso para decidir as cotas de detonação, assim era possível aferir a investigação geológica

realizada na definição do projeto, que por sua vez utilizaram a sísmica e as sondagens rotativas realizadas.

Porém, com o rockdrill era possível fazer uma extrapolação mais refinada, ideal para fundações em rocha devido à forma irregular do topo rochoso e a possibilidade de ocorrência de matacões de várias dimensões no solo residual, sendo um fator complicante na definição das cotas de base na construção.

Com essa ferramenta era viável fazer várias perfurações em curto espaço de tempo, possibilitando a obtenção de uma maior quantidade de dados por trecho. Assim em algumas áreas foi possível verificar o topo rochoso em cotas acima das que a geofísica, juntamente com as sondagens mecânicas indicavam, justamente ocasionado por causa dessa extrapolação. Pois, normalmente as sondagens mecânicas são realizadas para grandes áreas, impossibilitando uma análise mais realista, quando essas sondagens estão a uma distância grande do trecho que se quer analisar e ao mesmo tempo se tivesse que ser utilizada, para esse tipo de estudo, iria ser aumentada uma grande quantidade de sondagem, aumentando o tempo da tomada de decisão, em relação a detonação, bem como os custos, já que comparando o tempo demorado numa sondagem mista, levando em consideração somente a informação do mapeamento do topo rochoso é muito maior que a perfuração utilizando o rockdrill. Abaixo a figura 33, ilustram de forma esquemática o perfil do subsolo observado com as sondagens expeditas, utilizando o equipamento rockdrill.

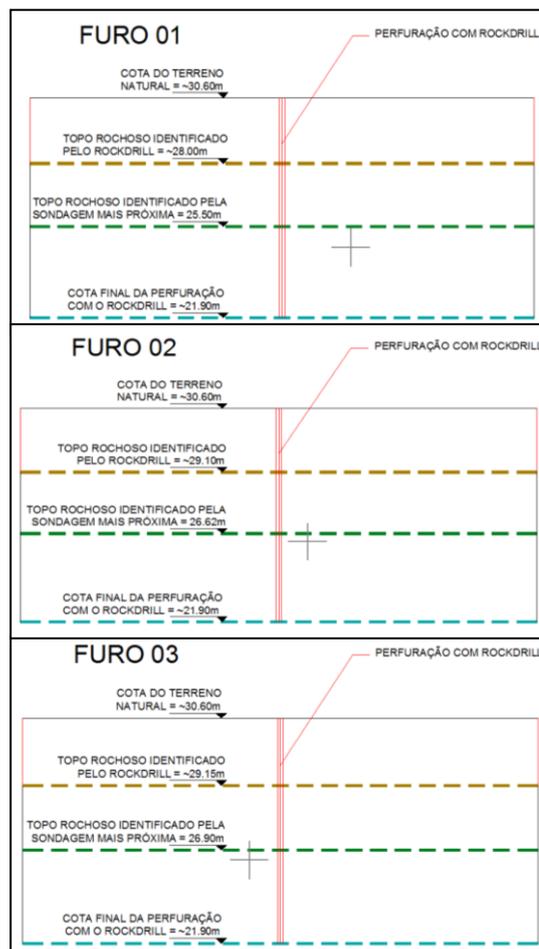


Figura 33: Furo 01 a 03 -Topo rochoso aferido com o rockdrill

Em função do avanço do rockdrill os três furos realizados indicaram o início do topo rochoso situando-se próximo à cota média 28.50m. A partir dessa cota, a perfuratriz teve avanço com baixa velocidade e não foram observadas passagens em materiais menos resistentes. Esse cenário foi semelhante para os três furos realizados nesse trecho. Em média foram perfurados 2,50m abaixo da cota de assentamento das “sapatas” prevista em projeto. A cota do topo rochoso identificado pelas sondagens mais próximas, cota média 26,50, mostrou uma diferença de aprox. 2,0m, ressaltando a importância da sondagem complementar com o rockdrill.



Figura 34: Equipamento Rockdrill

Utilização do rockdrill na liberação do material de apoio das sapatas

Fundações superficiais devem ser apoiadas em materiais determinados pela taxa de apoio especificada em projeto, diante da heterogeneidade do material de apoio, e das dificuldades encontradas para comprovação do topo rochoso, além das possíveis camadas de solo, abaixo da rocha de apoio das fundações superficiais, durante a execução das fundações, foi elaborado portanto, um procedimento, no qual todas as sapatas da obra seriam liberadas, conferindo o material de apoio caso a caso, fazendo ao menos uma perfuração com o rockdrill por sapata, para certificar se abaixo da rocha competente teriam supostas camadas de solo e conseqüentemente recalques diferenciais, capaz de causar danos estruturais ou arquitetônicos, tais como trincas em paredes e acabamentos, rupturas de painéis de vidro ou mármore.

Utilizando as perfurações com o rockdrill em cada eixo das sapatas, observou-se o tamanho das camadas de solo e assim pode-se calcular as deformações dessas camadas abaixo das fundações que devem ser compatíveis com as das estruturas.

A utilização do rockdrill nas liberações substituiu a necessidade de serem realizadas mais sondagens rotativas nos trechos a serem liberados.

Abaixo fotos da utilização do rock drill na liberação das sapatas.



Figura 35: Liberação de Sapata

Utilização do rockdrill na confirmação das cotas de apoios das estacas

Na execução das fundações profundas deve-se buscar uma cota de apoio determinada em projeto, que baseou-se a partir das investigações com as sondagens mecânicas e a geofísica, o qual definia a cota do topo rochoso, determinando a partir desse momento a profundidade a ser ancorado na rocha a respectiva fundação. Como já citado anteriormente, a quantidade de sondagem para fazer a confirmação de todas as estacas sem ter dúvidas do cota de apoio seria inviável pelo tempo e aumento do custo de inspeção geotécnica.

Enquanto uma sondagem mista dura em média três dias para finalizar uma perfuração de sete metros em solo e cinco em rocha com recuperação maior que 90%, a perfuração com rockdrill é em torno de meia hora com as mesmas características.

Com o rockdrill pode-se fazer a perfuração em solo e em rocha, verificando onde a estaca deveria apoiar no topo rochoso.

O rockdrill é uma sondagem expedita, que possibilita a verificação do topo rochoso e as possíveis camadas de solo encontradas numa determinada perfuração, porém por se tratar de uma sondagem destrutiva, requer muita atenção e experiência do operador do rockdrill e do profissional que está acompanhando a perfuração, o qual determina através do desempenhoxavanço do equipamento a classificação do solo.

Por ser uma nova metodologia de aferição do topo rochoso, foi realizado mesmo assim sondagens mistas complementares próximas a algumas perfurações do rockdrill, a fim de confrontar e validar o resultado obtido pelo rockdrill, uma vez que não existe literatura com o uso da pratica em questão.

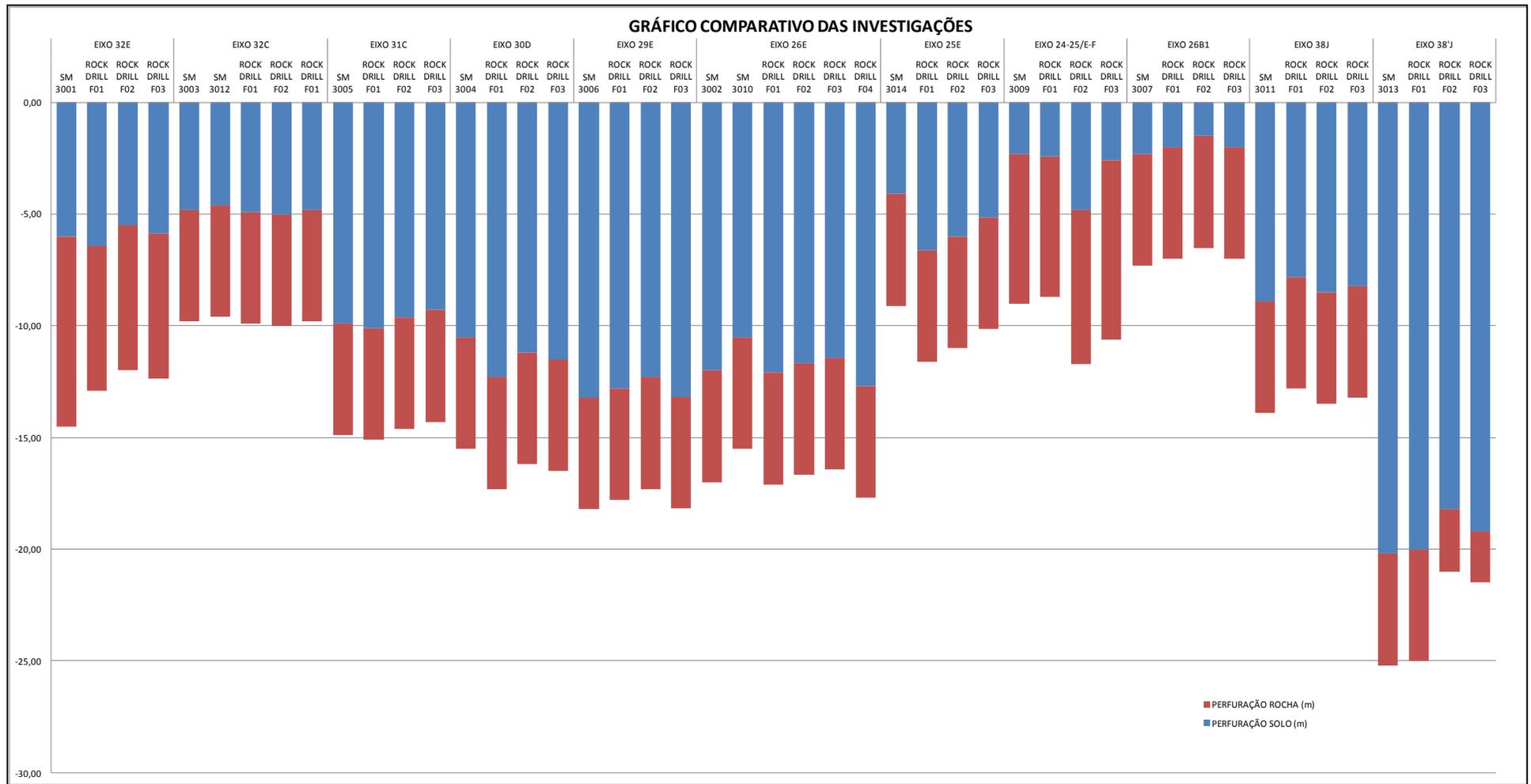


Figura 36: Perfuração utilizando rockdrill x Sondagem mecânicas

No gráfico podem ser observadas as comparações realizadas para cada sondagem executada e perfuração com rockdrill, comprovando que a prática de utilizar o rockdrill para complementar as informações e determinar o topo rochoso, é uma ferramenta eficaz, mais veloz e de custo mais baixo, desde que se tenha uma equipe com experiência no equipamento e sensibilidade para analisar a mudança de dureza de material, associada ao tipo de solo e/ou rocha.

5.2.CONTROLES APÓS A EXECUÇÃO

Os principais controles relacionados após execução de fundações profundas em rocha, estão vinculados à determinação da capacidade de carga das estacas, através de provas de carga .

A partir desses ensaios pode-se analisar o controle de qualidade no processo executivo.

A capacidade de carga da rocha e o contato concreto – rocha, pela ponta ou pelo atrito lateral não são perfeitamente conhecidos por uma série de fatores inerentes às características da rocha, ao valor da adesão concreto-rocha a adotar, bem como o grau de embutimento e, desta forma, alguns projetos acabam por definir determinado comprimento em rocha sã, geralmente conservadores.

Normalmente as estacas em rocha são projetadas para grandes capacidades de carga, e sua aferição através de provas de carga estática além de ter um custo elevado, são mais demoradas e normalmente não são levadas à ruptura. Os testes de carga dinâmica tem apresentado grande evolução ultimamente e estão sendo muito aplicados, as vezes como complemento dos ensaios de prova de carga estática ou na maioria dos casos em substituição.

Para a avaliação da capacidade de carga de estacas em rocha na obra em questão foram realizadas provas de carga estática e dinâmica, conforme discriminados a seguir.

5.2.1. Prova de Carga Estática - PCE

Entre os ensaios de campo utilizados na engenharia de fundações destacam-se as provas de carga estática como um dos métodos mais importantes, no qual se consegue por meio de monitoramento, verificar o comportamento das fundações.

As provas de carga foram realizadas em conformidade com a NBR 12131(2006) – Prova de carga estática, que visa fornecer elementos para avaliar o comportamento carga-recalque e estimar as características de capacidade de carga. Na execução da prova de carga, as estacas foram carregadas até duas vezes a carga de trabalho. O ensaio foi executado com carregamento misto (lento seguido de rápido).

Procedimento aplicado no ensaio em estaca raiz na obra

Programa de Carregamento

O ensaio foi realizado com carregamento misto, divide em duas etapas:

1º Etapa: Carregamento Lento

2º Etapa: Carregamento Rápido

Entre a 1º etapa e a 2º etapa, foi realizado o descarregamento total da estaca.

1º Etapa – Carregamento Lento:

- O carregamento foi executado em estágios iguais e sucessivos, onde a carga aplicada em cada estágio não poderia ser superior a 20% da carga de trabalho (1300kN),
- Em cada estágio, a carga foi mantida até a estabilização dos deslocamentos e, no mínimo, por 30 min;
- Em cada estágio os deslocamentos foram lidos imediatamente após a aplicação da carga correspondente, seguindo-se leituras decorridos 2 min, 4 min, 8 min, 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 3 h , 4 h, etc, contados a partir do início do estágio, até se atingir a estabilização;
- A estabilização dos deslocamentos foi atendida ao critério de quando a diferença entre duas leituras consecutivas correspondesse a no máximo 5% do deslocamento havido no mesmo estágio (entre o deslocamento da estabilização do estágio anterior e o atual);
- Quando a carga atingiu 1,2 vezes a carga de trabalho, o critério de estabilização foi verificado, em seguida, procedeu-se o descarregamento;
- O descarregamento foi realizado em, no mínimo, quatro estágios. Cada estágio era mantido até a estabilização dos deslocamentos com registro segundo os critérios já estabelecidos acima. O tempo mínimo de cada estágio foi de 15 minutos;
- Após o descarregamento total, as leituras dos deslocamentos continuaram até a sua estabilização;
- Total de estágios da primeira etapa: Seis estágios de carregamento e quatro estágios de descarregamento.

Tabela 21. Carga de trabalho de 1300kN Estágios de carregamento e descarregamento lento – Carga máxima por estágio

1º Etapa - Carregamento	
Estágio	Carga (kN)
1	260
2	520
3	780
4	1040
5	1300
6	1560

1º Etapa - Descarregamento	
Estágio	Carga (tf)
1	1170
2	780
3	390
4	000

2º Etapa – Carregamento Rápido:

Iniciando o carregamento rápido:

- O carregamento foi executado em estágios iguais e sucessivos, observando que:
 - A carga aplicada em cada estágio não deveria ser superior a 10% da carga de trabalho (1300kN);
 - Em cada estágio a carga deveria mantida durante 10 minutos, independentemente da estabilização dos deslocamentos;
- Em cada estágio, os deslocamentos foram lidos obrigatoriamente no início e no final do estágio.
- Atingida a carga máxima do ensaio que corresponde a duas vezes a carga de trabalho, foram realizadas cinco leituras: a 10 min, 30 min, 60 min, 90 min e 120 min, neste estágio. Na sequência procedeu-se o descarregamento, que foi feito em cinco ou mais estágios, cada um mantido por 10 minutos, com leituras dos respectivos deslocamentos.
- Após 10 min do descarregamento total, foram feitas mais duas leituras adicionais aos 30 e aos 60 min.
- Total de estágios da segunda etapa: Vinte estágios de carregamento e cinco estágio de descarregamento.

Tabela 22. Carga de trabalho de 1300kN Estágios de carregamento e descarregamento rápido – Carga máxima por estágio

2º Etapa - Carregamento	
Estágio	Carga (kN)
1	130
2	260
3	390
4	520
5	650
6	780
7	910
8	1040
9	1170
10	1300
11	1430
12	1560
13	1690
14	1820
15	1950
16	2080
17	2210
18	2340
19	2470
20	2600

2º Etapa - Descarregamento	
Estágio	Carga (tf)
1	2080
2	1560
5	1040
4	520
5	0

Sistema de Reações

A aplicação de carga nas estacas ensaiadas nos carregamentos foi feita por intermédio de um conjunto de bomba e macaco hidráulico com capacidade para 500 toneladas. Este dispositivo atuou contra um sistema de reação estável ancorado em quatro estacas com as mesmas características da estaca ensaiada.

As leituras da carga lenta aplicada foram obtidas por meio de uma célula de carga posicionada em cima do macaco.

A transferência de carga do macaco hidráulico para os elementos de tração foi feita através de três pares de vigas metálicas, sendo uma principal e duas transversais figura 37.



Figura 37: Sistema de reação.



Figura 38. Dispositivo de leitura da célula de Carga

Todas as distâncias entre os elementos foram medidas antes de iniciar a Prova de Carga Estática para verificar o alinhamento correto dos mesmos.

Sistema de Medição

A medição da deformação da estaca nos carregamentos foi feita por quatro relógios comparadores com curso de 5,00 cm e precisão de 0,01 mm.

Os relógios comparadores foram instalados próximos aos vértices do bloco de coroamento e fixados em traves metálicas independentes com 6,00 m de comprimento.

O sistema de leitura dos deslocamentos das estacas de reação era composto de níveis a laser afastados do conjunto para não sofrer nenhuma influência.

A ponta laser estava dirigida para um alvo de régua milimétrica fixada em cada barra dos tirantes (figura 40).



Figura 39. Deflectômetros (Relógios comparadores)



Figura 40. Níveis laser para medir deslocamentos das estacas de reação

Resultados obtidos nos ensaios de prova de carga estática

Foram realizados na obra seis ensaios de carregamento estático, os gráficos dos resultados serão apresentados a seguir.

Prova de Carga Estática 1- PCE 1

Características da estaca ensaiada:

E 122 - Comprimento Total 10m (5m em rocha e 5 m no solo)

Carga de trabalho- 130t

Diâmetro de 410/300mm

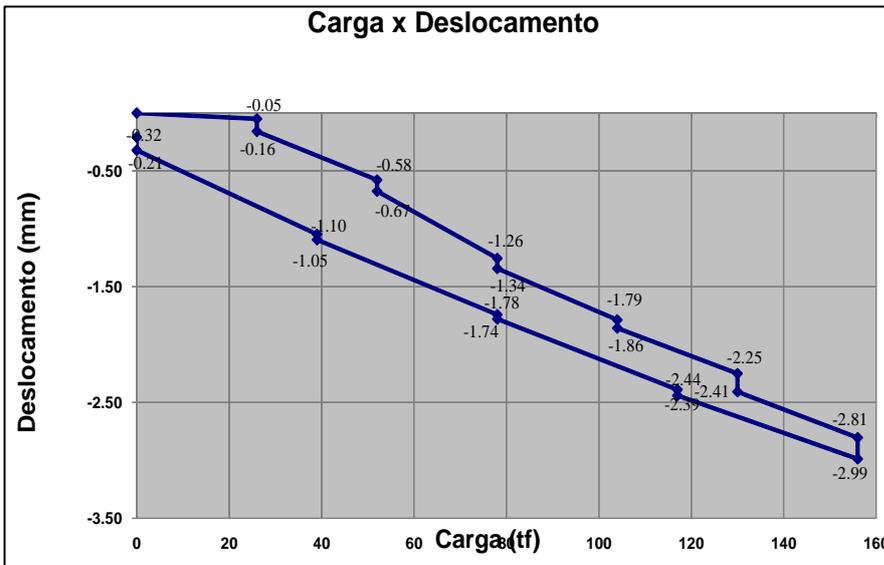


Figura 41. Carregamento lento da estaca E122 até 156t

O deslocamento na carga 156,0 t foi de 2,99 mm e o deslocamento residual foi de 0,21 mm.

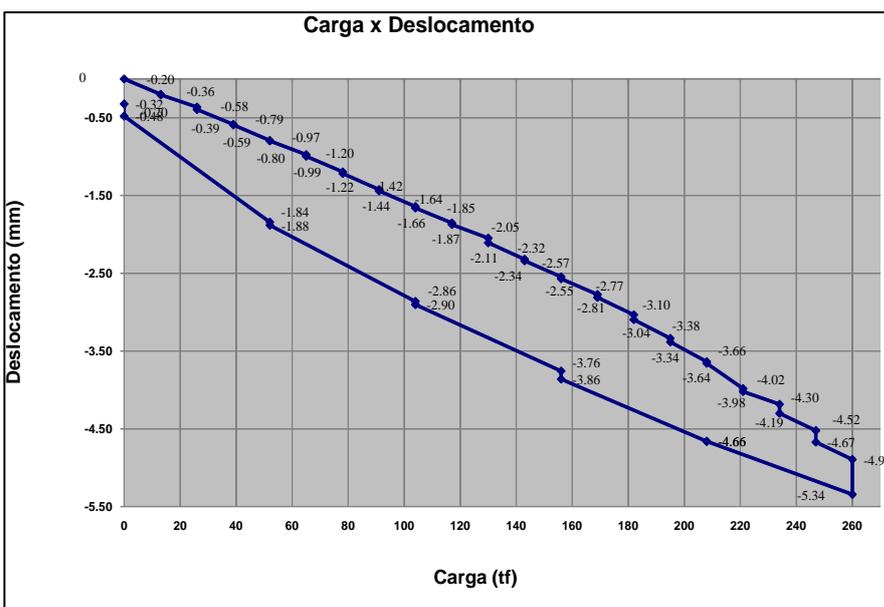


Figura 42. Carregamento rápido da estaca E122 até 260 t

No carregamento rápido os deslocamentos na carga de 260,0 t, foi de 5,34 mm e o deslocamento residual foi de 0,32 mm.

PCE 2

Características da estaca ensaiada:

E 184 - Comprimento Total 10m (5 m em rocha e 4,42m m no solo)

Carga de trabalho- 130t

Diâmetro de 410/300mm

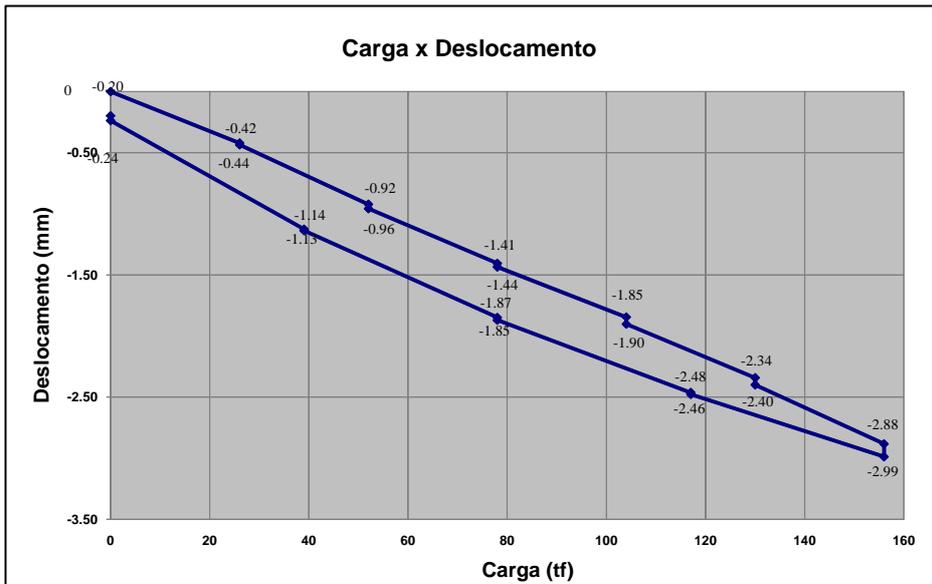


Figura 43. Carregamento lento da estaca E184 até 156t

O deslocamento na carga de 156,0 t foi de 2,99 mm. O deslocamento residual foi de 0,20 mm.

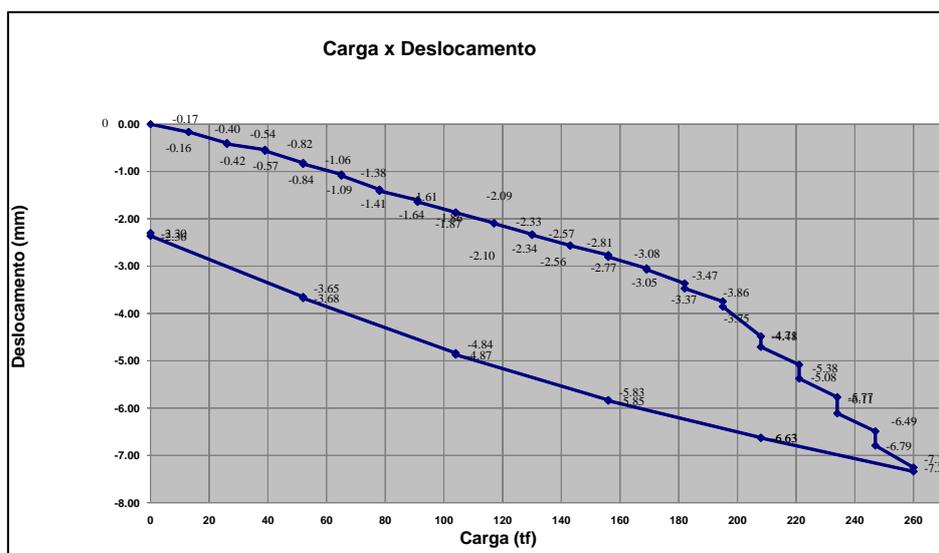


Figura 44. Carregamento rápido da estaca E184 até 260 t

No carregamento rápido, o deslocamento na carga de 260,0 t foi de 7,34 mm. O deslocamento residual foi de 2,30 mm.

PCE 3

Características da estaca ensaiada:

E 7043 - Comprimento Total 10m (5 m em rocha e 4,42m m no solo)

Carga de trabalho- 130t

Diâmetro de 410/300mm

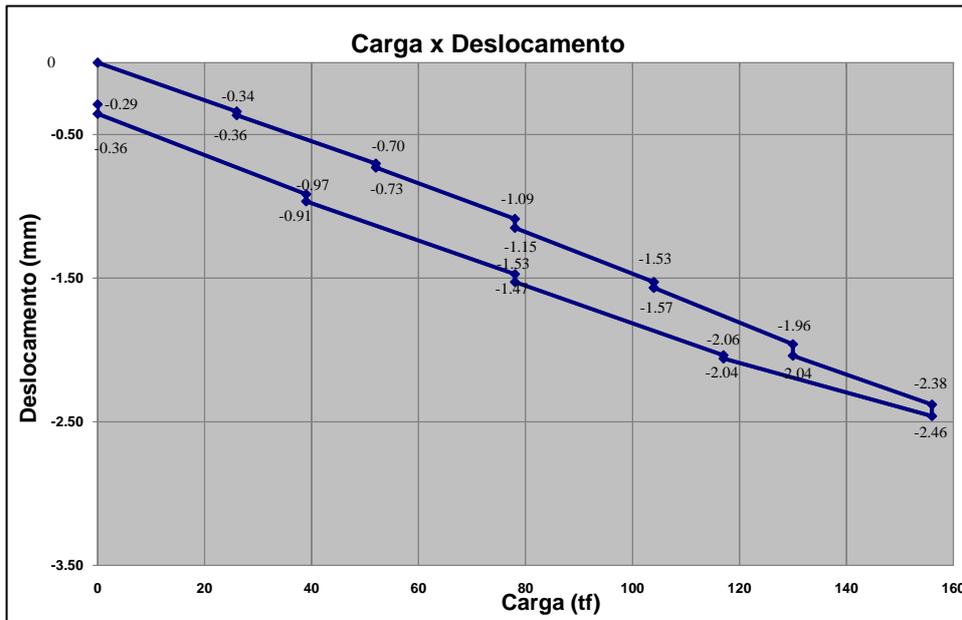


Figura 45. Carregamento lento da estaca E7043 até 156t

O deslocamento na carga de 156,0 t foi de 2,46 mm e o deslocamento residual foi de 0,29 mm.

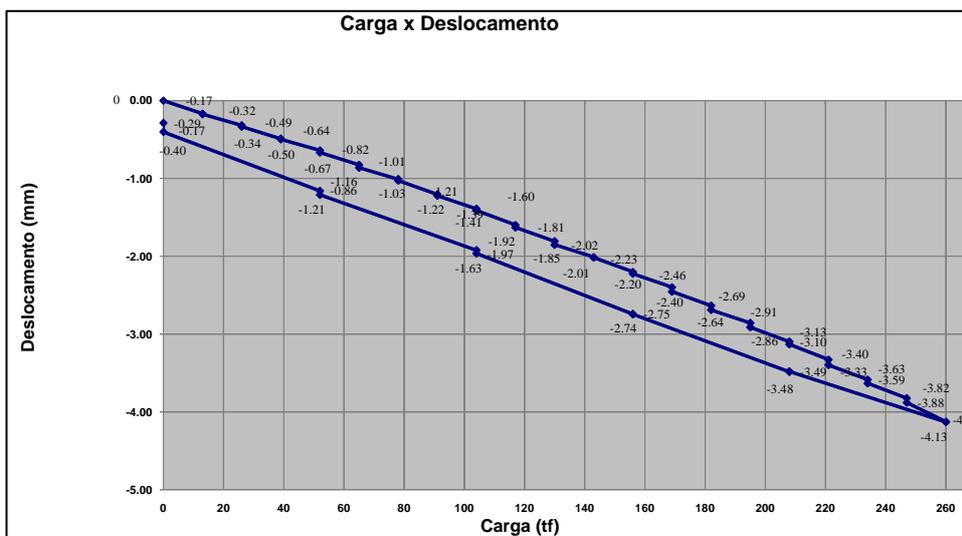


Figura 46. Carregamento rápido da estaca E7043 até 260 t

No carregamento rápido o deslocamento na carga de 260,0 t foi de 4,13 mm e o deslocamento residual foi de 0,29 mm.

PCE 4

Características da estaca ensaiada:

E 5043 - Comprimento Total 10m (5 m em rocha e 4,42m m no solo)

Carga de trabalho- 130t

Diâmetro de 410/300mm

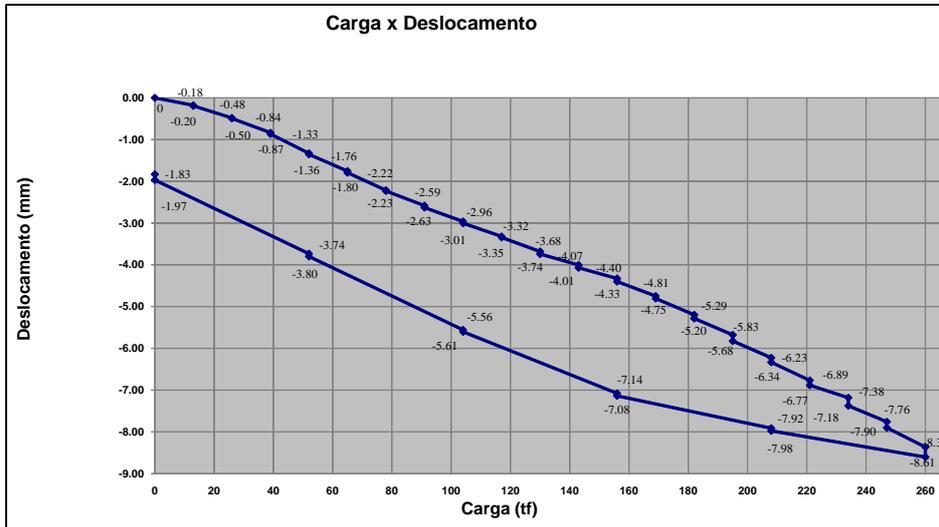


Figura 47. Carregamento lento da estaca E5043 até 156t

O deslocamento na carga de 156,0 t foi de 5,83 mm e o deslocamento residual foi de 1,88 mm.

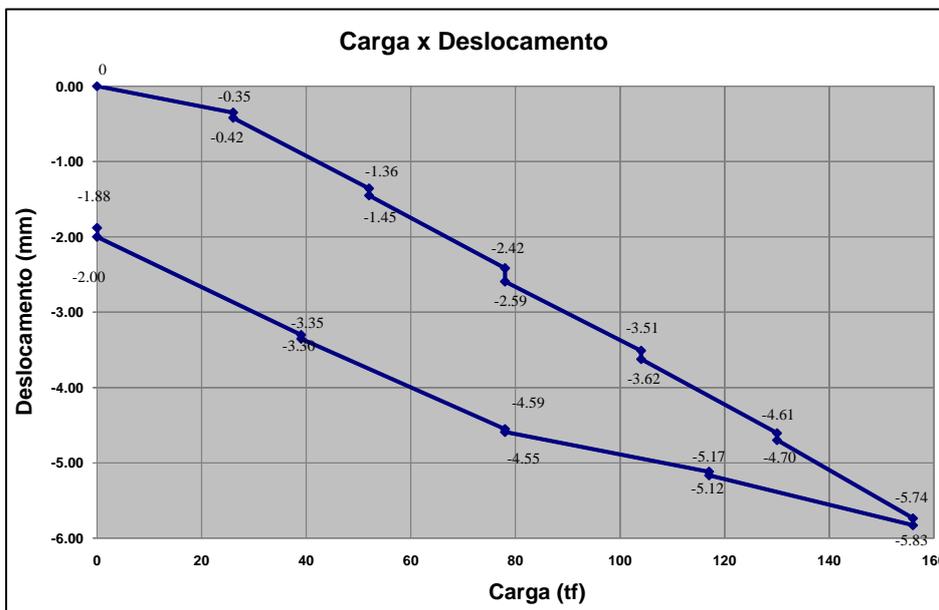


Figura 48. Carregamento rápido da estaca E5043 até 260 t

No carregamento rápido o deslocamento na carga de 260,0 t foi de 8,61 mm e o deslocamento residual foi de 1,83 mm.

PCE 5

Características da estaca ensaiada:

E 5103 - Comprimento Total 10m (4 m em rocha e 5,42m m no solo)

Diâmetro de 410/300mm

Carga de trabalho- 130t

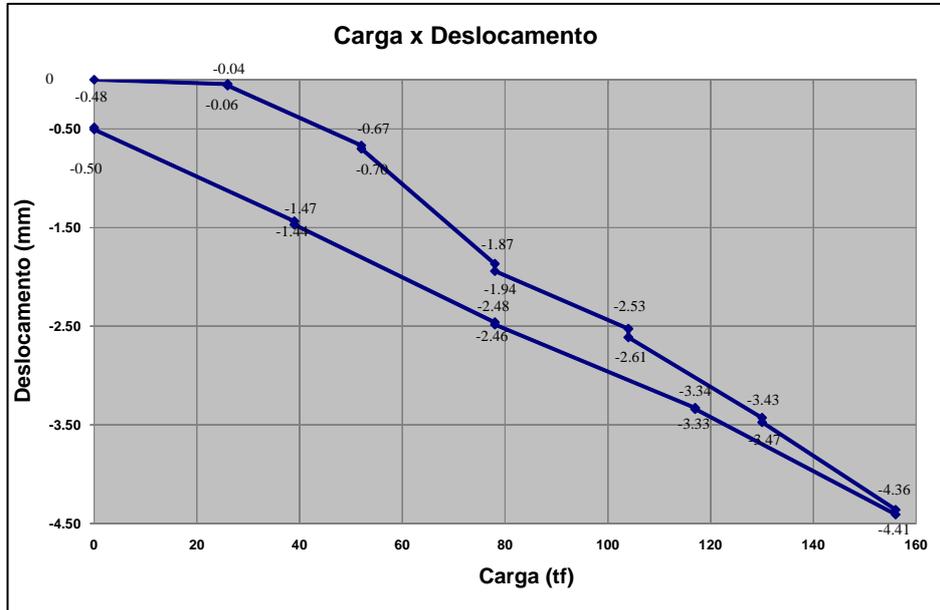


Figura 49. Carregamento lento da estaca E5103 até 156t

O deslocamento na carga de 156,0 t no carregamento lento foi de 4,41 mm e o deslocamento residual foi de 0,48 mm.

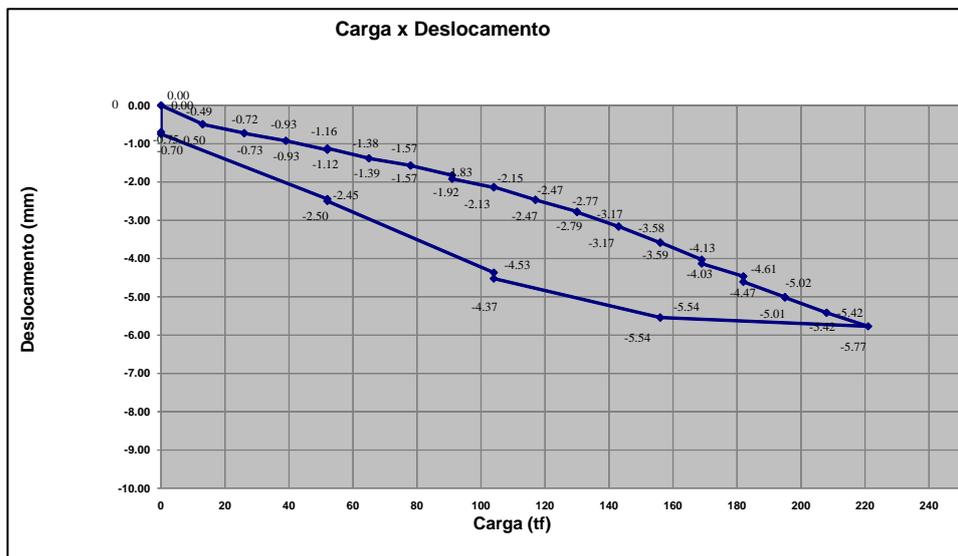


Figura 50. Carregamento rápido da estaca E5103 até 260 t

No carregamento rápido a carga máxima atingida foi de 208,0 t, devido a um rompimento ocorrido no pescoço da estaca teste e o deslocamento de 5,77 mm. O deslocamento residual foi de 0,70 mm.

PCE 6

Características da estaca ensaiada:

E 1 - Comprimento Total 3m (3 m em rocha e 0 m no solo)

Carga de trabalho- 130t

Diâmetro de 300 mm

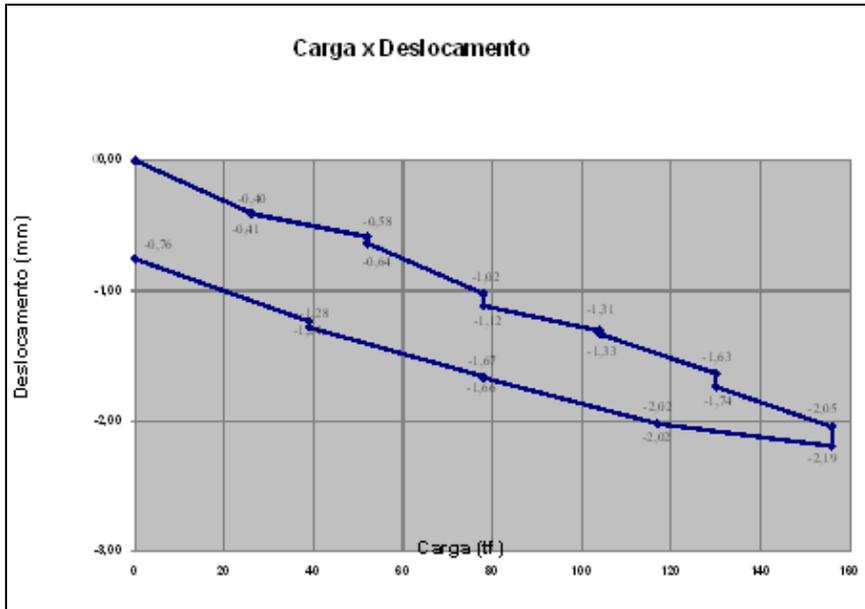


Figura 51. Carregamento lento da estaca E1 até 156t

O deslocamento na carga de 156,0 t foi de 2,19 mm. O deslocamento residual foi de 0,76 mm.

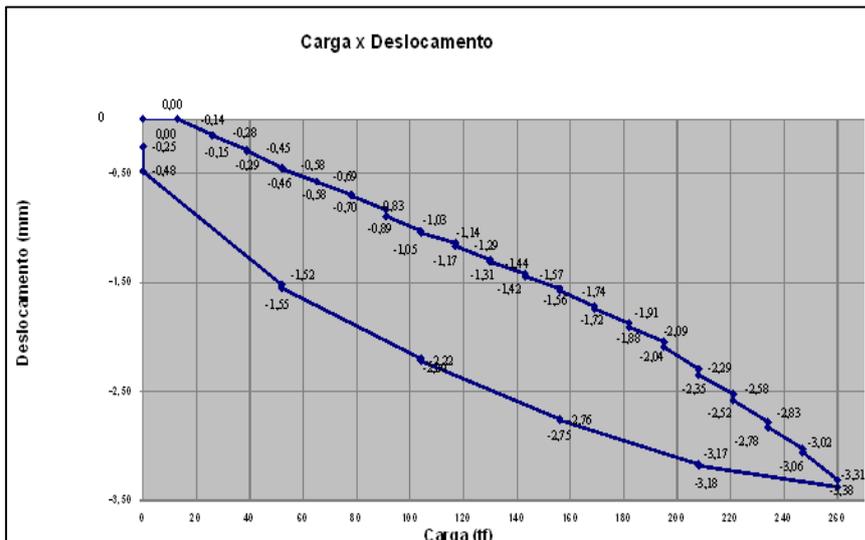


Figura 52. Carregamento rápido da estaca E1 até 260 t

No carregamento rápido, o deslocamento na carga de 260,0 t foi de 3,38 mm. O deslocamento residual foi de 0,25 mm.

A partir dos resultados de todos os ensaios estáticos, foi elaborado um resumo, para análise comparativa dos dados.

ENSAIO	ESTACA	TRECHO	COMPRIMENTO(m)	CARREGAMENTO LENTO			CARREGAMENTO RÁPIDO		
				CARGA MÁXIMA(t)	DESLOCAMENTO MÁXIMO (mm)	RESIDUAL (mm)	CARGA MÁXIMA(t)	DESLOCAMENTO MÁXIMO(mm)	RESIDUAL (mm)
PCE 1	E122	SUL	5m solo + 5m rocha	156	2,99	0,21	260	5,34	0,32
PCE 2	E184	SUL	4,42m solo + 5m rocha	156	2,99	0,20	260	7,34	2,30
PCE 3	E7043	OESTE 1	4,42m solo + 5m rocha	156	2,46	0,29	260	4,13	0,29
PCE 4	E5043	OESTE 2	4,42m solo + 5m rocha	156	5,83	1,88	260	8,61	1,83
PCE 5	E5103	OESTE 1	5,42m solo + 4m rocha	156	4,41	0,48	208	5,77	0,70
PCE 6	E 001	OESTE 1	0m solo + 3m rocha	156	2,19	0,76	260	3,38	0,25

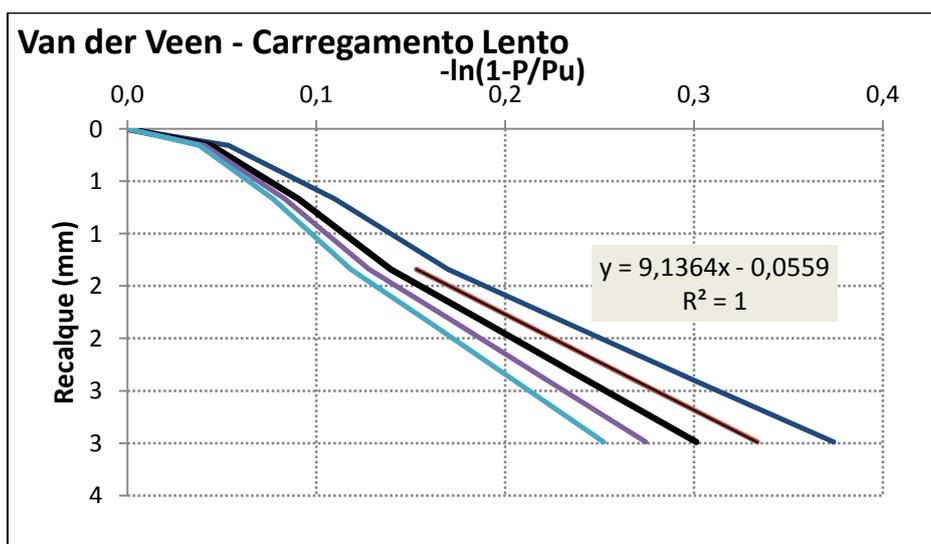
Tabela 23. Resumo dos resultados obtidos nas provas de carga estática

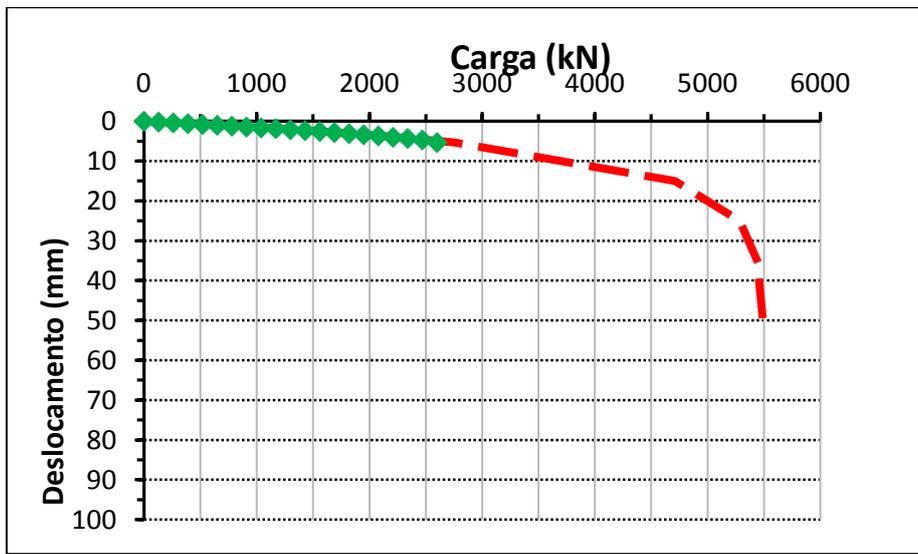
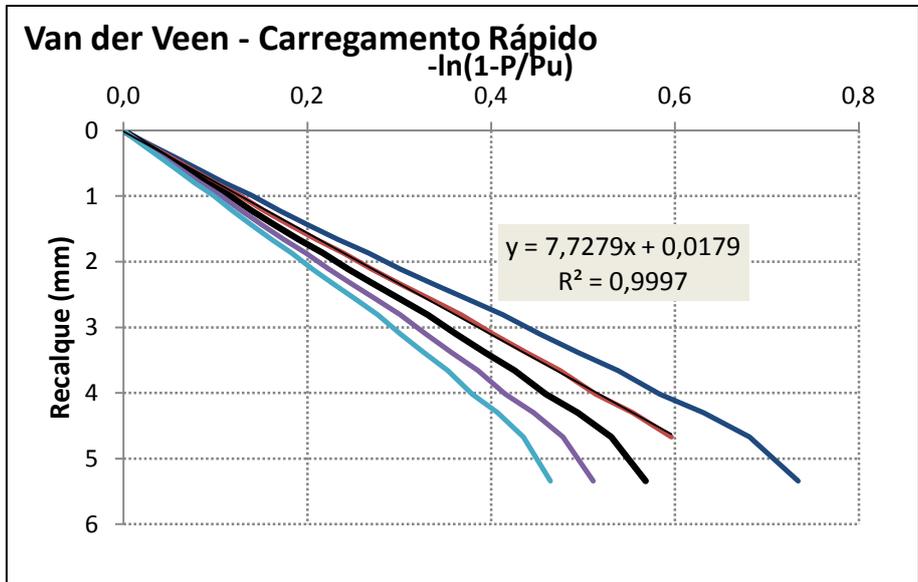
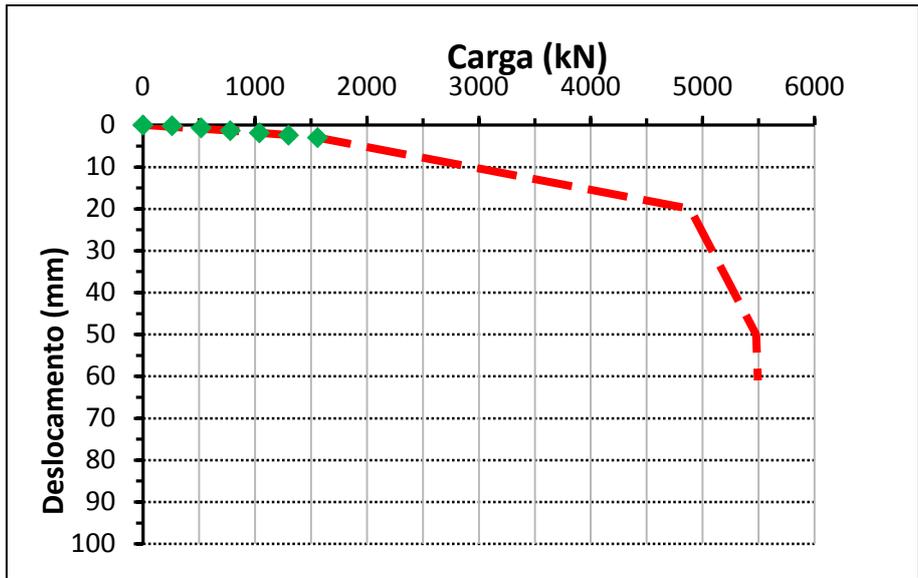
A análise dos resultados das provas de carga estática demonstra que os deslocamentos/cargas máximos tanto no carregamento lento, quanto no rápido não foram significativos, dificultando a estimativa de ruptura.

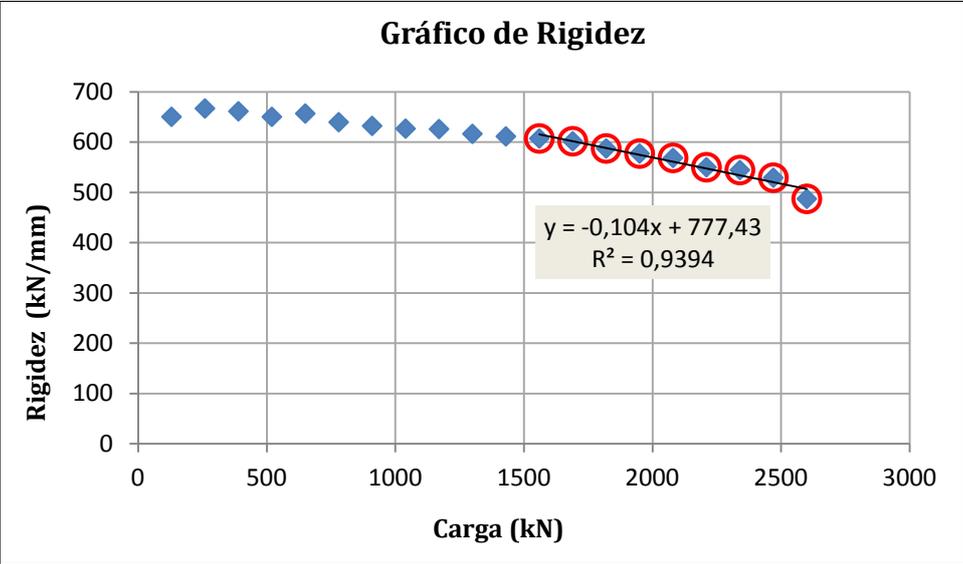
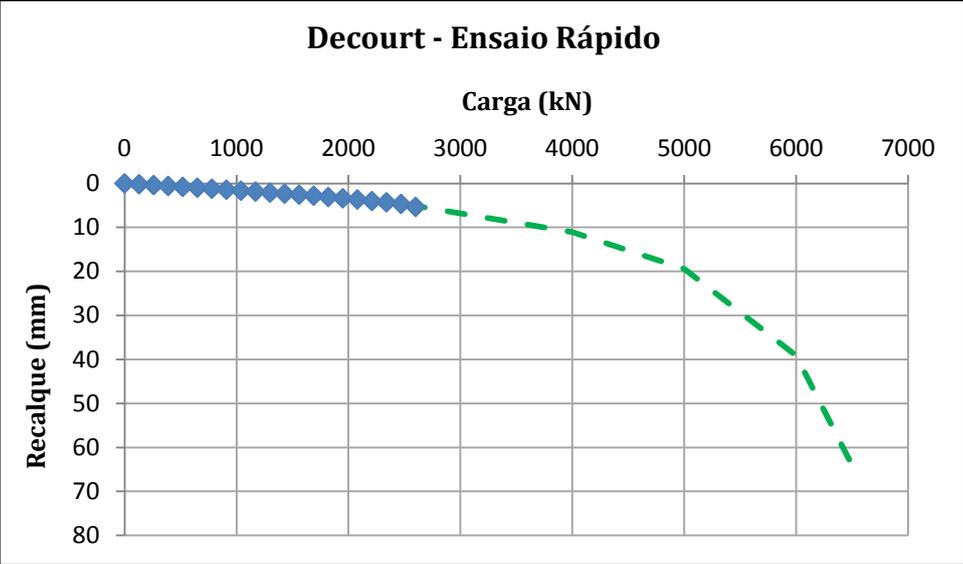
Pode-se observar ainda que os ensaios foram realizados para diferentes comprimentos de estacas embutidas em rocha, sendo a PCE 6 realizada com apenas 3m de embutimento em rocha, mesmo assim apresentou o menor deslocamento no carregamento rápido e também o menor residual, mostrando que nesse trecho as estacas poderiam ter um menor embutimento em rocha, que as demais estacas com 5m de embutimento.

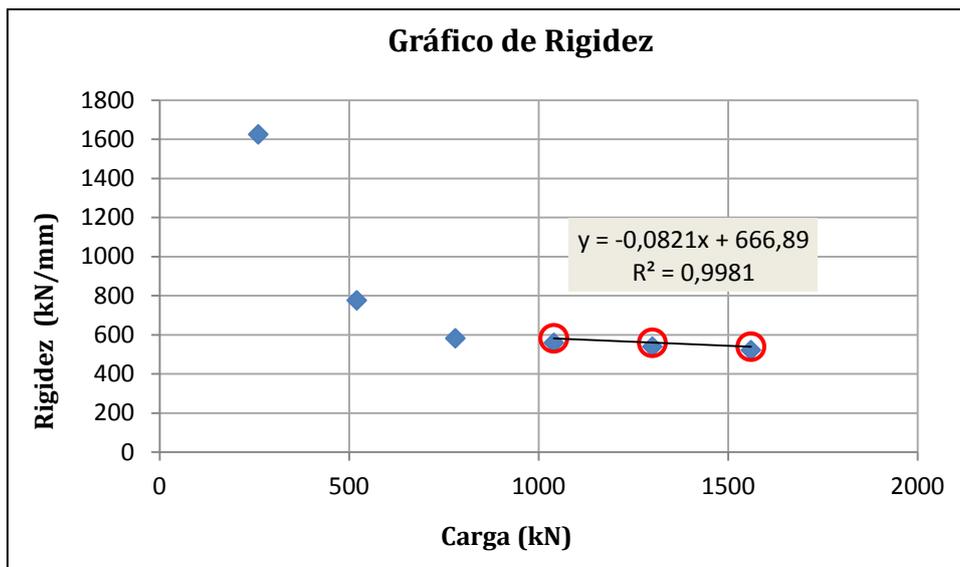
Todas as estacas que foram realizados os ensaios estáticos, apresentaram resultados satisfatório ao carregamento previsto, ou seja todos os testes foram levados até duas vezes a carga de trabalho, porém para uma análise mais aprofundada seria necessário carregar as estacas até um deslocamento maior ou ir até a ruptura.

Abaixo, segue extrapolação dos dois carregamentos (lento e rápido) por Decourt (mesmo esse não sendo indicado para recarregamentos) e Van Der Veen, para analisar a estaca E122.









Com a análise pode-se verificar que os métodos coincidem bem com os pontos experimentais, entretanto, para ambos os testes (lento e rápido), os pontos não alcançaram carga/deslocamentos significativos, dificultando a estimativa da ruptura.

No ensaio rápido (recarregamento) o gráfico de rigidez tem um formato incomum, podendo o método não se aplicar ao teste.

5.2.2. Ensaio de Carregamento dinâmico - ECD

O Ensaio de Carregamento Dinâmico (ECD), segundo a ABNT NBR 13208:2007, tem como objetivo avaliar as cargas mobilizadas na interface solo - estaca, a eficiência do sistema de impacto, as tensões de compressão e de tração ao longo da estaca, a integridade estrutural e as características dinâmicas do sistema solo-estaca.

O ensaio é baseado na aquisição de dados de força e velocidade da onda de tensão provocada por um golpe. Os sinais, advindos de instrumentação, são captados e armazenados através de um analisador de cravação, como o equipamento PDA - *Pile Driving Analyzer*.

O equipamento PDA, utilizado na obtenção dos sinais de campo utilizados nesta pesquisa, realiza um cálculo da capacidade de carga através do Método CASE. Este método consiste em uma solução matemática fechada, baseada em hipóteses simplificadoras, tais como a homogeneidade e uniformidade da estaca e deve ser confirmado por uma análise numérica.

A análise numérica executada através do programa CAPWAP, por exemplo, realiza um processo iterativo baseado na teoria da equação da onda.

Neste método, uma curva dependente de parâmetros adotados é ajustada à curva de força medida, permitindo o refino dos mesmos.

Na sequência, os equipamentos e os procedimentos utilizados nos ensaio de carregamento dinâmico encontram-se detalhados.

Equipamentos Utilizados

O sistema utilizado nos ensaio de carregamento dinâmico, foi adotado para a mobilização de carga mínima de 2 vezes a carga de trabalho.

Os dispositivos utilizados nos ECD's estão abaixo descritos:

- Martelo: O sistema de aplicação do impacto (martelo) apresentava massa e energia potencial, suficiente para provocar força de impacto capaz de gerar deslocamentos permanentes da ponta da estaca, e mobilizar resistência das camadas de solo atravessadas pelo fuste;

O dispositivo utilizado foi posicionado de forma a garantir a aplicação de impacto centrado e axial em relação ao topo da estaca figura 53;



Figura 53. Equipamento do ensaio de carregamento dinâmico

- Transdutor de Deformação Específica ou de Força: As medidas de deformação foram convertidas em força, considerando-se a área da seção transversal e o módulo de elasticidade dinâmico do material da estaca, na posição da instrumentação;
- Transdutor de Aceleração, de Velocidade ou de Deslocamento: As medidas de velocidade foram obtidas através de acelerômetros, integrando-se o seu sinal em equipamento específico e apropriado.
- Equipamento para aquisição, registro e processamento de dados: Os equipamentos utilizados para aquisição registro e processamento dos sinais

obtidos por meio de instrumentação foram ser apropriados ao uso e às condições a que foram submetidos.

Procedimento para o ECD

A execução do ECD foi realizada com energia crescente, com resistência mínima de 25MPa ($f_{cj} \geq 25\text{MPa}$), tanto para a estaca como para sua cabeça.

O procedimento consiste em:

- Utilização de energia crescente. O número de estágios ou alturas foram definidas em função do sistema utilizado, conforme segue:
- altura de queda inicial: 20cm;
- altura de queda intermediárias: acrescentando de 10 a 20cm na altura de queda do estágio anterior até atingir altura de queda máxima.
- alturas de queda máxima: foram definidas pela empresa executora em função do sistema utilizado.
- para cada estágio foram medidos a nega e o repique. A nega (“set”) foi medida através de controle topográfico de precisão.
- A realização da análise tipo CAPWAP® para o ensaio que apresente a maior carga mobilizada e resultados de análise CASE para as alturas intermediárias.

Critérios de paralização dos ensaios

Os ensaios de carregamento dinâmico foram paralisados nas seguintes condições:

- Ruptura do sistema na interface estaca-solo;
- Obtenção de níveis de tensão dinâmicas compressivas e de tração próximas às resistências características do material que constitui as estacas;
- Iminência da possibilidade de dano estrutural ou constatação do mesmo e condições de segurança insatisfatórias que não permitem a continuidade dos ensaios
- Atendimento a carga máxima de ruptura de duas vezes a carga de trabalho.

5.2.2.1. Resultados obtidos na execução dos ensaios de carregamento dinâmico

Foram realizados 91 ensaios de carregamento dinâmicos, dos quais serão apresentados os resultados das cargas mobilizadas de ponta, lateral e total.

O ensaio dinâmico consistiu na aplicação de energias cinéticas crescentes no topo

do bloco de coroamento, através de golpes de martelo queda-livre de peso 3780kg e com alturas de queda variáveis e crescentes até mobilização da Carga Máxima na interação estaca-solo e ou no limite de tensões dinâmicas do concreto que constitui as estacas. Paralelamente foram verificadas as tensões máximas de tração e compressão aplicadas às estacas.

Serão apresentados os resultados mais detalhadas de apenas uma estaca que também foi primeiramente ensaiada estaticamente, para comparação dos resultados.

A tabela 24 a seguir especifica a estaca ensaiada e as características desse ensaio.

ESTACA	Ø(mm)	ÁREA (cm ²)	COMPRIMENTOS(m)			COTAS		DATAS		MARTELO ENSAIO(Kg)	ALTURA DO BLOCO
			TOTAL	AB.SENSOR	EXECUTADO	TERRENO	ARRASAMENTO	EXECUÇÃO	ENSAIO		
E122	410	1320	11,4	9,9	9,2	29,01	29,01	23/05/2011	11/08/2011	3780	2,2

Tabela 24. Características da estaca ensaiada

A tabela 25 contém os resultados da análise PDAW que reprocessa as medições de campo através do método de Case, considerando os valores de “j” calibrados através das Análises Capwap, para os golpes de maior carga mobilizada.

ESTACA	Ø(mm)	CARGA		RIMX(tf)	DMX(mm)	Hq(m)	SET(mm/g)	EMX(txm)	% EMX	FMX (tf)	TENSÃO DE COMP.(Kg/cm ²)	Fmin(tf)	TENSÃO DE TRAÇÃO (Kg/cm ²)	J
		MÁXIMA	DE GOLPE											
E122	410	130	4	350	9	1,2	4	1,96	43,2	327,4	248	43,6	33	0,4

Tabela 25: Resultados da análise PDAW

Análise CAPWAP

O programa CAPWAP (CASE PILE WAVE ANALYSIS PROGRAM) tem como objetivo a execução de apurado processamento dos registros previamente gravados no campo. O processamento dos registros de campo pelo programa CAPWAP permite:

- Estimativa da distribuição de resistência desenvolvida pelo solo ao longo da estaca.
- Determinação da componente dinâmica desta resistência.
- Estimativa de capacidade de carga estática do sistema estaca-solo.

Os golpes selecionados correspondentes às estacas ensaiadas foram analisados pelo programa CAPWAP. O sinal de velocidade com base em um modelo assumido para o solo confinante à estaca permite calcular a curva de força em função do tempo na seção da estaca ao nível dos sensores.

O modelo do solo é então iterativamente aprimorado até que o melhor ajuste entre as curvas medidas e calculadas de força seja obtido. As Tabelas 26 e 27 resumem os resultados das análises CAPWAP para a estaca E122.

ESTACA	Ø(mm)	CARGA		WS(m/s)	RU(tf)	QAL(tf)	QAL %	QP (tf)	QP %	J
		MÁXIMA	DE GOLPE							
E122	410	130	4	3200	350	251,2	71,8	98,8	28,2	0,4

Tabela 26: Resultados das análises CAPWAP

ESTACA	FORÇA DE COMPRESSÃO(tf)	TENSÃO DE COMPRESSÃO (Kg/cm ²)	FORÇA DE TRAÇÃO(tf)	TENSÃO DE TRAÇÃO(Kg/cm ²)
E122	317,9	240,8	21	15,9

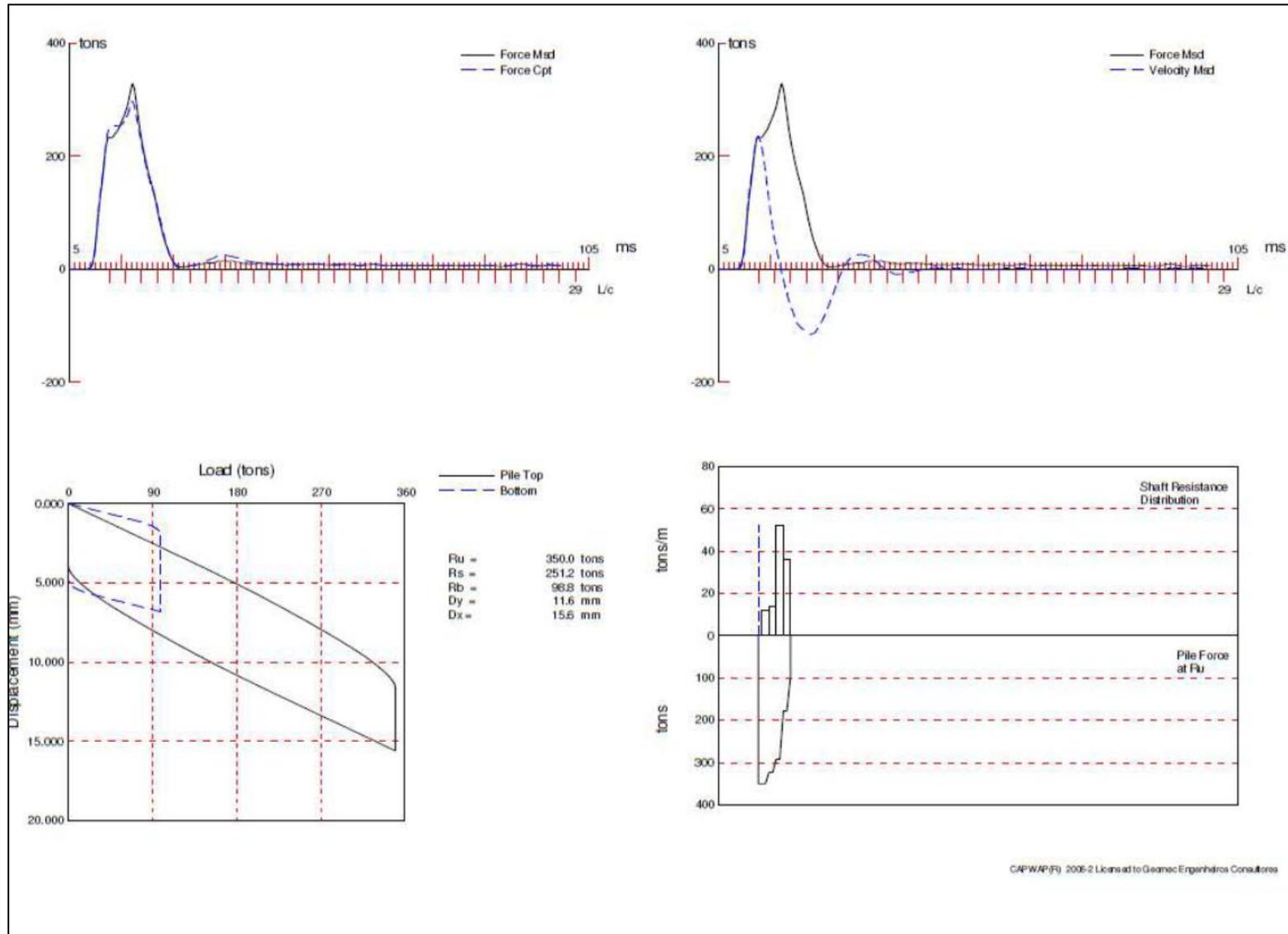
Tabela 27: Forças medidas na análise CAPWAP

As análises CAPWAP referentes a todas as estacas ensaiadas e contidas na tabela 28, especificam essas informações que foram mostrada mais detalhadas somente para a estaca E122, escolhida por ser a única a ter também a análise do ensaio estático.

Além dessas informações a análise também mostra para todas as estacas, porém será apresentada as da E122:

- Gráficos comparando a força calculada com a força medida, sendo dados de entrada a velocidade medida e os modelos anteriores descritos do solo e da estaca.
- Curvas de força e velocidade medidas.
- Diagrama do atrito lateral e diagrama de esforços normais ao longo do fuste da estaca.
- Gráfico de uma prova de carga estática simulada, usando o modelo do solo e da estaca anteriormente descritos e variando-se o carregamento estático no topo da estaca.

Resultados de ensaio de carregamento dinâmico na estaca E122



Na tabela de resultados dos ensaios de carregamento dinâmico, tabela 28, pode-se analisar as cargas últimas de todas as estacas ensaiadas dinamicamente e a separação pela máxima resistência de ponta e máximo atrito lateral.

EIXO	TRECHO	ESTACA	SONDAGEM MISTA	COMPRI MENTO SOLO (r)	COMPRIMEN TO ROCHA (m)	COMPRIMEN TO REAL (m)	TEMPO PERF. SOLO	TEMPO PERF. ROCHA	ENSAIO PDA		
									QAL (tf)	QP (tf)	RU (tf)
23-24	SUDESTE	E2096	3002	1,00	6,50	7,50	00:29:00	02:31:00	253,40	66,60	320,00
23-24	SUDESTE	E2097	3002	1,00	6,50	7,50	00:45:00	03:01:00	240,80	42,50	283,30
23-24	SUDESTE	E2098	3002	1,00	6,50	7,50	00:54:00	02:52:00	281,40	18,00	299,40
23-24	SUDESTE	E2099	3002	1,00	6,50	7,50	00:21:00	01:30:00	123,30	121,70	245,00
23-24	SUDESTE	E2102	3002	1,00	6,50	7,50	00:15:00	01:30:00	229,40	70,90	300,30
23-24	SUDESTE	E2120	3002	2,50	5,00	7,50	00:13:00	01:35:00	242,80	42,20	285,00
23-24	SUDESTE	E2123	3002	1,60	6,00	7,60	00:25:00	02:42:00	173,80	45,00	218,80
23-24	SUDESTE	E2124	3002	2,50	6,50	9,00	00:28:00	03:05:00	243,20	97,30	340,50
23-24	SUDESTE	E2131	3002	1,60	6,00	7,60	00:20:00	02:00:00	244,50	19,20	263,70
23-24	SUDESTE	E2132	3002	1,50	6,00	7,50	00:20:00	02:17:00	230,30	13,20	243,50
23-24	SUDESTE	E2133	3002	1,50	6,00	7,50	00:34:00	02:25:00	230,00	90,00	320,00
23-24	SUDESTE	E2134	3002	1,50	6,00	7,50	00:14:00	01:34:00	186,50	57,60	244,10
24	SUDESTE	E2066A	3002	3,00	6,20	9,60	00:11:00	02:19:00	245,20	24,80	270,00
24	SUDESTE	E2072A	3002	2,57	6,42	9,50	00:07:00	01:31:00	294,80	55,20	350,00
24	SUDESTE	E2094A	3002	1,08	7,20	8,50	00:12:00	00:56:00	284,40	40,60	325,00
24-25	SUDESTE	E2118	3002	1,00	6,50	7,50	00:25:00	02:05:00	223,20	61,80	285,00
25	SUDESTE	E2059A	3002	4,43	8,53	13,33	00:13:00	01:30:00	303,80	31,20	335,00
25	SUDESTE	E2064A	3002	3,88	8,87	12,75	00:20:00	01:24:00	323,20	26,80	350,00
25	SUDESTE	E2087B	3002	2,60	5,10	8,00	00:20:00	00:51:00	261,50	75,50	337,00
25	SUDESTE	E2111	3002	4,00	5,00	9,00	00:28:00	01:21:00	202,60	120,60	323,20
25	SUDESTE	E2112	3002	3,50	5,00	8,50	00:40:00	02:58:00	238,10	27,40	265,50
25-26	SUDESTE	E2105	3002	1,30	6,50	7,80	00:12:00	02:52:00	194,80	57,80	252,60
25-26	SUDESTE	E2108A	3002	4,70	8,35	14,60	01:40:00	01:50:00	272,80	59,40	332,20
26	SUDESTE	E2023B	3002	7,10	2,83	9,93	00:20:00	01:45:00	199,30	122,10	321,40
26	SUDESTE	E2033A	3002	6,80	7,70	14,50	00:50:00	01:00:00	272,10	43,20	315,30
26	SUDESTE	E2057A	3002	7,20	7,90	15,50	00:20:00	01:35:00	280,80	54,30	335,10
26	SUDESTE	E2079A	3002	10,78	5,00	16,08	00:10:00	00:57:00	269,00	55,00	324,00
26	SUDESTE	E2127A	3002	11,60	5,00	16,90	00:40:00	00:57:00	266,10	23,90	290,00
26	SUDESTE	E2129A	3002	10,50	5,00	16,70	00:15:00	02:35:00	118,80	135,88	254,68
27	SUL	E44B	3003	2,80	5,70	8,50	00:10:00	00:33:00	246,30	101,30	347,60
27	SUL	E49A	3003	6,40	5,00	12,60	00:26:00	00:47:00	248,60	93,50	342,10
27	SUL	E54A	3005	12,30	5,00	18,24	00:42:00	02:15:00	298,40	63,50	361,90
27	SUL	E37A	3005	10,72	5,07	18,60	02:10:00	01:21:00	316,90	53,90	370,80
27	SUL	E42A	3005	11,50	5,00	16,90	00:25:00	00:50:00	273,30	46,70	320,00
28	SUL	E79A	3003	5,00	5,00	13,70	00:20:00	01:00:00	219,50	68,30	287,80
28	SUL	E80A	3003	5,50	6,20	13,70	00:22:00	01:05:00	200,30	64,20	264,50
28	SUL	E84A	3005	13,00	5,00	19,20	00:45:00	01:25:00	285,90	49,00	334,90
28	SUL	E85A	3005	13,73	5,00	19,05	00:35:00	01:00:00	243,60	107,20	350,80
28	SUL	E90A	3005	12,56	7,00	19,85	01:00:00	01:30:00	304,10	55,80	359,90
29	SUL	E104B	3003	8,00	5,00	15,50	00:38:00	02:20:00	206,60	50,80	257,40
29	SUL	E108A	3003	7,60	5,00	13,90	00:19:00	01:15:00	232,90	99,30	332,20
29	SUL	E92A	3003	6,50	5,00	12,50	00:10:00	01:21:00	157,70	115,80	273,50
29	SUL	E109A	3003	6,70	5,00	12,00	00:22:00	01:01:00	196,80	98,90	295,70
29	SUL	E96A	3005	12,88	5,00	18,14	00:21:00	01:03:00	276,20	61,20	337,40
29	SUL	E99B	3004	12,70	5,00	17,70	00:28:00	01:19:00	225,80	99,20	325,00
29	SUL	E102A	3004	12,80	5,00	20,00	00:47:00	03:37:00	304,70	53,00	357,70
30	SUL	E133A	3003	7,70	5,00	14,50	00:24:00	01:33:00	227,40	51,70	279,10
30	SUL	E122	3005	6,00	5,00	11,00	00:21:00	01:08:00	251,20	98,80	350,00
30	SUL	E139A	3005	5,90	5,00	11,50	00:30:00	01:20:00	225,80	133,20	359,00
30	SUL	E140	3005	6,00	5,00	11,00	00:20:00	01:17:00	215,80	104,20	320,00
30	SUL	E144A	3005	11,75	6,25	18,00	03:15:00	01:25:00	291,70	98,50	390,20
30	SUL	E147A	3004	6,96	5,06	18,00	00:32:00	03:45:00	322,90	53,80	376,70
30	SUL	E150A	3004	12,57	5,63	18,20	00:23:00	01:17:00	245,80	99,20	345,00
31	SUL	E174B	3005	7,14	6,30	15,60	01:30:00	01:12:00	321,40	33,60	355,00
31	SUL	E177A	3004	4,95	6,50	13,00	00:15:00	04:35:00	350,10	50,20	400,30
31	SUL	E180A	3001	7,56	5,00	16,40	00:27:00	01:05:00	406,30	42,30	448,60
32	SUL	E186B	3003	5,40	8,00	14,00	00:49:00	02:29:00	386,00	29,00	415,00
32	SUL	E207A	3001	3,40	7,90	13,40	00:15:00	01:15:00	301,60	23,40	325,00
32	SUL	E210A	3001	3,95	7,20	13,00	00:23:00	01:13:00	296,00	19,00	315,00

34-35	SUDOESTE	E3120A	3015	4,14	8,52	14,40	00:06:00	01:45:00	322,80	57,20	380,00
34-35	SUDOESTE	E3130	3015	4,00	5,00	9,00	00:35:00	01:32:00	242,50	51,10	293,60
35	SUDOESTE	E3051	3015	3,00	5,00	8,00	00:14:00	01:12:00	236,90	65,40	302,30
35	SUDOESTE	E3062	3015	2,60	5,00	7,60	00:22:00	01:33:00	203,60	116,40	320,00
35-36	SUDOESTE	E3091	3008	5,90	5,00	10,90	00:28:00	02:12:00	140,23	121,32	261,55
35-36	SUDOESTE	E3091A	3008	8,80	6,22	15,02	00:30:00	01:36:00	319,40	65,50	384,90
35-36	SUDOESTE	E3092	3008	5,10	5,00	10,10	00:22:00	01:17:00	217,10	92,90	310,00
35-36	SUDOESTE	E3103	3008	4,00	6,50	10,50	00:30:00	02:00:00	134,98	128,45	263,43
35-36	SUDOESTE	E3104	3008	7,00	5,00	12,00	00:21:00	01:11:00	262,50	82,00	344,50
35-36	SUDOESTE	E3108A	3008	8,48	6,87	15,35	01:48:00	01:46:00	191,10	84,00	275,10
36	SUDOESTE	E3039	3008	3,50	5,00	8,50	01:50:00	01:20:00	136,47	128,94	265,41
36-37	SUDOESTE	E3075	3008	4,00	5,00	9,00	00:25:00	02:45:00	148,44	110,43	258,87
36-37	SUDOESTE	E3079	3008	4,00	5,00	9,00	00:32:00	03:27:00	241,60	70,80	312,40
36-37	SUDOESTE	E3088A	3008	6,10	6,83	15,03	00:50:00	04:45:00	338,80	51,20	390,00
38'	SUDOESTE	E5145	3013	9,25	6,80	19,27	00:58:00	01:25:00	287,60	56,50	344,10
39	OESTE 2	E5123	3013	7,96	4,03	12,70	00:23:00	01:10:00	238,10	12,70	250,80
40	OESTE 2	E5107	3013	6,80	4,00	10,80	00:30:00	02:00:00	210,20	104,90	315,10
41	OESTE 2	E5076	3013	6,04	5,00	12,00	00:19:00	00:53:00	264,40	54,00	318,40
42	OESTE 2	E5059	3013	4,52	4,10	8,62	00:26:00	00:50:00	199,60	75,40	275,00
42	OESTE 2	E5065	3013	6,03	6,51	12,54	00:15:00	00:50:00	146,80	108,10	254,90
43	OESTE 2	E5181	3013	5,63	4,07	9,70	00:25:00	00:52:00	235,70	99,30	335,00
43	OESTE 2	E5027	3013	3,30	5,00	8,30	00:18:00	03:19:00	209,10	26,00	235,10
44	OESTE 2	E5013	3013	4,00	5,03	9,83	00:35:00	01:14:00	238,10	12,70	250,80
45	OESTE 1	E7199	3016	5,90	4,00	10,40	00:42:00	00:55:00	263,20	102,50	365,70
45	OESTE 1	E7202	3016	4,50	5,00	9,50	00:25:00	00:56:00	287,50	34,60	322,10
45	OESTE 1	E7021	3016	6,20	5,00	11,20	00:45:00	00:58:00	272,50	27,50	300,00
46	OESTE 1	E7041	3016	5,60	5,00	11,10	00:32:00	00:45:00	247,70	21,90	269,60
46	OESTE 1	E7158	3016	5,68	5,00	12,07	00:26:00	04:04:00	244,50	61,40	305,90
47	OESTE 1	E7186	3016	5,50	4,90	10,70	00:19:00	02:22:00	222,20	102,80	325,00
48	OESTE 1	E7088	3016	5,45	4,00	9,80	00:45:00	00:48:00	276,70	39,90	316,60
49	OESTE 1	E7107	3016	3,45	5,00	10,90	00:37:00	00:53:00	204,50	50,50	255,00
50	OESTE 1	E7224	3016	3,60	4,00	10,00	00:09:00	00:33:00	200,50	92,20	292,70

Tabela 28: Carga última das estacas ensaiadas, máxima resistência de ponta e máximo atrito lateral.

Os resultados dos ensaios de carregamento dinâmico mostram que 86% das estacas ensaiadas apresentaram a carga última maior que duas vezes a carga de trabalho, as demais estacas ficaram bem próximo a este resultado. Na maioria das vezes os ensaios pararam com deslocamentos muito baixo, bem inferiores a 10% do diâmetro das estacas, o que definiria a ruptura convencional, ou seja a maioria dos ensaios não mobilizou a carga de ponta que poderia, conseqüentemente a carga última seria maior que a apresentada. A prova de carga deveria além de confirmar a carga admissível admitida pelo projeto, deveria também previamente ser utilizada para definir qual seria essa carga. Essas análises são muito importantes, pois a relação entre o comprimento de embutimento na rocha versus a capacidade de carga permite avaliar a possibilidade de reduzir a penetração da estaca na rocha, com garantia de segurança e economia.

Analisando a estaca E122, os resultados da prova de carga estática mostrado anteriormente, confirmou a carga admissível duas vezes a carga de trabalho, 260tf. Na prova de carga dinâmica pode-se observar que a carga última foi de 350tf e a deformação elástica de 9mm, deformação bastante inferior para ruptura convencional, porém o ensaio foi paralisado devido as tensões de compressão no concreto. Na análise da carga de ruptura pelos métodos de Van der Veen lento e rápido, apresentou 550 t, já o método de Decourt, variou com o carregamento, no lento 812,3 t e no rápido 747,5, ficando bem próximas, no mesmo método.

6. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO MACIÇO

6.1.GENERALIDADES

Neste capítulo serão apresentadas as características gerais da área em estudo, como os perfis geológicos-geotécnicos dos furos de sondagens e da sísmica de refração e a geologia local. Além disso, são apresentados os resultados da determinação dos índices físicos (massa específica aparente, absorção aparente e porosidade aparente); a determinação da resistência à compressão simples e a análise petrográfica .

6.2.GEOLOGIA LOCAL

Geologicamente esta área pertence às rochas do Complexo Salgadinho situado no extremo leste do Terreno Rio Capibaribe. Regionalmente os litotipos predominantes são os monzogranitos e os granodioritos.

A obra está situada sobre rochas metaígneas de composição predominante monzogranítica. É um granito deformado, que apresenta foliação subvertical, sendo muito pouco micáceo, predominando quartzo e feldspato e desta maneira a alteração da rocha resulta basicamente em areia siltosa e silte arenoso com teores muito baixos de argila.

Também são caracterizadas as estruturas geológicas, tais como foliações e fraturas. As fraturas são classificadas como sistemas de fraturas subverticais (fraturas tectônicas) e um subhorizontal (juntas de alívio). Elas são o caminho preferencial de percolação de fluidos e por este motivo gera um perfil de alteração da rocha bastante heterogêneo a partir destas estruturas. Com isso, a rocha apresenta alteração esferoidal e presença de blocos e matacões imersos em solo e topo rochoso muito fraturado.

Os solos de alteração são variados, predominando solos muito arenosos e friáveis, de coloração ocre-amarelada, com variações localizadas para solos com maiores teores de silte e argila, mais coesivos, que assumem coloração marrom-avermelhada.

A passagem de solo para rocha é muito heterogênea, podendo ocorrer contatos bruscos ou transicionais. O topo rochoso é muito irregular, podendo ocorrer passagens laterais bruscas de rocha alterada para solo arenoso. Isso ocorre principalmente devido às estruturas da rocha.

6.3. SONDAGENS MECÂNICAS

A investigação geológico-geotécnica realizada na área de implantação da obra foi constituída de investigação geofísica por sísmica de refração e de investigações mecânicas, que correspondem à abertura de poços em visita a campo e às campanhas de sondagem a trado, percussão e mista, conforme segue:

- Quatro campanhas de sondagens à percussão e mista, que totalizaram 51 sondagens a percussão , que apresentaram profundidade variável entre 0,5 e 8,6m até atingirem o impenetrável.

- Associadas às campanhas de sondagem à percussão, foram realizadas três campanhas de sondagem rotativa, totalizando 25 ensaios, que permitiram aprofundar a caracterização do embasamento encontrado no local. As sondagens mistas identificaram o que foi considerado “topo rochoso” em profundidades que variam entre 0 e 12,70, sendo que os primeiros metros perfurados em rocha são sempre descritos como sendo de baixa qualidade, apresentando baixa % de recuperação, alteração acentuada (A4) e fraturamento intenso (F5, RQD baixo).
- investigação geofísica por sísmica de refração, englobando toda a área da obra.

Abaixo (Figura 54), perfil de sondagem, caracterizando a heterogeneidade da área em estudo.

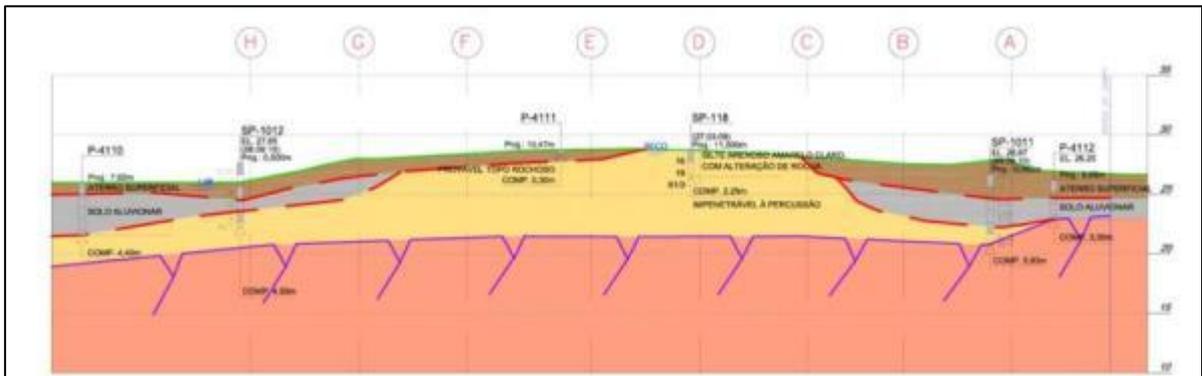


Figura 54. Seção típica do maciço rochoso

O solo encontrado sobre a camada impenetrável das sondagens pode ser classificado em três origens distintas:

- Solo tecnogênico (aterros) predominantemente arenoso siltoso, com espessura de até 4,0m e valores de NSPT variando entre 1 a 15;
- Solo de origem aluvionar, com espessura da ordem de até 5,0m e grande variabilidade nos índices de NSPT, variando de 1 a 11;
- Solo residual arenoso siltoso, com espessuras variáveis e com índices NSPT variando de, aproximadamente, 10 até o impenetrável.

As camadas de solo ocorrem em trechos localizados, nem sempre ocorrendo uma transição entre as três camadas em um dado ponto. Em baixo, das camadas de cima é encontrado um embasamento cristalino em rocha granítica, com ocorrência de matacões esparsos.

Observa-se, nas sondagens à percussão, significativa variação da profundidade do material impenetrável na região. Ao serem comparadas as sondagens que detectaram materiais impenetráveis à baixa profundidade com as sondagens dos seus respectivos arredores, é notado que o material impenetrável da sondagem não se refere necessariamente ao topo rochoso determinado na geofísica (sísmica de refração),

estando esta última associada a rochas duras a sãs. Corrobora ainda a ocorrência de presença de matacões em grande quantidade, ao longo de toda a extensão, que também podem ser responsáveis por parte das sondagens com pouca penetração no subsolo.

As campanhas apontam ainda um nível d'água elevado, com profundidades entre 0,5 e 3,0 m, e em consequência da pequena profundidade de penetração de algumas sondagens, estas não encontraram o nível d'água.

6.4.SÍSMICA DE REFRAÇÃO

Os métodos geofísicos são aplicados à geotecnia baseados no conceito de que, se duas camadas geotécnicas são distintas, então suas propriedades físicas também o são. Ocorre que essa premissa nem sempre é válida, e este é um dos motivos pelos quais qualquer método indireto precisa ser coordenado com métodos diretos para correta interpretação.

A situação encontrada na obra em estudo apresenta uma complexidade adicional que é o contato entre solo e rocha com abundante presença de blocos e matacões, passagens laterais bruscas entre solo e rocha, e topo do maciço rochoso extremamente fraturado e alterado.

Quando a variação das camadas é brusca não se consegue uma boa interpretação dos dados geofísicos. Ocorre uma anomalia geológica, que só é determinada por sondagens complementares.

Nesses casos, o sinal da geofísica se dispersa na interface entre solo e rocha, resultado típico de perfis de solo com blocos e matacões imersos. A interpretação dos dados resultou em dois níveis:

- Solo residual- Nesta interpretação o “solo” pode ser considerado como todo o trecho de material de menor resistência, incluindo saprolitos intercalados com matacões e até mesmo os primeiros metros do maciço rochoso em que a qualidade da rocha é muito baixa.
- Rocha pouco alterada a sã.

O resultado final, após a interpolação de todos os dados coletados nas diversas linhas de investigação, foi a figura 55 que mostra as espessuras de solo.

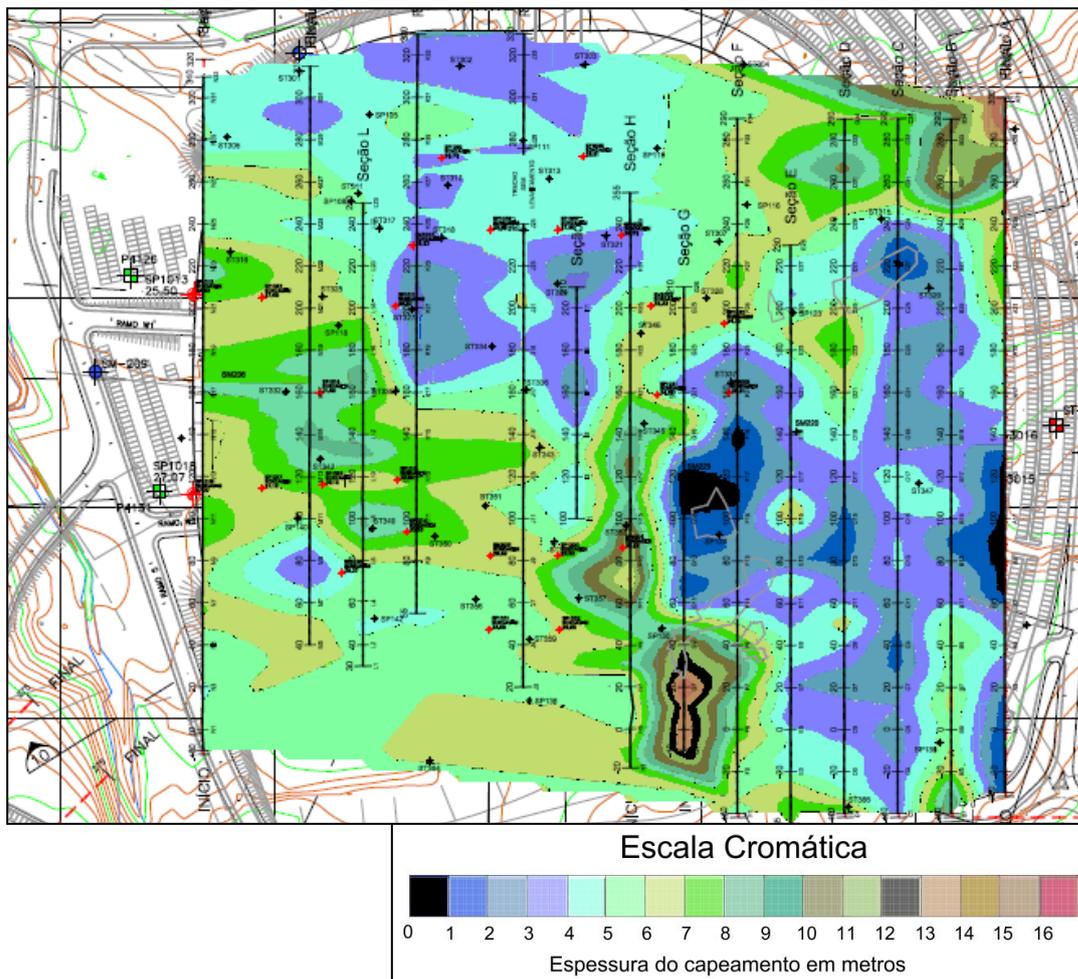


Figura 55. Espessura média de capeamento para chegar ao topo rochoso

Quando a variação estrutural das camadas é suave, a geofísica permite a interpolação segura dos dados de sondagem.

Interpreta-se ainda que a forma do topo rochoso, baseado na geofísica, é uma aproximação, e que possui suavização do relevo, de acordo com limitações de resolução do método. Deste modo, é possível que haja certa discrepância com as informações obtidas a partir das sondagens mecânicas, resultando em variações da cota do topo rochoso encontrado por cada método de até 2m para mais ou para menos.

6.5. DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES FÍSICOS

No material objeto desta pesquisa, a determinação dos índices físicos: massa específica, porosidade e absorção d'água foram realizados segundo a norma NBR 12.766, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Das dez sondagens rotativas escolhidas para os ensaios de laboratório, foram retirados duas amostras de cada furo de sondagem para caracterização das propriedades índices da rocha conforme tabela 29 de resultados, pode-se observar a profundidade a cota de onde foi retirada cada amostra e seus respectivos resultados.

SM	Amostra	Cota	Localização (m)	Índices Físicos			
	N °			Massa Esp seca (g/cm ³)	Massa Esp saturada (g/cm ³)	Porosidad e - η (%)	Absorção - α (%)
3001	1	27,45	8,63	2,615	2,630	1,479	0,566
3001	2	21,98	14,1	2,637	2,647	0,985	0,347
3002	5	21,64	15,42	2,585	2,607	2,178	0,844
3002	6	19,56	17,5	2,607	2,621	1,335	0,512
3003	3	28,40	7,1	2,667	2,676	0,922	0,346
3003	4	27,03	8,47	2,620	2,633	2,319	1,035
3004	7	24,58	12,97	2,594	2,614	2,047	0,790
3004	8	23,00	14,55	2,608	2,634	2,548	0,977
3005	9	27,17	10,4	2,581	2,613	3,190	1,236
3005	10	25,83	11,74	2,591	2,622	3,115	1,203
3008	11	21,55	12,22	2,635	2,647	1,252	0,474
3008	12	23,64	10,13	2,629	2,641	1,284	0,489
3011	13	17,93	10,48	2,527	2,571	4,334	1,715
3011	14	15,46	12,95	2,451	2,516	6,513	2,661
3013	15	3,53	24,1	2,633	2,660	2,745	1,043
3013	16	1,58	26,05	2,722	2,732	0,923	0,339
3015	17	28,48	5,97	2,719	2,735	1,630	0,600
3015	18	24,03	10,42	2,625	2,637	1,150	0,438
3016	19	19,65	7,89	2,504	2,554	5,012	2,003
3016	20	17,31	10,23	2,720	2,740	2,060	0,760

Tabela 29. Resultados massa específica, porosidade e absorção

Observa-se que os dados obtidos para os índices físicos (massa específica, porosidade e absorção) estão dentro da faixa prevista pela literatura. Isto é, com valores compreendidos entre 2,53 a 2,62 g/cm³ para o massa específica saturada, estando os valores baixos associados a zona de fraqueza e ao grau de fraturamento da rocha. A porosidade, apresenta-se na zona de fraqueza, os seus maiores valores, chegando a 6,51 % no furo 3011, amostra 14 e 5,01 % no furo 3016, amostra 19. A absorção apresenta-se nesta zona de fraqueza, o seu maior valor de 2,66% no furo 3011, amostra 14.

6.6.DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

As extremidades dos corpos de prova foram aplanadas perpendicularmente aos eixos das peças, nos limites recomendados pela norma (NBR 12.767), ou seja, as irregularidades do topo e da base, não ultrapassem a $2 \pm 0,01$ mm.

A escolha dos corpos de prova foi limitada ao tamanho mínimo exigido para o ensaio, que era duas vezes o diâmetro do corpo de prova. Porém no momento do corte e regularização das amostras, algumas ficaram com o comprimento menor que o estabelecido.

Foram coletadas duas amostras de cada sondagem rotativa, totalizando 20 ensaios.

6.6.1. Técnica de Ensaio

Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados no Laboratório de Estrutura do Deptº de Engenharia Civil, tendo a prensa as seguintes características: capacidade de carga: 300 t; Tipo de controle do ensaio: carga.

Visando à redução de eventuais efeitos de não paralelismo nas interfaces entre a prensa e as amostras, principalmente nas amostras de menor resistência, optou-se por adotar, tanto no topo como na base placas de compensado de madeira com espessura de 3 mm, e dimensões um pouco maiores que os corpos de prova.

O tempo total do ensaio variou de acordo com a amostra, pois foi realizado a uma carga constante de aplicação de 60 KN/min, o que permitiu o acompanhamento dos ensaios.

6.6.2. Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial

Os ensaios de determinação da resistência à compressão uniaxial, tiveram como ponto de referência, a norma NBR 12.767, da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A resistência à compressão é determinada medindo-se a carga de ruptura de uma amostra, isenta de falhas e defeitos, e é medida pela tensão aplicada ao corpo de prova no momento da ruptura.

Uma indicação da resistência dos materiais rochosos é bem expressa em termos de resistência à compressão uniaxial não confinada seca, a qual pode ser usada como base de uma classificação semi-quantitativa da resistência da rocha. Maciel Filho (1994), apresenta uma tabela proposta pela “IAEG COMMISSION”, 1979, tabela 30.

Tabela 30. Classificação da Resistência para rochas(IAEG, 1979).

Classe	Resistência (MPa)	Termo
1	1,5* - 15	Fraca
2	15 - 50**	Moderadamente forte
3	50 - 120	Forte
4	120 - 230	Muito forte
5	Maior que 230	Extremamente forte

Obs: * Rochas com uma resistência inferiores a 1,5 MPa são, como regra, solos duros e devem ser ensaiados como tal. ** Rochas brandas são mais fracas que 50 MPa, rochas duras são mais resistentes que 50 MPa.

Na tabela 31 estão representados os valores da resistência à compressão simples dos corpos de prova retirados dos furos de sondagens especificados, junto aos resultados de índices físicos, a fim de encontrar alguma correlação.

Com esses resultados, pode –se confirmar o quão heterogêneo é o perfil da obra estudada.

Verifica-se que mesmo em profundidades maiores a resistência pode ser menor, exemplo do furo 3001, que na cota 27,45 apresenta 107,40 MPa de resistência e numa

cota abaixo (21,98), apresenta 74,07 MPa. Isto pode ser explicado pelas fissuras provocadas pelo peso do maciço em cotas mais baixas.

Ainda na tabela abaixo, foi adicionado também o RQD e a recuperação obtidos pelas amostras das sondagens rotativas, a fim de caracterizar o maciço, por esses parâmetros encontrados.

SM	Amostra	Cota boca do	Cota	Localização (m)	Índices Físicos				REC	RQD	P	L _{Médio}	D _{Médio}	Área	σ _c
	N °				Massa Esp seca (g/cm ³)	Massa Esp saturada (g/cm ³)	Porosidade (%)	Absorção (%)	%	%	(Kg)	(cm)	(cm)	(cm ²)	MPa
3001	1	36,08	27,45	8,63	2,615±0,007	2,630±0,005	1,479±0,291	0,566±0,113	70	36	27.200	7,29	5,48	23,61	113,66
3001	2	36,08	21,98	14,10	2,637±0,005	2,647±0,004	0,985±0,132	0,347±0,050	93	57,5	20.000	10,17	5,52	23,93	82,44
3002	5	37,06	21,64	15,42	2,585±0,018	2,607±0,011	2,178±0,704	0,844±0,275	89	43	18.400	7,18	5,46	23,37	77,67
3002	6	37,06	19,56	17,50	2,607±0,008	2,621±0,005	1,335±0,237	0,512±0,092	100	41	28.100	7,12	5,49	23,64	117,26
3003	3	35,50	28,40	7,10	2,667±0,006	2,676±0,005	0,922±0,175	0,346±0,066	93	66	27.600	10,12	5,47	23,47	116,03
3003	4	35,50	27,03	8,47	2,620±0,007	2,633±0,007	2,319±0,255	1,035±0,084	100	56	25.500	7,11	5,52	23,96	104,98
3004	7	37,55	24,58	12,97	2,594±0,019	2,614±0,014	2,047±0,528	0,790±0,211	88	67	17.600	10,12	5,47	23,46	74,01
3004	8	37,55	23,00	14,55	2,608±0,009	2,634±0,007	2,548±0,221	0,977±0,088	100	11	22.900	10,12	5,48	23,62	95,63
3005	9	37,57	27,17	10,40	2,581±0,034	2,613±0,034	3,190±0,419	1,236±0,164	94	37	16.000	10,09	5,49	23,63	66,78
3005	10	37,57	25,83	11,74	2,591±0,013	2,622±0,009	3,115±0,392	1,203±0,157	96	52	17.700	10,18	5,50	23,76	73,49
3008	11	33,77	21,55	12,22	2,635±0,028	2,647±0,033	1,252±0,474	0,474±0,172	94	40	31.900	10,12	5,52	23,93	131,50
3008	12	33,77	23,64	10,13	2,629±0,012	2,641±0,011	1,284±0,201	0,489±0,078	91	51	32.700	10,12	5,52	23,89	135,02
3011	13	28,41	17,93	10,48	2,527±0,009	2,571±0,006	4,334±0,311	1,715±0,129	100	57	7.800	10,21	5,47	23,53	32,71
3011	14	28,41	15,46	12,95	2,451±0,022	2,516±0,014	6,513±0,823	2,661±0,326	100	97	3.300	10,16	5,51	23,83	13,66
3013	15	27,63	3,53	24,10	2,633±0,015	2,660±0,012	2,745±0,398	1,043±0,157	96	42	15.900	10,23	5,47	23,53	66,65
3013	16	27,63	1,58	26,05	2,722±0,021	2,732±0,020	0,923±0,186	0,339±0,070	94	87,5	29.400	10,15	5,47	23,48	123,54
3015	17	34,45	28,48	5,97	2,719±0,024	2,735±0,024	1,630±0,136	0,600±0,050	98	70	18.900	10,18	5,48	23,63	78,92
3015	18	34,45	24,03	10,42	2,625±0,007	2,637±0,005	1,150±0,238	0,438±0,092	100	41	23.600	10,21	5,51	23,80	97,80
3016	19	27,54	19,65	7,89	2,504±0,015	2,554±0,010	5,012±0,563	2,003±0,235	100	79,5	11.500	10,22	5,51	23,85	47,56
3016	20	27,54	17,31	10,23	2,720±0,039	2,740±0,034	2,060±0,572	0,760±0,022	98	36	25.400	10,19	5,47	23,48	106,73

Tabela 31. Resultados resistência á compressão

Os resultados mostram que o maciço é caracterizado por rochas fracas, como é o caso da amostra Amostra 14 no furo 3011, a rochas muito forte como é o caso da amostra 12, no furo 3008. Os resultados apresentados serão utilizados para caracterizar cada maciço. Verifica-se a coerência com os índices físicos apresentados.

6.7. ANÁLISE PETROGRÁFICA

No presente trabalho, as unidades litológicas que constituem a área em estudo foram agrupadas em dois conjuntos: Monzogranito e granodiorito.

Os monzogranito têm maior distribuição espacial na região estudada. Os granodioritos aparecem em uma menor quantidade de amostras, porém também predomina.

Na tabela 32 observa-se a distribuição dessas unidades, nas amostras ensaiadas.

Tabela 32. Classificação Petrográfica das amostras analisadas

Identificação da Lâmina	Classe da Rocha	Composição Mineralógica Principal	Classificação Petrográfica
7	Metaígneia	Quartzo e fedspato	Meta Monzogranito
8	Ígnea	Quartzo e fedspato	Granodiorito
13	Metaígneia	Quartzo e fedspato	Monzogranito
14	Metaígneia	Quartzo e fedspato	Monzogranito
15	Metaígneia	Quartzo e fedspato	Meta Monzogranito
16	Metaígneia	Quartzo e fedspato	Meta Monzogranito
19	Metamórfica	Quartzo e fedspato	Granodiorito
20	Ígnea	Quartzo e fedspato	Monzogranito

A seguir, as duas unidades litológicas serão descritas detalhadamente em duas lâminas analisadas em um mesmo furo de sondagem, localizado no maciço sudoeste. Na tabela 33 seguem características dessas lâminas.

Tabela 33. Características das amostras para análise petrográfica

SM	Amostra	Cota
	N °	
3004	7	24,58
3004	8	23,00

Lâmina 7

Características Mesoscópicas

Rocha Metaígneia de coloração rósea pálida de textura compacta (moderada coesão), fanerítica (cristais visíveis a olho nu), comportando-se como inequigranular holocristalina (composta totalmente por cristais). A granulação é média a grossa, de alta dureza (característico de rochas ígneas compostas por quartzo e feldspatos-escala de Mohs 6-7). A assembleia mineralógica da rocha é caracterizada pelos seguintes minerais: feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e biotita. A textura (disposição dos elementos) da rocha é dominada por elementos planares com bom paralelismo e uma textura lepto-granoblástica. Evidências de foliação são visíveis tanto a olho desarmado como microscopicamente, onde a biotita e o quartzo definem uma estrutura planar (foliação).

Tabela 34. Principais características microscópica – Amostra 7

Características		Amostra 7
Textura		Granítico gnaíssica
Granulação		Média a grossa
Composição Mineralógica	Principal	Quartzo e feldspatos

	Subordinada	Micas , apatita, piroxênio, epidoto e opacos
	Reativa/Deletérica	Quartzo fino e com suave extinção ondulante
Estado microfissural (ausente, moderada ou forte)		Moderada, apenas microfissuras intragranular
Estado de alteração da rocha (sã, pouco alterada ou alterada)		Pouco alterada
Natureza		Ígnea metamorfisada
Classificação Petrográfica		Meta monzogranito
Deformação da rocha		Pouco Deformada
Reatividade da Rocha		Reativa

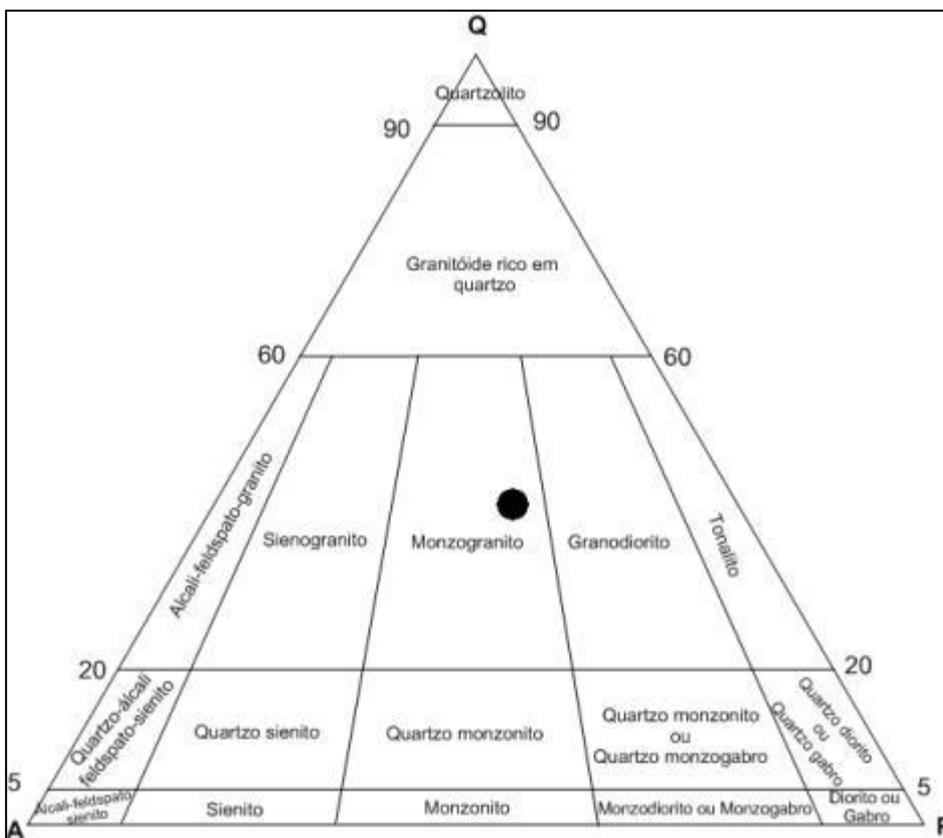


Figura 56. Diagrama QAP, (Streckeisen, 1991)

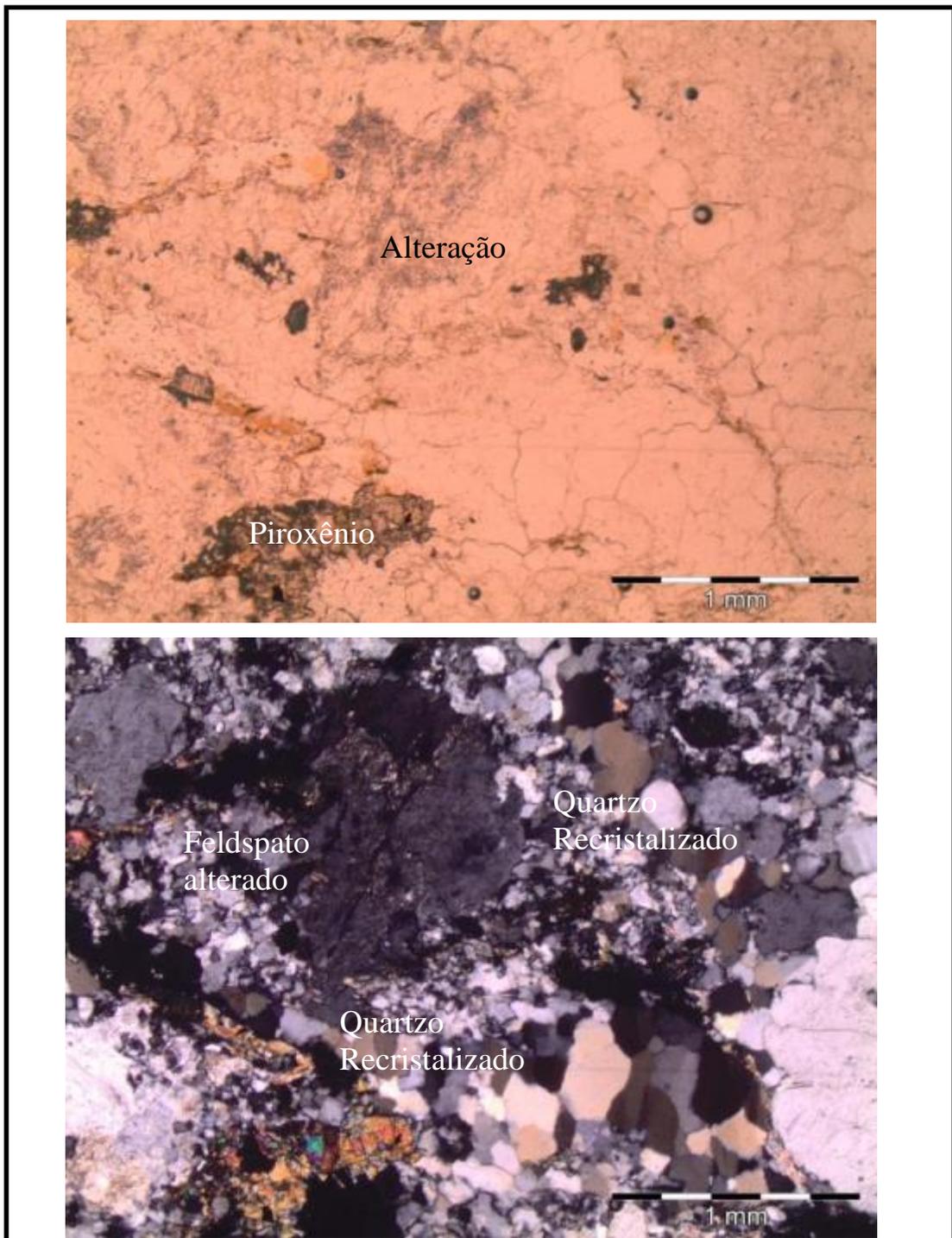


Figura 57. Fotomicrografias –Amostra 7 – Rocha fotografada ao microscópio óptico de luz transmitida, onde observam-se quartzo recristalizado e alteração do feldspato – plagioclásio. a) Luz paralela b) Luz cruzada

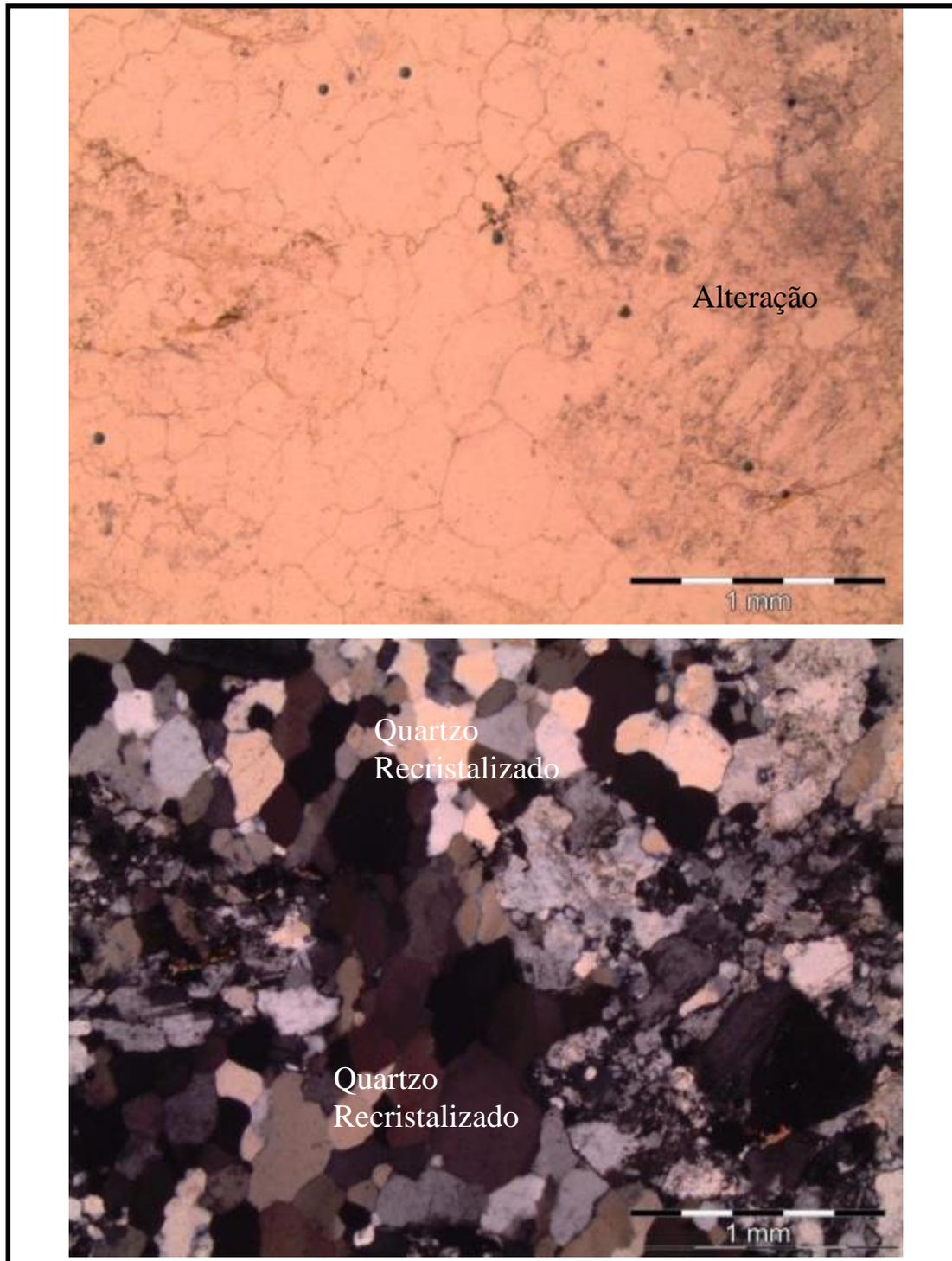


Figura 58. Detalhe de agregado de grãos de quartzo recristalizado com contornos tendendo a retilíneos e alteração forte de alguns grãos de feldspato. a) Luz paralela. b) Luz cruzada

Lâmina 8

Características Mesoscópicas

Rocha ígnea de coloração vermelho amarronzado de textura medianamente compacta (moderada coesão), fanerítica comportando-se a olho desarmado como inequigranular holocristalina (composta totalmente por cristais). A granulação é média a grossa, de alta dureza (característico de rochas ígneas compostas por quartzo e feldspatos-escala de Mohs 6-7). A assembleia mineralógica da rocha é caracterizada pelos seguintes minerais: feldspatos e quartzo. O fabric (disposição dos elementos) da rocha é aleatório, não havendo direcionamento preferencial cristalográfico dos grãos minerais. Evidências de foliação não foram visíveis tanto a olho desarmado como microscopicamente. Alteração é forte e caracteriza a cor da rocha, sendo possivelmente óxido de ferro o responsável.

Tabela 35. Principais características microscópica – Amostra 8

Características		Amostra 8
Textura		Granítica
Granulação		Média a grossa
Composição Mineralógica	Principal	Quartzo e feldspatos
	Subordinada	Micas , piroxênio, apatita, zircão e opacos
	Reativa/Deletérica	Quartzo com suave extinção ondulante
Estado microfissural (ausente, moderada ou forte)		Forte, apenas microfissuras intragranular e intergranular
Estado de alteração da rocha(são, pouco alterada ou alterada)		Alterada
Natureza		Ígnea metamorfisada
Classificação Petrográfica		Granodiorito com piroxênio
Deformação da rocha		Pouco Deformada
Reatividade da Rocha		Reativa

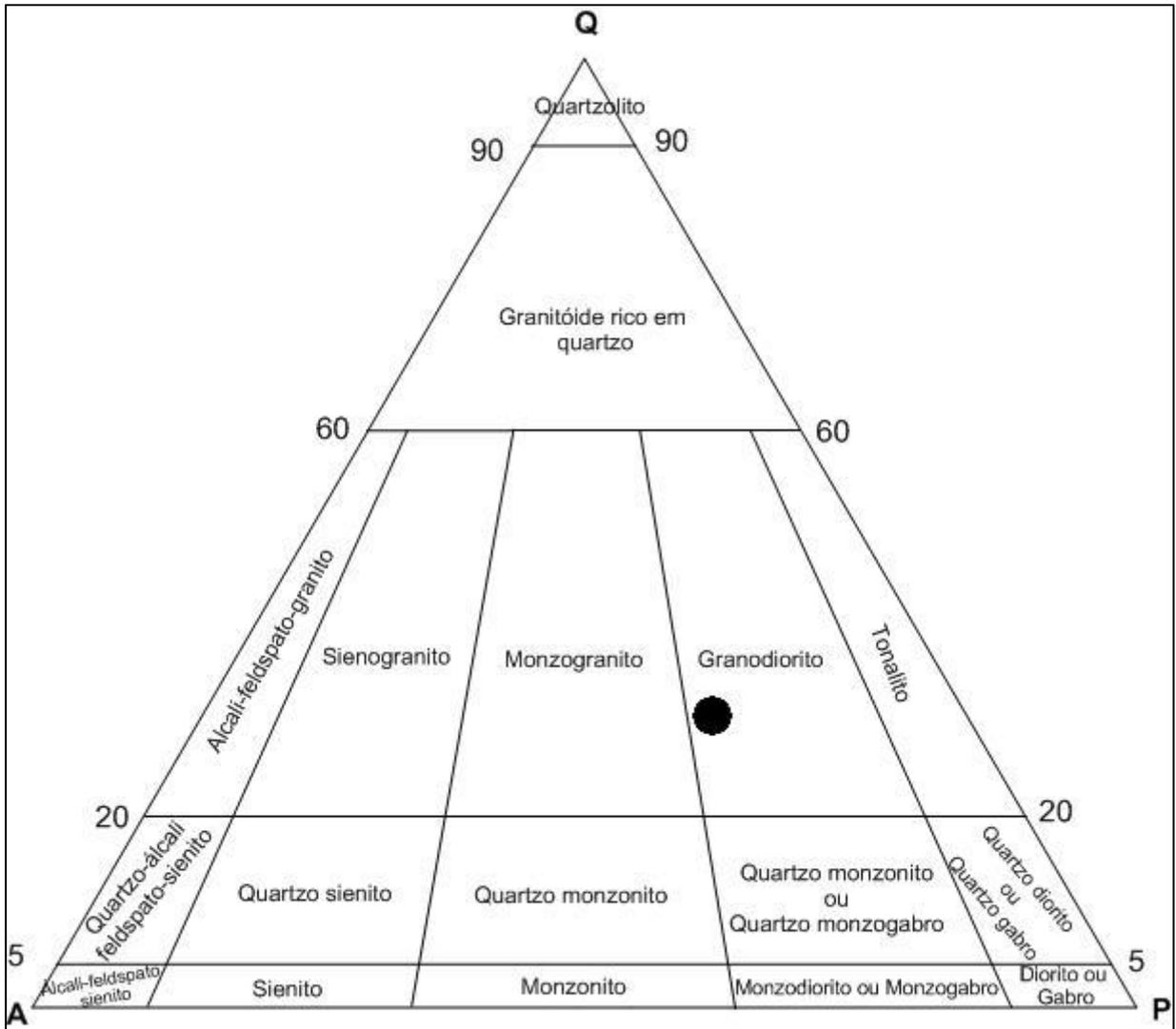


Figura 59. Diagrama QAP (Streckeisen, 1991)

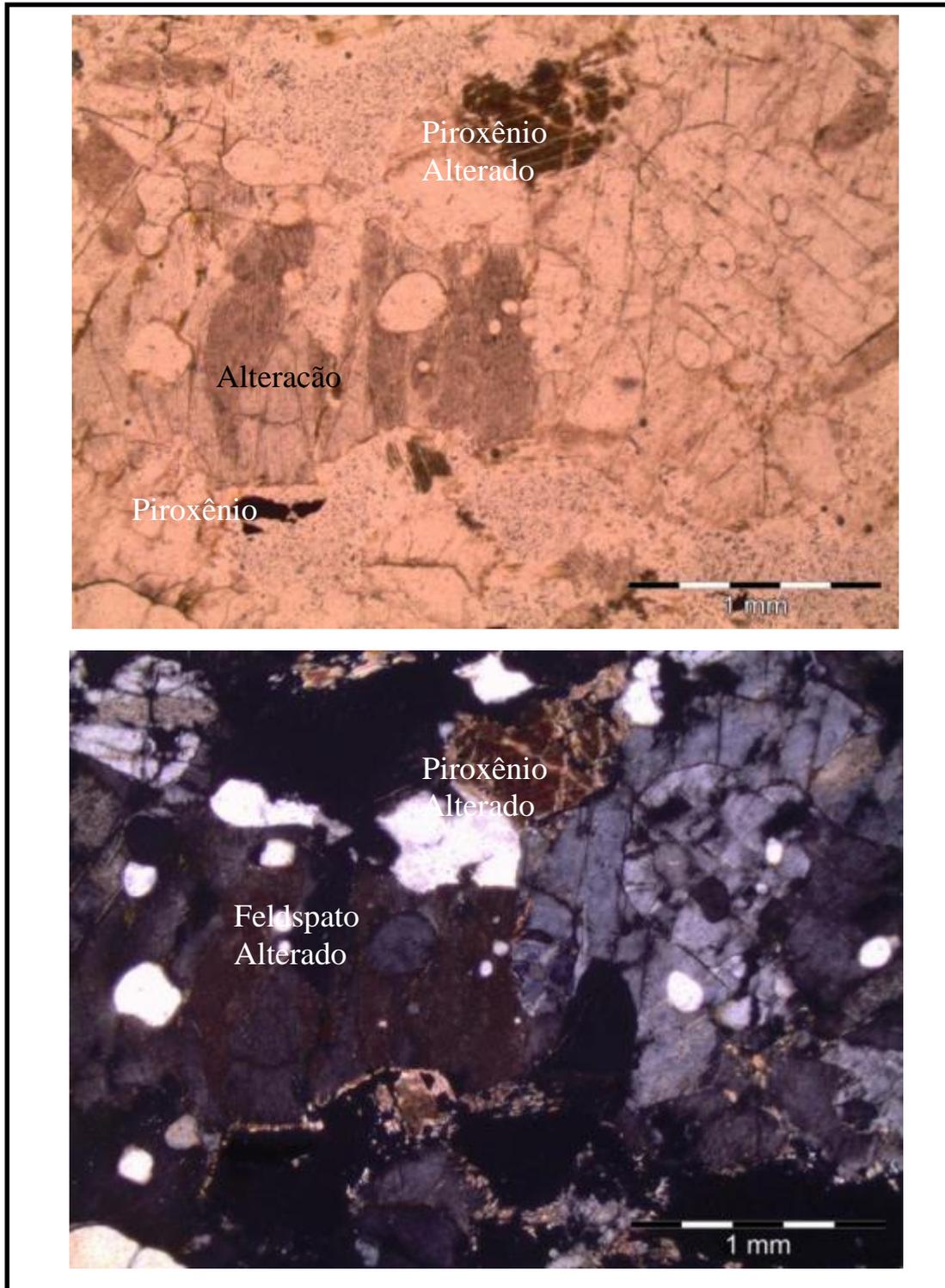


Figura 60. Fotomicrografias –Amostra 8 – Rocha fotografada ao microscópio óptico de luz transmitida, onde observam-se feldspato bastante alterado com inclusões de quartzo e piroxênio alterado. a) Luz paralela. b) Luz cruzada

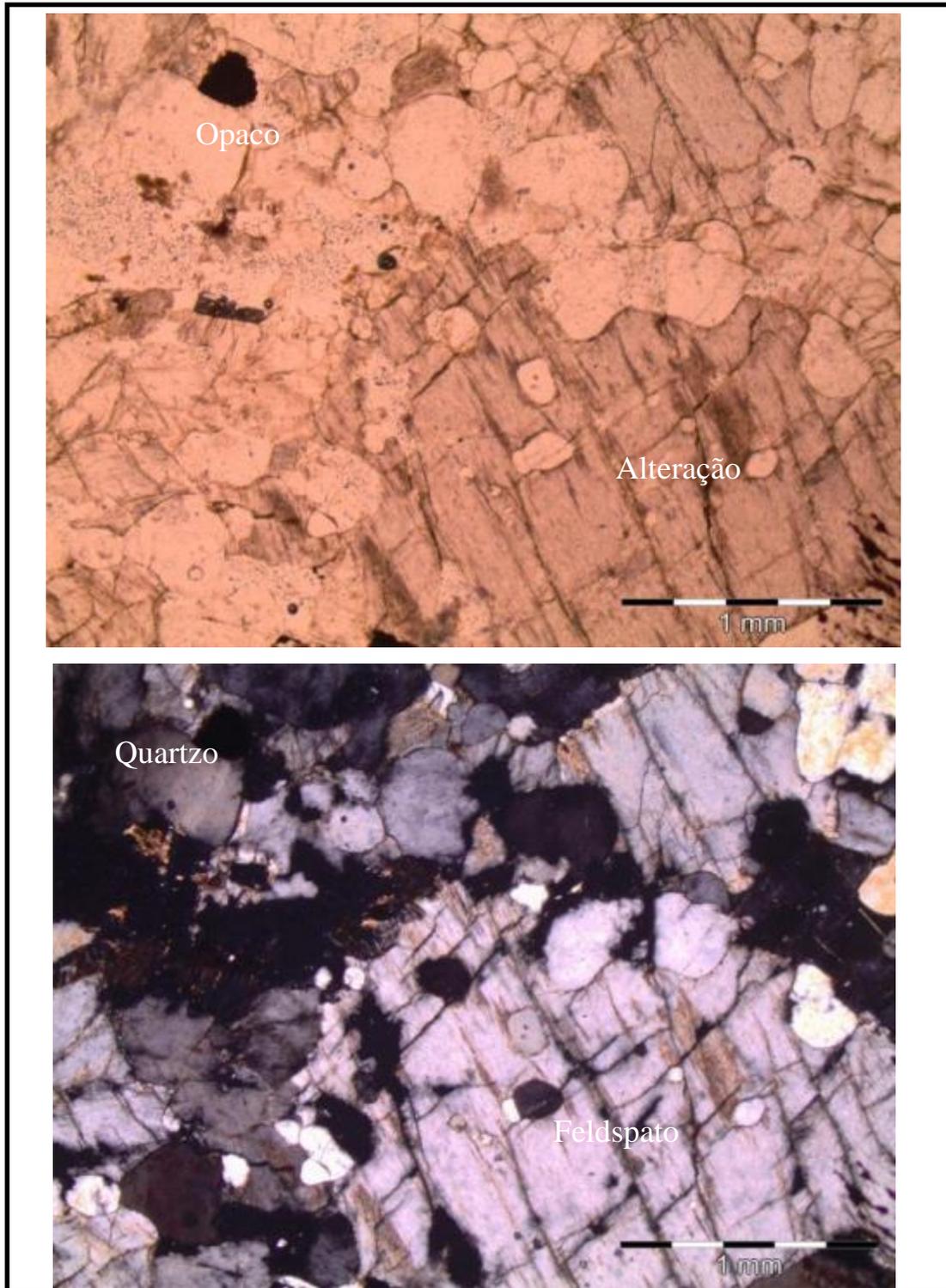


Figura 61. Detalhe da alteração do feldspato, quartzo com extinção ondulante suave. Observa-se ainda uma grande quantidade de microfissuras. a) Luz paralela. b) Luz cruzada

6.8. CARACTERIZAÇÃO DOS MACIÇOS

A caracterização geológica-geotécnica estabelecida para o maciço rochoso baseou-se nos parâmetros de índices físicos, resistência a compressão uniaxial, valor do RQD, recuperação do testemunho de sondagem e análise petrográfica. Foi dada em função dos trechos, pelas distâncias envolvidas. Foram analisadas as sondagens de cada trecho, unindo as mais próximas em um maciço, identificado assim 4 maciços na obra. Serão caracterizados, levando em consideração alguns parâmetros já mostrados no trabalho. Na sequência, serão mostrados os maciços sul, sudeste, sudoeste e oeste.

Figura 62. Caracterização Maciço Sul

SM	Amostra	Cota	Índices Físicos				REC	RQD	Classif Deere	σc corrigido	(Deere & Miller, 1966)	Petrografia		
	N °		Massa Esp seca (g/cm ³)	Massa Esp saturada (g/cm ³)	Porosidade (%)	Absorção (%)	%	%	Qualidade da rocha RQD	MPa	Resistência a Compressão	Classe da Rocha	Classificação Mineralógica Principal	Classificação Petrográfica
3001	2	21,98	2,637±0,005	2,647±0,004	0,985±0,132	0,347±0,050	93	57,5	Regular	74,07	Resistência Média	Metaígneia	-	-
3004	8	23,00	2,608±0,009	2,634±0,007	2,548±0,221	0,977±0,088	100	11	Muito Pobre	85,91	Resistência Média	Ígnea	Quartzo e fedspato	Granodiorito
3004	7	24,58	2,594±0,019	2,614±0,014	2,047±0,528	0,790±0,211	88	67	Regular	66,45	Resistência Média	Metaígneia	Quartzo e fedspato	Meta Monzogranito
3005	10	25,83	2,591±0,013	2,622±0,009	3,115±0,392	1,203±0,157	96	52	Regular	65,99	Resistência Média	Metaígneia	-	-
3003	4	27,03	2,620±0,007	2,633±0,007	2,319±0,255	1,035±0,084	100	56	Regular	99,77	Resistência Alta	Metaígneia	-	-
3005	9	27,17	2,581±0,034	2,613±0,034	3,190±0,419	1,236±0,164	94	37	Pobre	60,02	Resistência Média	Metaígneia	-	-
3001	1	27,45	2,615±0,007	2,630±0,005	1,479±0,291	0,566±0,113	70	36	Pobre	107,40	Resistência Alta	Metaígneia	-	-
3003	3	28,40	2,667±0,006	2,676±0,005	0,922±0,175	0,346±0,066	93	66	Regular	104,18	Resistência Alta	Metaígneia	-	-

Os dados apresentados nesta tabela, representam 4 furos de sondagem, para cada furo foram retirados duas amostras. Nesse maciço, foi realizada análise petrográfica nas amostras 7 e 8 da sondagem mista 3004, nas quais observa-se que mesmo estando numa mesma vertical e com uma variação de 1,58m a amostra 8, mostra-se uma rocha pura, ígnea, já a 7 apresenta-se Metaígneia, onde já aparece sinais de metamorfização. Nas figuras 64 abaixo, observa-se o comportamento das amostras para os índices físicos ao longo das cotas. Ainda na amostra 8, nota-se as limitações do RQD, nesse caso de 11%, o qual pode ser explicado por causa dos testemunhos de sondagem, que diante de uma recuperação de 100%, pode-se afirmar que apenas um pedaço foi maior que 10cm e a outra parte foram de 9 cm ou próximos, o que por Deere, muitas vezes não conduz a realidade do maciço.

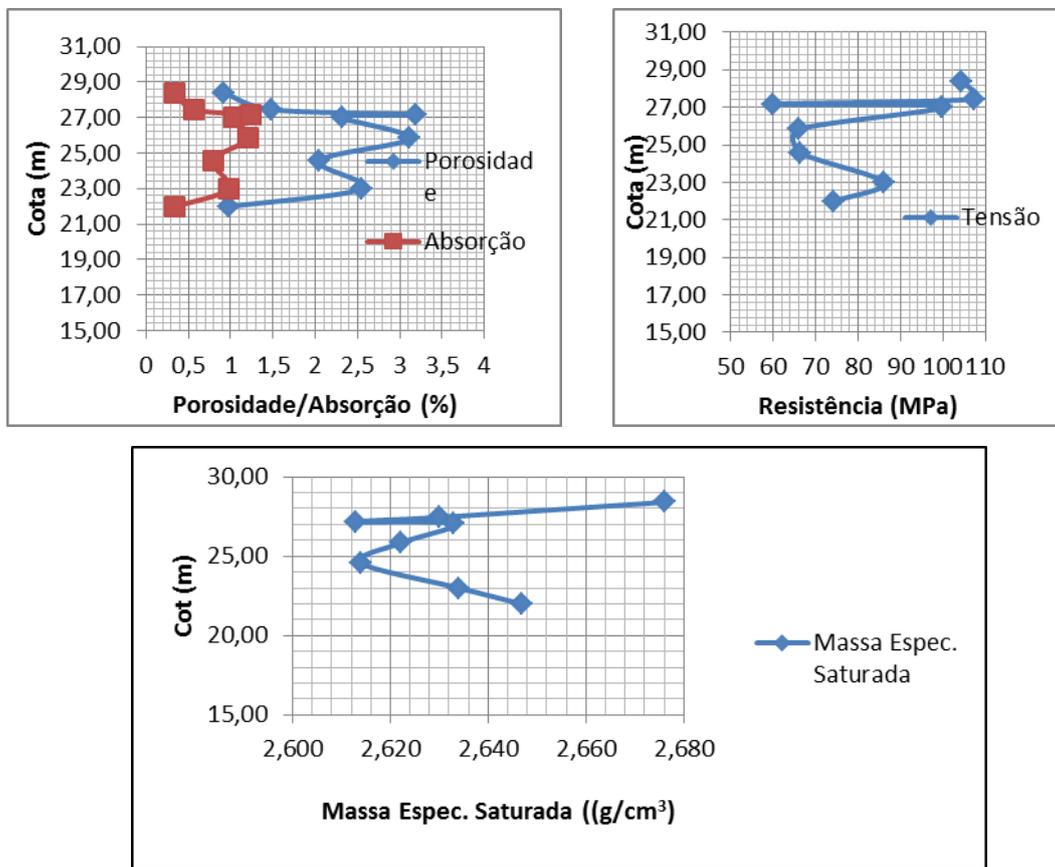


Figura 63: Índices físicos do maciço sul

Verifica-se que no maciço sul, há uma zona de fraqueza entre as cotas 23 a 25, compatível nas três figuras apresentadas. Onde nesse trecho a absorção e a porosidade aumentam e a massa específica e a resistência a compressão diminui.

SM	Amostra	Cota	Índices Físicos				REC	RQD	Classif Deere	σ_c corrigido	(Deere & Miller, 1966)	Petrografia		
	N °		Massa Esp seca (g/cm ³)	Massa Esp saturada	Porosidade (%)	Absorção (%)	%	%	Qualidade da rocha RQD	MPa	Resistência a Compressão	Classe da Rocha	Classificação Mineralógica Principal	Classificação Petrográfica
3002	6	19,56	2,607±0,008	2,621±0,005	1,335±0,237	0,512±0,092	100	41	Pobre	111,29	Resistência Alta	Metaígneia	-	-
3002	5	21,64	2,585±0,018	2,607±0,011	2,178±0,704	0,844±0,275	89	43	Pobre	73,53	Resistência Média	Metaígneia	-	-

Figura 64. Caracterização Maciço Sudeste

Na caracterização deste maciço foi realizado apenas um furo, com análise de duas amostras, no qual se pode observar uma faixa de alta recuperação (< 80%), grau de fraturamento baixo (RQD = ~ 40) e as resistências são média e alta.

A porosidade diminui com a profundidade, mostrando um ganho de resistência. Nas rochas ígneas, a porosidade é usualmente menor que 1 ou 2%. Quando o intemperismo progride, geralmente a porosidade aumenta.

SM	Amostra	Cota	Índices Físicos				REC	RQD	Classif Deere	σ_c corrigido	(Deere & Miller, 1966)	Petrografia		
	N °		Massa Esp seca (g/cm ³)	Massa Esp saturada	Porosidade (%)	Absorção (%)	%	%	Qualidade da rocha RQD	MPa	Resistência a Compressão	Classe da Rocha	Classificação Mineralógica Principal	Classificação Petrográfica
3008	11	21,55	2,635±0,028	2,647±0,033	1,252±0,474	0,474±0,172	94	40	Pobre	118,23	Resistência alta	Metaígneia	-	-
3008	12	23,64	2,629±0,012	2,641±0,011	1,284±0,201	0,489±0,078	91	51	Regular	121,39	Resistência alta	Metaígneia	-	-
3015	18	24,03	2,625±0,007	2,637±0,005	1,150±0,238	0,438±0,092	100	41	Pobre	87,79	Resistência Média	Metaígneia	-	-
3015	17	28,48	2,719±0,024	2,735±0,024	1,630±0,136	0,600±0,050	98	70	Regular	70,83	Resistência Média	Metaígneia	-	-

Figura 65. Caracterização Maciço Sudoeste

Este maciço, caracteriza-se por apresentar resistências de média a alta, recuperação altas e RQD na maioria das amostras baixo. Nos gráficos abaixo, observa-se que a resistência aumenta, à medida que o maciço fica mais profundo.

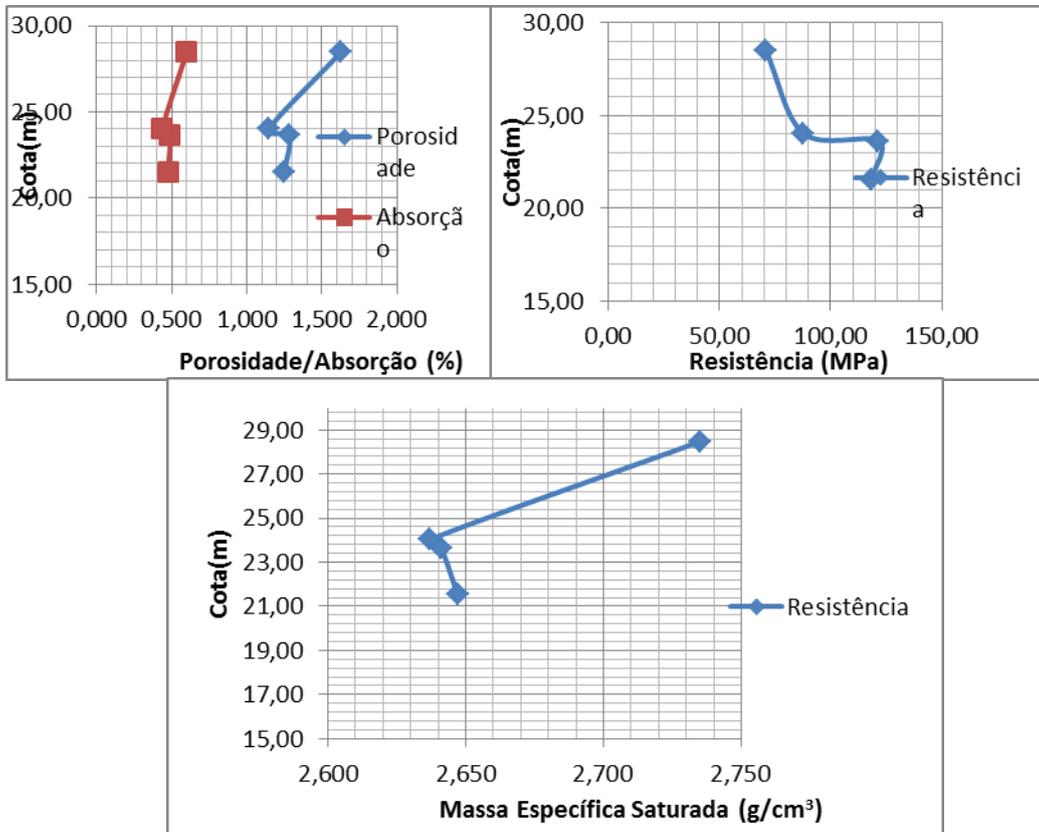


Figura 66 - Índices Físicos do Maciço Sudoeste

Verifica-se ainda no maciço sudoeste que a massa específica aumenta a medida que vai ficando mais profundo, logo os resultados mostram-se compatíveis em todos os índices, neste maciço.

SM	Amostra	Cota	Índices Físicos				REC	RQD	Classif Deere	σ corrigido	(Deere & Miller, 1966)	Petrografia		
	N °		Massa Esp seca (g/cm ³)	Massa Esp saturada (g/cm ³)	Porosida de (%)	Absorçã o (%)	%	%	Qualidade da rocha RQD	MPa	Resistência a Compressão	Classe da Rocha	Classificação Mineralógica Principal	Classificação Petrográfica
3013	16	1,58	2,722±0, 021	2,732±0, 020	0,923±0, 186	0,339±0, 070	94	87,5	Bom	110,89	Resistência Alta	Metaígneia	Quartzo e fedspato	Meta Monzogranito
3013	15	3,53	2,633±0, 015	2,660±0, 012	2,745±0, 398	1,043±0, 157	96	42	Pobre	59,77	Resistência Média	Metaígneia	Quartzo e fedspato	Meta Monzogranito
3011	14	15,46	2,451±0, 022	2,516±0, 014	6,513±0, 823	2,661±0, 326	100	97	Muito bom	12,27	Resistência Baixa	Metaígneia	Quartzo e fedspato	Monzogranito
3016	20	17,31	2,720±0, 039	2,740±0, 034	2,060±0, 572	0,760±0, 022	98	36	Pobre	95,75	Resistência Média	Ígneia	Quartzo e fedspato	Monzogranito
3011	13	17,93	2,527±0, 009	2,571±0, 006	4,334±0, 311	1,715±0, 129	100	57	Regular	29,34	Resistência Baixa	Metaígneia	Quartzo e fedspato	Monzogranito
3016	19	19,65	2,504±0, 015	2,554±0, 010	5,012±0, 563	2,003±0, 235	100	79,5	Bom	42,70	Resistência Baixa	Metamórfica	Quartzo e fedspato	Granodiorito

Figura 67. Caracterização Maciço Oeste

Neste maciço, observa-se que apesar de as recuperações das amostras apresentarem-se altas, as resistências mecânicas se mostram bastante variadas de baixa a alta. Na amostra 16 nota-se que a perfuração precisou ir até a cota 1, 58 para encontrar uma rocha de melhor qualidade, mostrando que mesmo fazendo parte desse maciço é um ponto de atenção, para a execução das estacas nos trechos mais próximos. Com relação a análise petrográfica, a amostra 19 da sondagem 3016, confirma a dificuldade de homogeneizar um maciço, pois a mesma foi classificada do tipo metamórfica, em um maciço onde encontra-se amostra, ígnea, porém exibe várias microfissuras (Apêndice B).

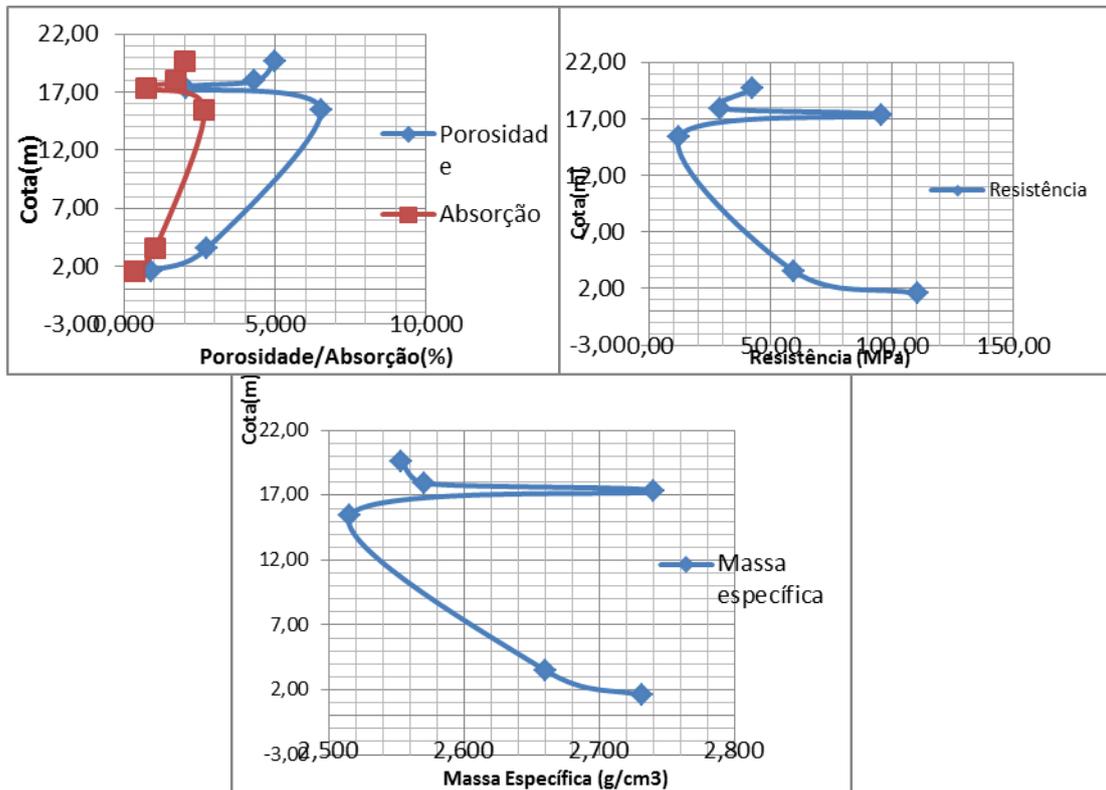


Figura 68 – Índice Físico Maciço Oeste

Nos gráficos observa-se que há um ganho considerável de resistência da cota 14 a cota 1,5, bem como há um aumento na massa específica da rocha à medida que fica mais profundo.

Com a análise de todos os gráficos de caracterização dos maciços, pode afirmar que os índices físicos: peso específico seco, porosidade e absorção aparente apresentam uma boa correlação entre si. E que os maciços analisados apresentaram boas características de apoio de fundação.

7. CONCLUSÕES

A partir dos dados de execução observou-se que uma parte significativa das estacas foi perfurada em tempos inferiores a 2 horas. O tempo de perfuração depende diretamente da resistência da rocha a ser perfurada, do estado dos equipamentos utilizados na perfuração e principalmente da potência do compressor utilizado.

A análise dos dados, levando em consideração as características da obra e as condições obtidas pela obra, demonstraram que 70% das estacas para perfuração do trecho em rocha, apresentaram uma velocidade de 1m em 20min, com pequenas variações.

Além disso existem ferramentas, que podem ser utilizadas, como o rockdrill para auxiliar nas investigações expeditas, na confirmação das cotas de topo rochoso e camadas menos resistentes, antes ou durante a execução das estacas, simplificando os serviços, sendo mais rápido tendo menor custo.

No controle pós execução, a análise dos resultados das provas de carga estática demonstra que os deslocamentos máximos obtidos no carregamento lento, quanto no rápido não foram significativos, dificultando a estimativa de ruptura.

Os ensaios foram realizados em estacas com embutimento de 3 a 5m em rocha e confirmando que em alguns trechos as estacas poderiam ter comprimentos menores, porém para isso seria necessário aumentar a campanha de investigação inicial, ou então utilizar o rockdrill como ferramenta de investigação expedita, durante a execução das fundações.

As estacas em que foram realizados os ensaios estáticos apresentaram resultados satisfatório, ou seja, todos os testes foram levados até duas vezes a carga de trabalho, porém para uma análise mais aprofundada seria necessário carregar as estacas até um deslocamento maior ou até a ruptura.

Os resultados dos ensaios de carregamento dinâmico mostraram que 86% das estacas ensaiadas apresentaram a carga última maior que duas vezes a carga de trabalho e que a maioria dos ensaios não mobilizou a carga de ponta que poderia, conseqüentemente a carga última seria maior que a apresentada.

A prova de carga deveria além de confirmar a carga admissível admitida pelo projeto, deveria previamente ser utilizada para definir qual seria essa carga. Essas análises são muito importantes, pois a relação entre o comprimento de embutimento na rocha versus a capacidade de carga permite avaliar a possibilidade de reduzi a penetração da estaca na rocha, com garantia de segurança e economia.

As análises petrográficas mostraram que as unidades litológicas que constituem a área em estudo foram agrupadas em dois conjuntos: Monzogranito e granodiorito. Os monzogranito têm maior distribuição espacial na região estudada. Os granodioritos aparecem em uma menor quantidade de amostras, porém também predomina, a composição mineralógica principal é o quartzo e feldspato em todas as amostras e a classe da rocha varia de acordo com essas características, podendo ser ígnea, metaígnea em sua grande maioria e metamórfica.

Observa-se ainda que os dados obtidos para os índices físicos (massa específica, porosidade e absorção) estão dentro da faixa prevista pela literatura. Isto é, com valores compreendidos entre 2,53 a 2,62 g/cm³ para a massa específica saturada, estando os valores baixos associados à zona de fraqueza e ao grau de fraturamento da rocha. A porosidade apresenta-se na zona de fraqueza, os seus maiores valores, chegando a 6,51 % no furo 3011, amostra 14 e 5,01 % no furo 3016, amostra 19. A absorção apresenta-se nesta zona de fraqueza, o seu maior valor de 2,66% no furo 3011, amostra 14.

Pode-se confirmar que dentro de cada maciço há uma zona de fraqueza que varia de acordo com as cotas apresentadas nos gráficos de caracterização.

Os índices físicos: peso específico seco, porosidade e absorção aparente, conforme observado nas figuras de caracterização dos maciços, apresentam uma boa correlação entre si.

O RQD (Rock Quality Designation), variou de 11 a 66 % no maciço sul, tendo a classificação de maciço muito pobre a regular, na classificação de Deere (1964). Atingindo valores de 41 a 43 % no maciço sudeste, que corresponde a um maciço pobre. Com relação ao maciço sudoeste e oeste o valor do RQD variou entre 40 a 70% (pobre a regular) e 42 a 97 (maciço pobre a muito alto), respectivamente.

Ficou clara a existência de uma zona de baixa resistência à compressão simples no maciço oeste onde foi obtido os dois menores valores 12,27 e 29,34 MPa .

Para uma melhor continuidade neste estudo, sugere-se:

- Maior quantidade de amostras ensaiadas em um mesmo furo;
- Nos ensaios que forem realizados para a determinação da resistência à compressão simples, determinar a deformação dos corpos de prova, e os parâmetros necessários para a classificação do maciço rochoso o que não foi possível nesta monografia;
- No maciço sudeste deveria ser perfurado uns dois ou mais furos de sondagens para uma melhor determinação dos parâmetros estudados, pois todo estudo deste maciço resumiu-se a um só furo.

REFERÊNCIAS

- ABEF. Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos , Engenharia de Fundações e Geotecnia, 3ª Edição,2004.
- ABGE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. Diretrizes para execução de sondagens. São Paulo,1991.
- ABGE/CBMR. Métodos para a descrição quantitativa de descontinuidades em maciços rochosos ABGE/CBMR, São Paulo, SP 132p, 1983.
- ABGE. Geologia de Engenharia, Caracterização e Classificação dos Maciços Rochosos, São Paulo,p.211-226, 2011
- ALTA RESOLUÇÃO, Relatório da Sísmica de Refração 2011
- BARROS, M.L.S. Dissertação de Mestrado Classificação Geomecânica das áreas de deslizamento no km 17 na rodovia PE -89, 2000.
- BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, Wien, 6, (4) : 189 – 236, 1974.
- BIENIAWSKI, Z. T. Design Methodology in Rock Engineering. Balkema. 1992.
- BIENIAWSKI, Z. T.; ORR C. M. Rapid site appraisal for dam foundations by the geomechanics classification. Proc. 12 th Int. Cong. On Large Dams. I COLD, México Q 46, R 32 pp. 483 – 501, 1976.
- BIENIAWSKI, Z. T. Rock mass classification in rock engineering. Pro. Of the Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg, Nov. p. 97 – 106,1976.
- BIENIAWSKI, Z. T. Tunnel design rock mass classifications. Pennsylvania State University, Department of Mineral Engineering, University Park Technial report G1 – 79 – 19, 1979.
- BRITO, S. Mesa redonda (Seção Técnica 1). 1º Simpósio sobre Escavações Subterrâneas, RJ., Vol. 3, p. 72 – 111, 1982.
- COCH, N.K. ; A. LUDMAN. Physical Geology. New York: Macmillan. 678p, 1991.
- CUNHA, A. P. “Dimensionamento de estruturas subterrâneas - Problemática das estruturas subterrâneas em rocha”. Seminário 285, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. pp. 115-162,1982.
- COUTINHO, R. Q.; LIMA, E. S.; COSTA, F DE Q.; SOUZA NETO J. B. ;CARVALHO, H. A. Estudo geológico-geotécnico do solo residual/rocha biotita gnaisse do escorregamento do espinhaço da gata, PE - 089, Pernambuco. 8º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Rio de Janeiro, RJ; setembro. p. 177 – 202,1996.
- DÉCOURT, L. Provas de Carga em estacas podem dizer muito mais do que têm dito, SEFEIV,2008.
- DEERE, D. U. Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mechanics And Engineering Geology. Vol. 1, nº 1, p. 17 – 22,1964.
- DEERE, D. U.; MERRITT, A. H.; COON, R. F. “Engineering Classification of In-Situ Rock,” Technical Report No. AFWL-TR-67-144, Kirtland Air Force Base, 1969.
- DONATH, F. A. Strength variation and deformational behavior in anisotropic rocks. In W. Judd (Ed.), State of stress in the earth’s crust. Elsevier, New York pp. 281 – 300, 1964.

EGT, Planta de Locação de Sondagens (2011)

FRANKLIN, J. A., DUSSEAUT, M. B. Rock Engineering Applications. McGraw-Hill International Editions. 431 p,1992.

FRASCÁ, M.H.; SARTORI, P.L. Minerais e Rochas.: (Ed.) Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p.15- 38, 2011.

FRAZÃO, E.B.; PARAGUASSU, A.B. Materiais rochosos para construção. In: Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.A. (Ed.) Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p.331- 342, 1998.

GAMA, E. M., FRAZÃO, E. B. Comportamento geomecânico de um maciço de arenito Caiuá/divisa dos Estados do Paraná e Mato Grosso do Sul. 6º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e IX COBRANSEF, BA. p. 57 – 67,1990.

GUIDICINI, G; SANTOS OLIVEIRA, A.M; PIRES DE CAMARGO ,F.;KAJI, N.), Um método de classificação geotécnica preliminar de meios rochosos. In: Semana Paulista de Geologia Aplicada Anais. São Paulo. P 275-282, 1972.

HEGAZY, Y.A.;CUSHING, A. G. Cushing ; LEWIS,C. J. L. ” Driven Pile Capacity in clay and drilled shaft capacity in rock from field load tests”, Fifth International Conference on case histories in geotechnical engineering, New York, NY, April 13-17,2004.

HAWKES, I.; MELLOR M. Uniaxial testing in rock mechanics laboratories. Eng. Geol., 4 (3) 177 – 285, 1970.

IAEG. COMMISSION “ENGINEERING GEOLOGICAL MAPPING”. Classification of rocks and soils for engineering geology mapping Part 1: rock and soil materials. Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Krefeld, v. 19 pp. 364 – 371, 1979.

IPT. Uma proposta sistemática de estudos geológico-geotécnico para projetos de túneis. Relatório 19 173, São Paulo 100p,1983.

ISRM. Basic Geotechnical Description of rock mass, ISRM Commission on Classification of Rocks and Rock Masses, M Rocha, Coordinator, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., 18 (1), 85 – 110,1980.

ISRM .Rock Characterization Testing and Monitoring-ISRM – Suggested Methods.E.T Brown (ed), pergamon,Oxford,England,211p,1981.

ISRM. Suggested methods for the quantitative description os discontinuities in rock mechanics. International Journal of rock mechanics Science and geomechanics.Abstract V.15p. 319-368, 1978.

LAUFER, H. Gebirgsklassiferung fur den stollenbau. Geologie und Bauwesen, vol. 24. 1958, p. 46-51. Classificação de maciços rochosos para construção de túneis. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Tradução nº 597, 1975.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E, Geologia Geral, Cia Editora Nacional, 6ª. Edição, cap. II. MINERAIS E ROCHAS,1975.

MANUAL de Utilização Carreta de Perfuração - PW5000 ,2009.

MASSAD, F.; FONSECA, A V. Método da Rigidez de Décourt aplicado a estaca submetida a vários ciclos de carregamento, SEFE7, São Paulo,2012

MELO, B.N. Análise de provas de carga a compressão a luz do conceito de rigidez Dissertação de Mestrado,Campinas-SP, 2009.

- MERRIT, A. H. Geologic Prediction for underground excavation. Proc. First North American Rapid Excavation and Tunneling Conference, AIME, New York, 1972. pp. 115 – 132,1972.
- MONTOYA, C.A., ASSIS A.P. Classificação Geomecânica e Simulação Numérica de Estruturas Subterrâneas de Barragens, 2002.
- NBR 12763. Rochas para Revestimento - Determinação da Resistência à Flexão. ABNT. 3 p,1992.
- NBR 12766. Rochas para Revestimento - Determinação da Massa Específica Aparente, porosidade Aparente e Absorção D'Água Aparente. ABNT. 2 p,1992.
- NBR 12767. Rochas para Revestimento - Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial. ABNT. 2 p,1992.
- New Mexico, 280 pp. Available from the U.S. Department of Commerce, NTIS, Springfield, VA, Pub. No. AD.848 798.
- POULOS, H. G.; DAVIS, E. H. Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics, Wiley and Sons, NY, 1974.
- REDAELLI, L.L.; CERELLO, L.. “Escavações”. In. OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.).Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. ABGE. Cap. 19. p. 311-330, 1998.
- SCHNAID, F. Ensaio de Campo e suas aplicações a Engenharia de Fundações.São Paulo: Oficina de Texto 2000.
- SERAFIM, J. L.; PEREIRA, J. P. 1983. “Considerations of the Geomechanics Classification of Bieniawski.” Proceedings, International Symposium on Engineering Geology and Underground Construction, LNEC, Lisbon, Portugal, Vol. 1, pp. II.33-II.42.
- SERRA Jr., E.;MATSUDA, K. AZEVEDO; A. A., IYOMASA,;W. S., BRITO, F. A. ;COSTA, M. O. Sistema automatizado para caracterização de maciços rochosos e terrosos em geologia de engenharia. 7º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. p. 43-54.
- SERRA JUNIOR, E.; OJIMA, L. M. Caracterização e classificação de maciços rochosos. In: OLIVEIRA, A. M. do S.; BRITO, S. N. A. de. Geologia de Engenharia, 2011 p. 211-226.
- SOUZA, A.P; Silva R.F; IYOMASA,W.S.” Métodos de Investigação” , in Geologia de Engenharia, . 163-169 São Paulo: ABGE, 2008.
- TERZAGHI, K. Rock defects and loads on tunnel supports, Rock tunnelling with steel supports. Eds. Proctor. R.v. and White, T., Commercial Shearing Co., Youngstown, 1946, revised 1968. Pp. 47 – 99, 1946.
- VELOSO, Dirceu A.. LOPES, Francisco R.. Fundações. Editora Oficina de Textos. Nova Edição. São Paulo, 2004.
- WEAVER, J. M. Geological factor significant in the assessment of rippability. Civil Engineer in South Africa, 17 (12): 313 – 316. Dec ,1975.

ANEXOS

PERFIS DE SONDAGEM

FICHA DE SONDAGEM MISTA																						
SONDAGEM PERCUSSÃO (SPT)			SONDAGEM ROTATIVA						CONVENÇÕES GRAFICAS	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	Revestimento ϕ	Perfuração ϕ										
GOLPES			FRATURA			Classe	Carga Efetiva Kg/cm ²	Conduct. Hidráulica K x 10 ⁻⁴ cm/s					Profundidade em metros									
--- 30cm INICIAIS	--- 30cm FINAIS	GOLPES / 30cm	Iniciais	Finais	Classe				Característica	Preenchimento												
0	20	40	60	80	100	2	4	6	8	10	12											
			12	17									0,00	Solo de aterro, areia siltosa com pedregulhos graúdos, mediamente compacta, coloração cinza escuro.	3 Polegadas	0,00 m						
			13	16								1,00	Solo aluvionar, argila siltosa, rija, coloração laranja esbranquiçada.									
			5	6								2,00	Idem, média.									
			6	9								3,00	Idem, média.									
			7	10								4,00	Idem, média.									
												4,90	Rocha do tipo ortognaisse, fanerítico, mesocrático, rocha pouco alterada, mediamente fraturado, com fraturas subhorizontais de superfícies irregulares, de preenchimento com material essencialmente granular, coloração acinzentado.									
												5,90	Idem, rocha sã.									
												6,90	Idem, muito fraturada, com fraturas subhorizontais subvertical.									
												7,90	Idem.									
												8,90	Idem.									
												9,90	Idem.									
												10,00	FINAL DA PERFURAÇÃO									
												11,00										
												12,00										
												13,00										
												14,00										
												15,00										
												16,00										
												17,00										
												18,00										
												19,00										
												20,00										
20 40 60 80 RECUPERAÇÃO - %			CLASSE		GRAU DE FRATURAMENTO		DIAMETRO SONDAGEM:		Coerência da Rocha C1 - Coerente C2 - Mediamente C3 - Pouco C4 - Incoerente C5 - Solo de Alteração			Inclinação da Fratura H - Horizontal SH - Subhorizontal I - Inclínada SV - Subvertical		Preenchimento da Fratura P1 - Pétreo P2 - Granular P3 - Granular e Argiloso P4 - Argiloso								
EFETIVA Recuperação - % 			Coerência Grau de Alteração R.Q.D.		Nº de fraturas por metros F1 - <1 Fratura F2 - 2-5 Fraturas F3 - 6-10 Fraturas F4 - 11-20 Fraturas F5 - >20 Fraturas		POSIÇÃO: ESTACA: INCLINAÇÃO: NÍVEL D'ÁGUA:		R.Q.D. da Rocha R1 - Qualidade Excelente R2 - Qualidade Boa R3 - Qualidade Regular R4 - Qualidade Pobre R5 - Qualidade Muito Pobre			Superfície da Fratura S1 - Travadas S2 - Irregulares S3 - Lisas ou estríadas		Condutividade da Rocha H1 - <0,1 H2 - 0,1 - 1,0 H3 - 1,0 - 10,0 H4 - >10,0								
SONDAGEM ROTATIVA			FRATURA																			
COORDENADAS							COTA:		DATA:													
N= 250.060,622			E= 149.693,367				35,50		06 - 23/07/2011													
							SONDAGEM MISTA - 01 / 32C-3003															
							PERFIL DE SONDAGEM							QD- 4.1.1								

FICHA DE SONDAGEM MISTA														
SONDAGEM PERCUSSÃO (SPT)			SONDAGEM ROTATIVA											
--- 30cm INICIAIS --- 30cm FINAIS GOLPES / 30cm 0 20 40 60 80 100			GOLPES		FRATURA					DESCRİÇÃO DO MATERIAL				
			Iniciais	Finais	Classe	Característica	Preenchimento	Classe	Carga Elétrica Kg/cm ²	Condut. Hidráulica K x 10 ⁻⁴ cm / s	Profundidade em metros	CONVENÇÕES GRAFICAS	Revestimento φ	Perfuração φ
			6	7	2	4	6	8	10	12	0,00		3 Polegadas	3,20 m
			6	7							0,00	+		
RQD - 0% REC - 12%											1,00	+		Solo aluvionar, silte argiloso, médio, coloração vermelho variegado.
RQD - 56% REC - 70%											2,00	+		Idem, mole a média.
RQD - 36% REC - 70%											3,00	+		Idem, dura.
RQD - 31% REC - 62%											3,10	+		
RQD - 36% REC - 70%											4,00	+		Rocha do tipo granito orientado, de textura fina, leucocrático, rocha sã, pouco fraturada, com fraturamento variando de subvertical a subhorizontal, de superfícies irregulares com preenchimento com material essencialmente granular, coloração cinza amarelado.
RQD - 41% REC - 93%					A1 - F2 - SH/SV						5,00	+		
RQD - 64% REC - 92%					R3 - S2 - P2						6,00	+		Idem, muito fraturada.
RQD - 64% REC - 92%					A1 - F4 - SH/SV						6,50	+		
RQD - 48% REC - 91%					R4 - S2 - P2						7,00	+		Idem.
RQD - 71% REC - 91%					A1 - F4 - SH/SV						7,50	+		Idem.
RQD - 61% REC - 93%					R4 - S2 - P2						8,00	+		Idem, mediamente fraturada.
RQD - 61% REC - 93%					A1 - F2 - SH/SV						8,50	+		
RQD - 61% REC - 93%					R4 - S2 - P2						9,00	+		Idem, granito sem orientação mineral, com textura média, mesocrático, muito fraturada, coloração cinza escuro com partes rosadas..
RQD - 61% REC - 93%					A1 - F4 - SH/SV						9,50	+		
RQD - 61% REC - 93%					R3 - S2 - P2						10,00	+		Idem.
RQD - 61% REC - 93%					A1 - F4 - SH/SV						10,50	+		Idem, granito de textura grossa com matriz máfica e cristais evedricos de k-feldstato, fanerítico, porfirítico, mesocrático.
RQD - 61% REC - 93%					R3 - S2 - P2						11,00	+		Idem.
RQD - 61% REC - 93%					A1 - F4 - SH/SV						11,50	+		Idem, granito de textura grossa com matriz máfica e cristais evedricos de k-feldstato, fanerítico, porfirítico, mesocrático.
RQD - 61% REC - 93%					R3 - S2 - P2						12,00	+		Idem.
RQD - 61% REC - 93%					A1 - F1 - SH/SV						12,50	+		Idem.
RQD - 61% REC - 93%					R3 - S2 - P2						13,00	+		Idem.
RQD - 61% REC - 93%					A1 - F1 - SH/SV						13,50	+		Idem, mediamente fraturada.
RQD - 61% REC - 93%					R3 - S2 - P2						14,00	+		
RQD - 61% REC - 93%					A1 - F3 - SH/SV						14,50	+		FINAL DA PERFURAÇÃO
RQD - 61% REC - 93%					R3 - S2 - P2						15,00	+		
RQD - 61% REC - 93%											16,00	+		
RQD - 61% REC - 93%											17,00	+		
RQD - 61% REC - 93%											18,00	+		
RQD - 61% REC - 93%											19,00	+		
RQD - 61% REC - 93%											20,00	+		

FICHA DE SONDAGEM MISTA															
SONDAGEM PERCUSSÃO (SPT)				SONDAGEM ROTATIVA						CONVENÇÕES GRÁFICAS	DESCRICHÃO DO MATERIAL	Revestimento ϕ	Perfuração ϕ		
--- 30cm INICIAIS --- 30cm FINAIS GOLPES / 30cm 0 20 40 60 80 100				GOLPES		FRATURA						Profundidade em metros			
Iniciais		Finais		Classe		Característica		Preenchimento		Classe					
				2 4 6 8 10 12											
				5 8								0,00			
				5 7								1,00	Solo aluvionar, silte argiloso, médio, coloração alaranjado.	3 Polegadas	0,00 m
				10 15								2,00	Idem, rija, coloração cinza escuro alaranjado.		
				11 15								3,00			
				8 9								4,00			
				7 9								5,00			
				5 9								6,00	Idem, média a rija, coloração alaranjado.		
				9 12								7,00			
				9 11								8,00			
				9 12								9,00			
				13 14								10,00	Solo aluvionar, silte argilo-arenoso, rija, coloração cinza claro.		
				14 15								11,00			
				13 15								12,00			
RQD / A1% REC- 96% RQD / A1% REC- 97% RQD / A3% REC- 89% RQD / A4% REC- 95% RQD - 0% REC- 100%						A2 - A1 - F4 - S4/SV R4 - S2 - P2						12,70	Rocha do tipo ortognaisse, fanerítica, mesocrática, rocha pouco alterada até 13,40 depois ocorre a rocha sã, muito fraturada, com fraturas variando de subhorizontal a subvertical, de superfícies irregulares, de preenchimento com material essencialmente granular, coloração acinzentado.		
						A1 - F3 - S4/SV R4 - S2 - P2						13,70	Idem, rocha sã, mediamente fraturado.		
						A1 - F3 - S4/SV R4 - S2 - P2						14,70	Idem.		
						A1 - F4 - S4/SV R4 - S2 - P2						15,70	Idem, muito fraturado.		
						A1 - F5 - S4/SV R5 - S2 - P2						16,70	Idem, extremamente fraturado.		
												17,70	FINAL DA PERFURAÇÃO		
												18,00			
												19,00			
												20,00			
REPERAÇÃO - % EFETIVA Recuperação - % RQD, %		CLASSE Coerência Grau de Alteração R.Q.D.		GRAU DE FRATURAMENTO Nº de fraturas por metros F1 - <1 Fratura F2 - 2 -5 Fraturas F3 - 6-10 Fraturas F4 - 11-20 Fraturas F5 - >20 Fraturas		DIAMETRO SONDAGEM: POSIÇÃO: ESTACA: INCLINAÇÃO: NÍVEL D'AGUA:		Coerência da Rocha C1 - Coerente C2 - Mediamente C3 - Pouco C4 - Incoerente C5 - Solo de Alteração R.Q.D. da Rocha R1 - Qualidade Excelente R2 - Qualidade Boa R3 - Qualidade Regular R4 - Qualidade Pobre R5 - Qualidade Muito Pobre		Inclinação da Fratura H - Horizontal SH - Subhorizontal I - Inclínada SV - Subvertical Superfície da Fratura S1 - Travadas S2 - Irregulares S3 - Lisas ou estriadas		Preenchimento da Fratura P1 - Pétreo P2 - Granular P3 - Granular e Argiloso P4 - Argiloso Condutividade da Rocha H1 - < 0,1 H2 - 0,1 - 1 H3 - 1,0 - 10,0 H4 - >10			
COORDENADAS				COTA:		DATA:									
N = 250.038,805 E = 149.754,782				37,058		13 - 16/07/2011									
				SONDAGEM MISTA - 03 / 26E-3002											
				PERFIL DE SONDAGEM										QD- 4.3.1	

FICHA DE SONDAGEM MISTA																						
SONDAGEM PERCUSSÃO (SPT)				SONDAGEM ROTATIVA																		
--- 30cm INICIAIS 30cm FINAIS GOLPES / 30cm 0 20 40 60 80 100				GOLPES		FRATURA					DESCRİÇÃO DO MATERIAL											
				Iniciais	Finais	2	4	6	8	10	12	Classe	Característica	Preenchimento	Classe	Carga Efetiva Kg/cm ²	Conduct. Hidráulica K x 10 ⁻⁴ cm / s	Profundidade em metros	CONVENÇÕES GRÁFICAS		Revestimento Ø	Perfuração Ø
				7	9													0.00		Laje em concreto.	3 Polegadas	0,00 m
				8	12												0.20		Solo aluvionar, silte argiloso, médio, coloração vermelho variegado.			
				5	9												1.00					
				5	7												2.00					
				7	8												3.00					
				8	10												4.00		Solo aluvionar, silte argiloso, média a rija, coloração alaranjad			
				9	11												5.00					
				9	13												6.00					
REC- 100%																	7.00		Solo aluvionar, silte argilo-srenoso, rija, coloração cinza claro.			
																	7.60		Argamassa da estaca.			
																	8.00		Alteração de rocha (amostra não recuperada).			
																	8.10		Alteração de rocha (amostra não recuperada).			
																	9.00		Alteração de rocha (amostra não recuperada).			
																	9.50		Alteração de rocha (amostra não recuperada).			
RQD - 39% REC- 94%												A1	- F4 - SH / SV				10.00		Rocha tipo ortognaisse, fanerítico, mesocrático, rocha sã, muito fraturado de fraturas subhorizontal e subvertical, de superfícies irregulares, de preenchimento com material essencialmente granular, coloração acinzentado.			
RQD - 84% REC- 100%												R4	- S2 - P2				10.50		Idem, mediamente fraturada.			
RQD - 85% REC- 88%												A1	- F3 - SH / SV				11.00					
RQD - 96% REC- 97%												R2	- S2 - P2				11.50		Idem, pouco fraturada, com fratura subhorizontal.			
RQD - 11% REC- 100%												A1	- F2 - SH				12.00		Idem.			
												R2	- S2 - P2				12.50		Idem, muito fraturado, com fratura subhorizontal a subvertical.			
												A1	- F2 - SH				13.00					
												R1	- S2 - P2				13.50					
												A1	- F4 - SH / SV				14.00					
												R5	- S2 - P2				14.50					
																	15.00					
																	15.50		FINAL DA PERFURAÇÃO			
																	16.00					
																	17.00					
																	18.00					
																	19.00					
																	20.00					
20 40 60 80 RECUPERAÇÃO - %		CLASSE	GRAU DE FRATURAMENTO	DIAMETRO SONDAGEM:				Coerência da Rocha C1 - Coerente C2 - Mediamente C3 - Pouco C4 - Incoerente C5 - Solo de Alteração R.Q.D. da Rocha R1 - Qualidade Excelente R2 - Qualidade Boa R3 - Qualidade Regular R4 - Qualidade Pobre R5 - Qualidade Muito Pobre														
EFETIVA Recuperação - %		Coerência Grau de Alteração R.Q.D.	Nº de fraturas por metros F1 - <1 Fratura F2 - 2-5 Fraturas F3 - 6-10 Fraturas F4 - 11-20 Fraturas F5 - >20 Fraturas	POSIÇÃO: ESTACA: INCLINAÇÃO: NÍVEL D'AGUA:				Inclinação da Fratura H - Horizontal SH - Subhorizontal I - Inclina SV - Subvertical Superfície da Fratura S1 - Travadas S2 - Irregulares S3 - Lisas ou estriadas														
SONDAGEM ROTATIVA				FRATURA				Preenchimento da Fratura P1 - Pétreo P2 - Granular P3 - Granular e Argiloso P4 - Argiloso														
COORDENADAS				COTA:		DATA:		Condutividade da Rocha H1 - < 0,1 H2 - 0,1 -														
N= 250.048,880		E= 149.713,181		37,554		16 - 19/07/2011		H3 - 1,0 - 10,0 H4 - >10														
				SONDAGEM MISTA - 04 / 30D-3004																		
				PERFIL DE SONDAGEM																		
								QD- 4.4.1														

FICHA DE SONDAGEM MISTA																							
SONDAGEM PERCUSSÃO (SPT)			SONDAGEM ROTATIVA						CONVENÇÕES GRAFICAS	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	Revestimento Ø	Perfuração Ø											
GOLPES / 30cm			FRATURA			Classe Característica	Classe	Carga Efetiva Kg/cm ²					Conduz. Hidráulica K x 10 ⁻⁴ cm / s	Profundidade em metros									
---			Iniciais						Finalis			2			4	6	8	10	12				
---			Iniciais			Finalis			2	4	6		8	10						12			
--- 30cm INICIAIS --- 30cm FINAIS 0 10 20 30 40			7 8 9 12 10 13 10 12 7 9 7 8 4 5 18 25																				
															Solo aluvionar, silte argilo-arenoso, média, coloração laranja acinzentado. Solo aluvionar, silte argilo-arenoso, rija, coloração cinza esverdeado. Idem, média. Solo aluvionar, argila siltosa pouco arenosa, média, coloração cinza escuro a preto. Idem, mole. Solo aluvionar, areia siltosa pouco argilosa, compacta, coloração cinza escuro. Alteração de rocha, extremamente decomposta e alterada, pulverulentos e friáveis, coloração avermelhado.			3 Polegadas			8,00 m		
20 40 60 80 RECUPERAÇÃO - % EFETIVA Recuperação - % R.Q.D. - %			CLASSE Coerência Grau de Alteração R.Q.D.			GRAU DE FRATURAMENTO Nº de fraturas por metros F1 - <1 Fratura F2 - 2-5 Fraturas F3 - 6-10 Fraturas F4 - 11-20 Fraturas F5 - >20 Fraturas			DIAMETRO SONDAGEM: POSIÇÃO: ESTACA: INCLINAÇÃO: NÍVEL D'ÁGUA: 1,54 m			Coerência da Rocha C1 - Coerente C2 - Mediamente C3 - Pouco C4 - Incoerente C5 - Solo de Alteração R.Q.D. da Rocha R1 - Qualidade Excelente R2 - Qualidade Boa R3 - Qualidade Regular R4 - Qualidade Pobre R5 - Qualidade Muito Pobre			Inclinação da Fratura H - Horizontal SH - Subhorizontal I - Inclínada SV - Subvertical Superfície da Fratura S1 - Travadas S2 - Irregulares S3 - Lisas ou estriadas			Preenchimento da Fratura P1 - Pétreo P2 - Granular P3 - Granular e Argiloso P4 - Argiloso Condutividade da Rocha H1 - <0,1 H2 - 0,1 - 1, H3 - 1,0 - 10,0 H4 - >10,0					
SONDAGEM ROTATIVA						FRATURA																	
COORDENADAS						COTA:						DATA:											
N= 250.075,749						E= 149.582,897						27,634 05 - 09/08/2011											
SONDAGEM MISTA - 08 / 38'J-3013 - Folha 1/2																							
PERFIL DE SONDAGEM															QD-4.8.1								

FICHA DE SONDAAGEM MISTA													
SONDAAGEM PERCUSSÃO (SPT)			SONDAAGEM ROTATIVA							CONVENÇÕES GRAFICAS	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	Revestimento Ø	Perfuração Ø
GOLPES / 30cm			FRATURA										
Iniciais		Finais	Classe		Características	Preenchimento	Classe	Capacidade kg/cm²	Condut. térmica K x 10 ⁻⁴ m/s				
---		---											
0		40	5		7						0,00		
10		30	6		7						1,00		
20		20	7		9						2,00		
30		10	8		9						3,00		
40		0	11		12						4,00		
			13		15						5,00		
			19		22						6,00		
			19		23						7,00		
											7,80		
											8,00		
											8,80		
											9,00		
											9,80		
											10,00		
											10,80		
											11,00		
											11,80		
											12,00		
											12,80		
											13,00		
											14,00		
											15,00		
											16,00		
											17,00		
											18,00		
											19,00		
											20,00		
											21,00		
											22,00		
											23,00		
											24,00		
											25,00		
											26,00		
											27,00		
											28,00		
											29,00		
											30,00		
											31,00		
											32,00		
											33,00		
											34,00		
											35,00		
											36,00		
											37,00		
											38,00		
											39,00		
											40,00		
											41,00		
											42,00		
											43,00		
											44,00		
											45,00		
											46,00		
											47,00		
											48,00		
											49,00		
											50,00		
											51,00		
											52,00		
											53,00		
											54,00		
											55,00		
											56,00		
											57,00		
											58,00		
											59,00		
											60,00		
											61,00		
											62,00		
											63,00		
											64,00		
											65,00		
											66,00		
											67,00		
											68,00		
											69,00		
											70,00		
											71,00		
											72,00		
											73,00		
											74,00		
											75,00		
											76,00		
											77,00		
											78,00		
											79,00		
											80,00		
											81,00		
											82,00		
											83,00		
											84,00		
											85,00		
											86,00		
											87,00		
											88,00		
											89,00		
											90,00		
											91,00		
											92,00		
											93,00		
											94,00		
											95,00		
											96,00		
											97,00		
											98,00		
											99,00		
											100,00		
											101,00		
											102,00		

FICHA DE SONDAGEM MISTA																	
SONDAGEM PERCUSSÃO (SPT)				SONDAGEM ROTATIVA													
--- 30cm INICIAIS --- 30cm FINAIS GOLPES / 30cm 0 10 20 30 40				GOLPES		FRATURA						Profundidade em metros	CONVENÇÕES GRÁFICAS	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	Revestimento φ	Perfuração φ	
Iniciais	Finals	2	4	6	8	10	12	Classe	Características	Preenchimento	Classe						Carga Eléctrica Kg/cm ²
		5	7											0,00	+	3 Polegadas 5,50 m	
		6	8											1,00	+		Solo aluvionar, silte argiloso, média a rija, coloração atarrajado com alguns fragmentos esbraquiçados. Rocha ígnea do tipo granito, mesocristico, fanerítico, rocha sã, mediantemente fraturado, com fraturamento subhorizontal a inclinado, de superfícies irregulares, de preenchimento com material essencialmente granular, coloração acinzentado. Idem. Idem. Idem, muito fraturado, com fraturas subhorizontais a subverticais. Idem, mediantemente fraturado, com fraturas subhorizontais a inclinada. FINAL DA PERFURAÇÃO
		7	9											2,00	+		
		7	8											3,00	+		
		9	11											4,00	+		
		15	17											5,00	+		
														5,60	+		
														6,00	+		
														6,60	+		
														7,60	+		
														8,00	+		
														8,60	+		
														9,60	+		
														10,00	+		
														10,60	+		
														11,00	+		
														12,00	+		
														13,00	+		
														14,00	+		
														15,00	+		
														16,00	+		
														17,00	+		
														18,00	+		
														19,00	+		
														20,00	+		
20 40 60 80 RECUPERAÇÃO - %		CLASSE		GRAU DE FRATURAMENTO				DIAMETRO SONDAGEM:				Coerência da Rocha		Inclinação da Fratura		Preenchimento da Fratura	
EFETIVA		Coeficiente		Nº de fraturas por metros				POSIÇÃO:				C1 - Coerente		H - Horizontal		P1 - Pétreo	
Recuperação - %		Grau de Alteração		F1 - <1 Fraturas				ESTACA:				C2 - Mediantemente		SH - Subhorizontal		P2 - Granular	
RqD		R.Q.D.		F2 - 2-5 Fraturas				INCLINAÇÃO:				C3 - Pouco		I - Inclinada		P3 - Granular e Argiloso	
				F3 - 6-10 Fraturas				NÍVEL DA GUA: 3,60 m				C4 - Incoerente		SV - Subvertical		P4 - Argiloso	
				F4 - 11-20 Fraturas				SONDAGEM ROTATIVA		FRATURA		R.Q.D. da Rocha		Superfície da Fratura		Condutividade da Rocha	
				F5 - >20 Fraturas				COTA:		DATA:		R1 - Qualidade Excelente		S1 - Travadas		H1 - < 0,1 H2 - 0,1 - 1,	
				SONDAGEM ROTATIVA		FRATURA		34455		09 - 12/08/2011		R2 - Qualidade Boa		S2 - Irregulares		H3 - 1,0 - 10,0 H4 - >10,	
				SONDAGEM ROTATIVA		FRATURA		SONDAGEM MISTA - 09 / E 3062 - 3015				R3 - Qualidade Regular		S3 - Lias ou estradas			
				SONDAGEM ROTATIVA		FRATURA		PERFIL DE SONDAGEM				R4 - Qualidade Pobre					
				SONDAGEM ROTATIVA		FRATURA						R5 - Qualidade Muito Pobre					
				SONDAGEM ROTATIVA		FRATURA						Grau de Alteração da Rocha					
				SONDAGEM ROTATIVA		FRATURA						A1 - Rocha Sã					
				SONDAGEM ROTATIVA		FRATURA						A2 - Rocha Pouco Alterada					
				SONDAGEM ROTATIVA		FRATURA						A3 - Rocha Median. Alterada					
				SONDAGEM ROTATIVA		FRATURA						A4 - Rocha Muito Alterada					
				SONDAGEM ROTATIVA		FRATURA						A5 - Alteração de Rocha					
				SONDAGEM ROTATIVA		FRATURA										QD-4.9.1	

FICHA DE SONDAGEM MISTA																				
SONDAGEM PERCUSSÃO (SPT)				SONDAGEM ROTATIVA								CONVENÇÕES GRÁFICAS	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	Revestimento φ	Perfuração φ					
--- 30cm INICIAIS 30cm FINAIS GOLPES / 30cm				FRATURA																
GOLPES		FRATURA		Classe		Características		Preenchimento		Classe						Carga Elevada Kg/cm²		Carga Helicoidal K x		Profundidade em metros
Iniciais	Finalis	2	4	6	8	10	12													
0	10	20	30	40														20,00	Rocha do tipo sienito com inclusões de calciossilicática, rocha muito a medianamente alterada, extremamente fraturada, com fraturas subhorizontais a subverticais, de superfícies irregulares, porém por processo de oxidação ocorre alteração de suas paredes, de preenchimento com material granular e argiloso, coloração avermelhada com pequenas partes esverdeadas.	3 Polegadas
																		21,00	Idem, sienito com inclusões de calciossilicática até 21,58m depois vem só a calciossilicática, coloração vermelho esverdeado.	
																		22,00		
																		23,00	Rocha do tipo granito fino com orientação dos minerais, máficos, rocha medianamente alterada até 23,15 m, depois vem a rocha alterada, muito fraturada, com fraturas subhorizontal a subvertical, de superfícies irregulares, de preenchimento essencialmente granular, coloração acinzentado.	
																		24,00	Idem, rocha pouco alterada.	
																		25,00	Rocha do tipo granito, fanerítico, mesocrático, rocha sã, pouco fraturada, com fratura subhorizontal, de superfícies irregulares, de preenchimento essencialmente granular, coloração acinzentado.	
																		26,00	Idem.	
																		27,00	Idem.	
																		28,00	Idem.	
																		29,00		
																		30,00		
																		31,00		
																		32,00		
																		33,00		
																		34,00		
																		35,00		
																		36,00		
																		37,00		
																		38,00		
																		39,00		
																		40,00		
20 40 60 80				CLASSE		GRAU DE FRATURAMENTO		DIAMETRO SONDAGEM:				Coerência da Rocha		Inclinação de Fratura		Preenchimento de Fratura				
EFETIVA				Coerência		Nº de fraturas por metros		POSIÇÃO:				R1 - Coerente		H - Horizontal		P1 - Falso				
Recuperação - %				Grau Alteração		F1 - <1 Fratura		ESTACA:				C2 - Medianamente		SH - Subhorizontal		P2 - Granular				
RQD, %				R.Q.D.		F2 - 2-5 Fraturas		INCLINAÇÃO:				C3 - Pouco		I - Inclinação		P3 - Granular e Argiloso				
SONDAGEM ROTATIVA						F3 - 6-10 Fraturas		NÍVEL DAGUA: 1,54 m				C4 - Incoerente		SV - Subvertical		P4 - Argiloso				
						F4 - 11-20 Fraturas						C5 - Solo de Alteração								
						F5 - >20 Fraturas						R.Q.D. da Rocha		Superfície de Fratura		Condutividade da Rocha				
												R1 - Qualidade Excelente		S1 - Travadas		H1 - <0,1 H2 - 0,1 - 1,0				
												R2 - Qualidade Boa		S2 - Irregulares		H3 - 1,0 - 10,0 H4 - >10,0				
												R3 - Qualidade Regular		S3 - Lisas ou estradas						
												R4 - Qualidade Pobre								
												R5 - Qualidade Muito Pobre								
												Grau de Alteração da Rocha								
												A1 - Rocha Sã								
												A2 - Rocha Pouco Alterada								
												A3 - Rocha Median. Alterada								
												A4 - Rocha Muito Alterada								
												A5 - Alteração da Rocha								
N= 250.075,749				E= 149.582,897				COTA:		DATA:										
								27,634		05 - 09/08/2011										
								SONDAGEM MISTA - 08 /												
								38'J-3013 - Folha 2/2												
								PERFIL DE SONDAGEM												
																		QD-4.8.2		

FICHA DE SONDAGEM MISTA												
SONDAGEM PERCUSSÃO (SPT)			SONDAGEM ROTATIVA						CONVENÇÕES GRAFICAS	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	Revestimento φ	Perfuração φ
GOLPES			FRATURA									
GOLPES / 30cm			Classe	Característica	Preenchimento	Classe	Carga Efetiva Kg/cm ²	Conduct. Hidráulica K x 10 ⁻⁴ cm / s	Profundidade em metros	Revestimento φ	Perfuração φ	
---	---	---										
---	---	---	2	4	6	8	10	12	0,00	0,20	3 Polegadas	0,00 m
--- 30cm INICIAIS --- 30cm FINAIS GOLPES / 30cm 0 20 40 60 80 100			5	9					0,00	Fragmentos de concreto.		
			6	8					0,20	Solo aluvionar, areia fina silteosa pouco compacta, coloração cinza escuro a preto.		
			5	6					1,00	Solo aluvionar, argila silteosa pouco arenosa média, coloração alaranjado.		
			6	6					2,00	Solo aluvionar, argila silteosa pouco arenosa média, coloração alaranjado.		
			7	9					3,00	Solo aluvionar, silte argiloso, média a rija, coloração laranja esbranquiçado.		
			11	18					4,00	Solo aluvionar, silte argiloso, média a rija, coloração laranja esbranquiçado.		
			12	19					5,00	Solo aluvionar, silte argiloso, média a rija, coloração laranja esbranquiçado.		
			16	22					6,00	Solo aluvionar, silte argiloso, média a rija, coloração laranja esbranquiçado.		
			18	19/5					7,00	Solo aluvionar, silte argiloso, média a rija, coloração laranja esbranquiçado.		
									8,00	Solo aluvionar, silte argiloso, duro, coloração cinza claro amarelado.		
									9,00	Solo aluvionar, silte argiloso, duro, coloração cinza claro amarelado.		
									9,60	Rocha do tipo ortognaise, fanerítico, mesocrático, rocha pouco alterada, mediamente fraturada, fraturas subhorizontal a subvertical, de superfícies irregulares, de preenchimento granular, coloração acinzentado.		
									10,00	Rocha do tipo ortognaise, fanerítico, mesocrático, rocha pouco alterada, mediamente fraturada, fraturas subhorizontal a subvertical, de superfícies irregulares, de preenchimento granular, coloração acinzentado.		
									10,60	Idem.		
									11,00	Idem.		
									11,60	Idem, rocha pouco alterada até 11,96m, depois vem a rocha sã, muito fraturada.		
									12,00	Idem, rocha pouco alterada até 11,96m, depois vem a rocha sã, muito fraturada.		
									12,66	Idem, rocha sã, extremamente fraturada.		
									13,00	Idem, rocha sã, extremamente fraturada.		
									13,60	Idem, rocha sã, extremamente fraturada.		
									14,00	Idem.		
									14,66	Idem.		
									15,00	FINAL DA PERFURAÇÃO		
									16,00			
									17,00			
									18,00			
									19,00			
									20,00			
RQD / 44% REC- 94% RQD / 89% REC- 91% RQD / 84% REC- 96% RQD / 31% REC- 96% RQD / 62% REC- 96%			CLASSE Coerência Grau de Alteração R.Q.D.		GRAU DE FRATURAMENTO Nº de fraturas por metros F1 - <1 Fratura F2 - 2-5 Fraturas F3 - 6-10 Fraturas F4 - 11-20 Fraturas F5 - >20 Fraturas		DIAMETRO SONDAGEM: POSIÇÃO: ESTACA: INCLINAÇÃO: NÍVEL D'AGUA:		Coerência da Rocha C1 - Coerente C2 - Mediamente C3 - Pouco C4 - Incoerente C5 - Solo de Alteração R.Q.D. da Rocha R1 - Qualidade Excelente R2 - Qualidade Boa R3 - Qualidade Regular R4 - Qualidade Pobre R5 - Qualidade Muito Pobre Inclinação da Fratura H - Horizontal SH - Subhorizontal I - Inclínada SV - Subvertical Superfície da Fratura S1 - Travadas S2 - Irregulares S3 - Lisas ou estriadas Preenchimento da Fratura P1 - Pétreo P2 - Granular P3 - Granular e Argiloso P4 - Argiloso Conductividade da Rocha H1 - <0,1 H2 - 0,1 - 1, H3 - 1,0 - 10,0 H4 - >10,			
RECUPERAÇÃO - % EFETIVA Recuperação - % RQD, %			SONDAGEM ROTATIVA COORDENADAS N= 250.057,684 E= 149.702,447		FRATURA COTA: 37,577		DATA: 14 - 21/07/2011		Grau de Alteração da Rocha A1 - Rocha Sã A2 - Rocha Pouco Alterada A3 - Rocha Median. Alterada A4 - Rocha Muito Alterada A5 - Alteração de Rocha SONDAGEM MISTA - 05 / 31C-3005 PERFIL DE SONDAGEM			
									QD- 4.5.1			

ENSAIOS PETROGRÁFICO

DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA	
Lâmina:	7
Amostra:	Testemunho de rocha
Classe da rocha:	Metaígneia
Classificação:	Meta monzogranito
Procedência da amostra:	Arena – São Lourenço da Mata
Data da descrição:	18 de agosto de 2012
Petrográfa:	Mariucha Maria Correia de Lima

Características Mesoscópicas		
<p>Rocha Metaígneia de coloração rósea pálida de textura compacta (moderada coesão), fanerítica (cristais visíveis a olho nu), comportando-se como inequigranular holocristalina (composta totalmente por cristais). A granulação é média a grossa, de alta dureza (característico de rochas ígneas compostas por quartzo e feldspatos-escala de Mohs 6-7). A assembleia mineralógica da rocha é caracterizada pelos seguintes minerais: feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e biotita. A textura (disposição dos elementos) da rocha é dominada por elementos planares com bom paralelismo e uma textura lepto-granoblástica. Evidências de foliação são visíveis tanto a olho desarmado como microscopicamente, onde a biotita e o quartzo definem uma estrutura planar (foliação).</p>		
Características Microscópicas		
Textura	Granítico gnaíssica	
Granulação	Média a grossa	
Composição mineralógica	Principal	Quartzo e feldspatos
	Subordinada	Micas, apatita, piroxênio, epidoto e opacos
	Reativa/Deletérica	Quartzo fino e com suave extinção ondulante
Presença (ou ausência) de minerais e fases deletéricas quanto à reação álcali-agregado.	Presença de quartzo em granulação de ~0,2 mm e extinção ondulante incipiente.	
Estimativa da porcentagem da mineralogia (modo de ocorrência, granulometria e relação com os outros	Quartzo: 25%; ocorre como agregados recristalizados com contornos tendendo a poligonais, com grãos menores que	

minerais).	0,5mm.
	Feldspatos: 35% (Feldspato potássico 15% e plagioclásio 20%); ocorre por vezes como megacristais numa matriz fina de feldspatos e quartzo, geralmente se mostram alterados, principalmente os plagioclásios, exibem textura mimerquítica.
	Micas: 10%; ocorre orientadas em geral definindo uma direção da foliação; os tipos são muscovita e biotita.
	Piroxênio: 7%; ocorre como grãos bastante fraturados, dispersos na matriz da rocha. Em geral são minerais que se alteram facilmente devido a suas condições de formação serem distintas da atual.
	Opacos: 5%
	Outros: 8%
Estimativa da quantidade de quartzo microgranular e deformado (menor que 0,5mm), conforme campos: (menor que 5%, entre 5 e 15% e maior que 15%).	Maior que 15%.
Presença de feldspato em rochas deformadas (textura: mimerquítica, pertítica ou não aplicada).	Feldspato potássico com textura mimerquítica.
Estado microfissural, (ausente, moderada ou forte).	Moderada, apenas microfissuras intragranular.
Estado de alteração da rocha (sã, pouco alterada ou alterada).	Pouco alterada
Natureza (ígneas, sedimentar, metamórfica).	Ígneas metamorfisadas
Classificação petrográfica da rocha.	Meta monzogranito
Deformação da rocha.	Pouco deformada

Reatividade da rocha.	Reativo
Observações.	Porosidade menor que a amostra número 8, característica condizente com o microfissuramento que é apenas intragranular moderado. O fato da resistência à compressão ser menor na amostra 7 que na 8, pode estar relacionado a forma de disposição do corpo de prova com eixo de compressão paralelo a plano de foliação da rocha.

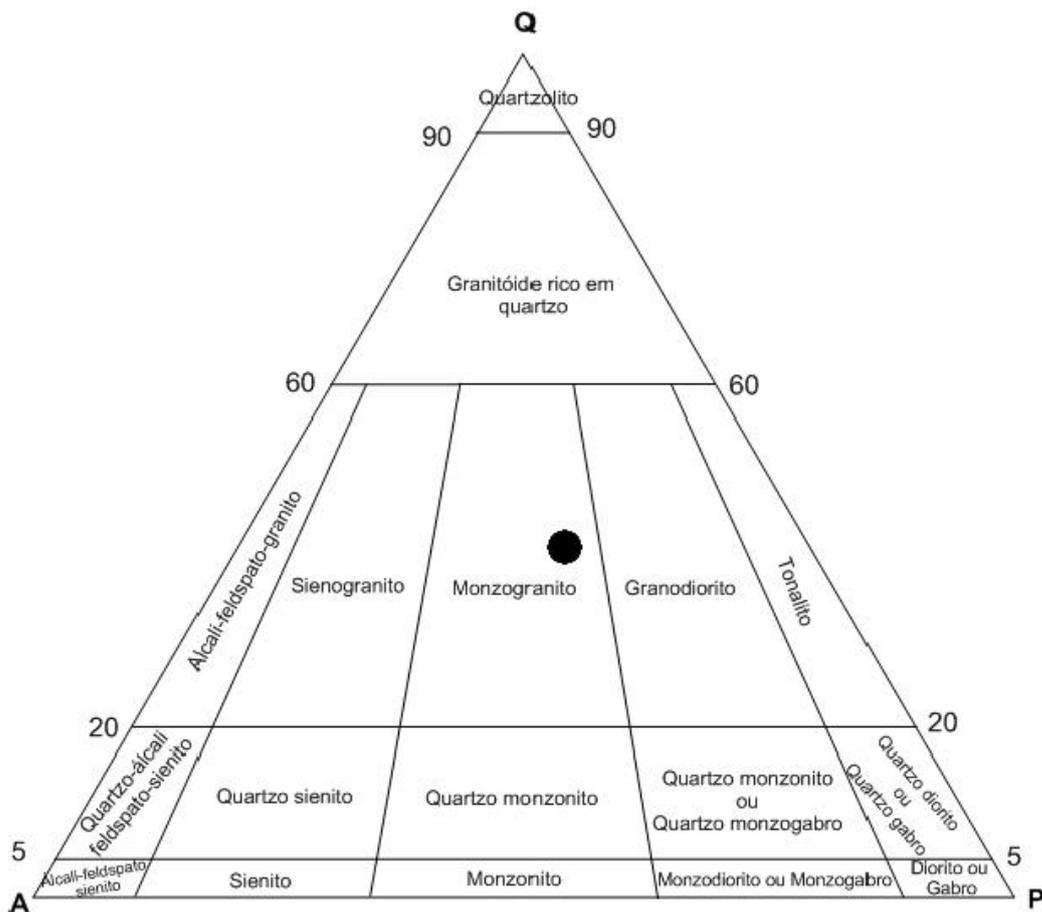
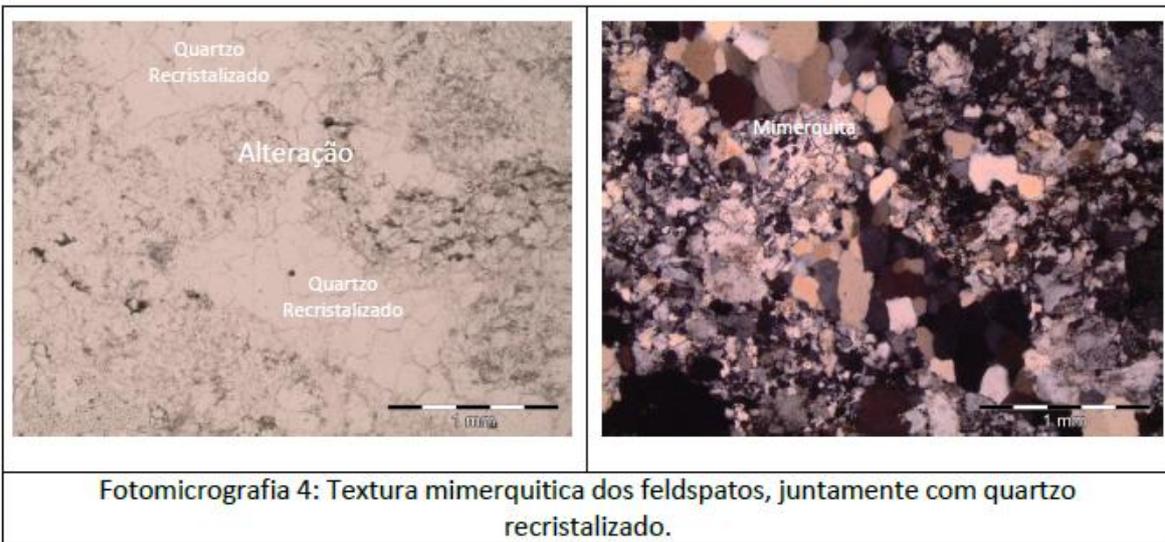


Figura 1 - Diagrama QAP com plotagem* da amostra representado por um círculo azul caracterizando o protólito (rocha inicial) da rocha como um Monzogranito. * porcentagens estimadas

Fotomicrografias (Lado esquerdo: Luz paralela e lado direito: Luz cruzada)	
<p>Fotomicrografia 1: Rocha fotografada ao microscópio óptico de luz transmitida, onde observam-se quartzo recristalizado e alteração do feldspato – plagioclásio.</p>	
<p>Fotomicrografia 2: Detalhe de agregado de grãos de quartzo recristalizados com contornos tendendo a retilíneos e alteração forte de alguns grãos de feldspatos.</p>	
<p>Fotomicrografia 3: Relíquias de piroxênio associado com quartzo recristalizado.</p>	



Fotomicrografia 4: Textura mimerquitica dos feldspatos, juntamente com quartzo recristalizado.

DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA	
Lâmina:	8
Amostra:	Testemunho de rocha
Classe da rocha:	Ígnea
Classificação:	Granodiorito
Procedência da amostra:	Arena – São Lourenço da Mata
Data da descrição:	18 de agosto de 2012
Petrográfa:	Mariucha Maria Correia de Lima

Características Mesoscópicas		
<p>Rocha ígnea de coloração vermelho amarronzado de textura medianamente compacta (moderada coesão), fanerítica comportando-se a olho desarmado como inequigranular holocristalina (composta totalmente por cristais). A granulação é média a grossa, de alta dureza (característico de rochas ígneas compostas por quartzo e feldspatos-escala de Mohs 6-7). A assembleia mineralógica da rocha é caracterizada pelos seguintes minerais: feldspatos e quartzo. O fabric (disposição dos elementos) da rocha é aleatório, não havendo direcionamento preferencial cristalográfico dos grãos minerais. Evidências de foliação não foram visíveis tanto a olho desarmado como microscopicamente. Alteração é forte e caracteriza a cor da rocha, sendo possivelmente óxido de ferro o responsável.</p>		
Características Microscópicas		
Textura	Granítica	
Granulação	Média a grossa	
Composição mineralógica	Principal	Quartzo e feldspatos
	Subordinada	Micas, piroxênio, apatita, allanita, zircão e opacos
	Reativa/Deletérica	Quartzo com suave extinção ondulante
Presença (ou ausência) de minerais e fases deletéricas quanto à reação álcali-agregado.	Presença de quartzo com granulação de ~0,4 mm e extinção ondulante suave e de feldspatos altamente alterados.	

Estimativa da porcentagem da mineralogia (modo de ocorrência, granulometria e relação com os outros minerais).	Quartzo: 20%; ocorre como grãos xenomórficos em meio aos grãos de feldspatos, com grãos menores que 1mm (aprox.).
	Feldspatos: 45% (Feldspato potássico 15% e plagioclásio 30%); ocorre por vezes como megacristais numa matriz fina de feldspatos e quartzo, geralmente se mostram alterados, principalmente os plagioclásios, exibem textura mimerquitica.
	Micas: 5%; ocorre orientadas em geral definindo uma direção de foliação; os tipos são muscovita e biotita.
	Piroxênio: 5%; ocorre como grãos, dipersos na matriz da rocha. Em geral são minerais que se alteram facilmente devido a suas condições de formação serem distintas da atual.
	Opacos: 10% Outros: 15%
Estimativa da quantidade de quartzo microgranular e deformado (menor que 0,5mm), conforme campos: (menor que 5%, entre 5 e 15% e maior que 15%).	Entre 5 e 15%.
Presença de feldspato em rochas deformadas (textura: mimerquitica, pertítica ou não aplicada).	Feldspato com textura pertítica e mimerquitica.
Estado microfissural, (ausente, moderada ou forte).	Forte, com microfissuras intragranular e intergranular.
Estado de alteração da rocha (sã, pouco alterada ou alterada).	Alterada
Natureza (ígneas, sedimentar, metamórfica).	Ígneas
Classificação petrográfica da rocha.	Granodiorito com piroxênio

Deformação da rocha.	Pouco deformada
Reatividade da rocha.	Reativo
Observações.	Porosidade maior que a amostra número 7, o que é característico da grande quantidade de microfissuras presentes entre os grãos, sendo intragranular e intergranular.

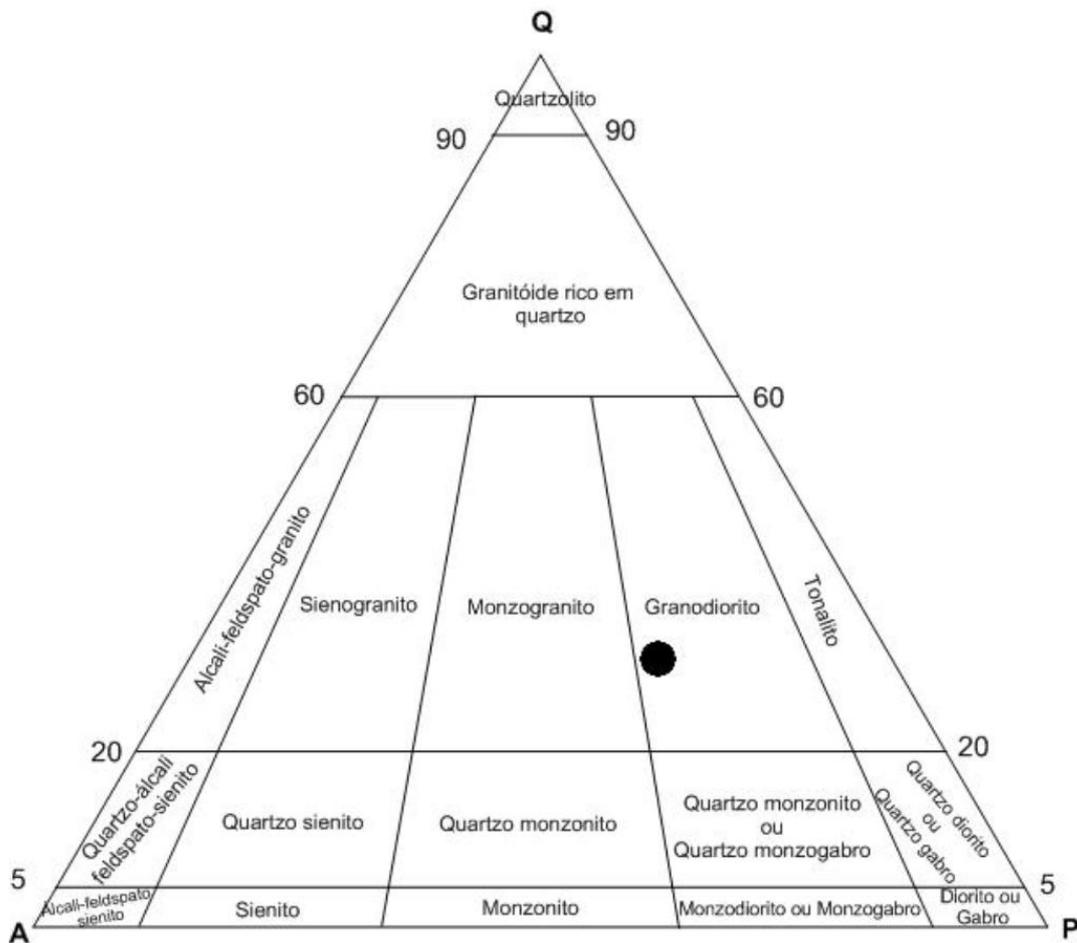
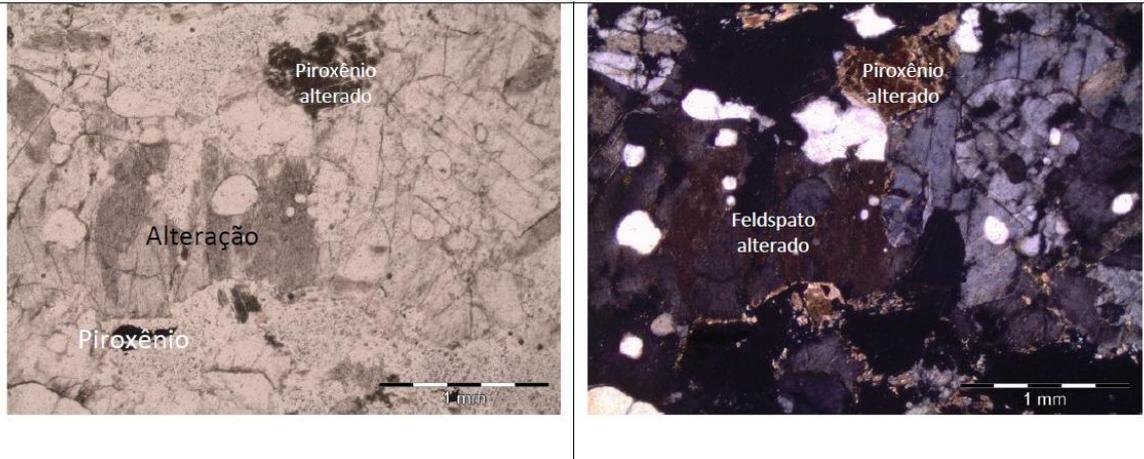


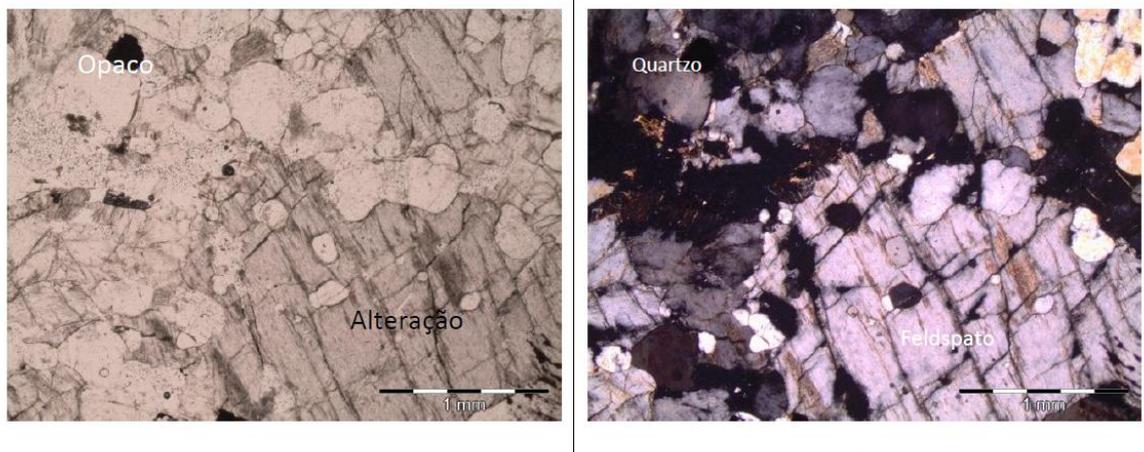
Figura 1 - Diagrama QAP com plotagem* da amostra representado por um círculo azul caracterizando a rocha como um Granodiorito. * porcentagens estimadas

Fotomicrografias

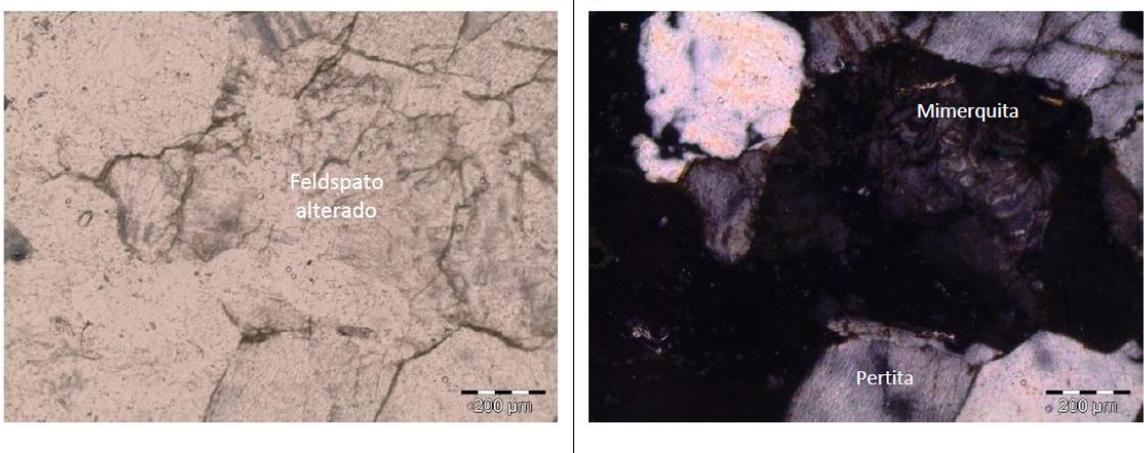
(Lado esquerdo: Luz paralela e lado direito: Luz cruzada)



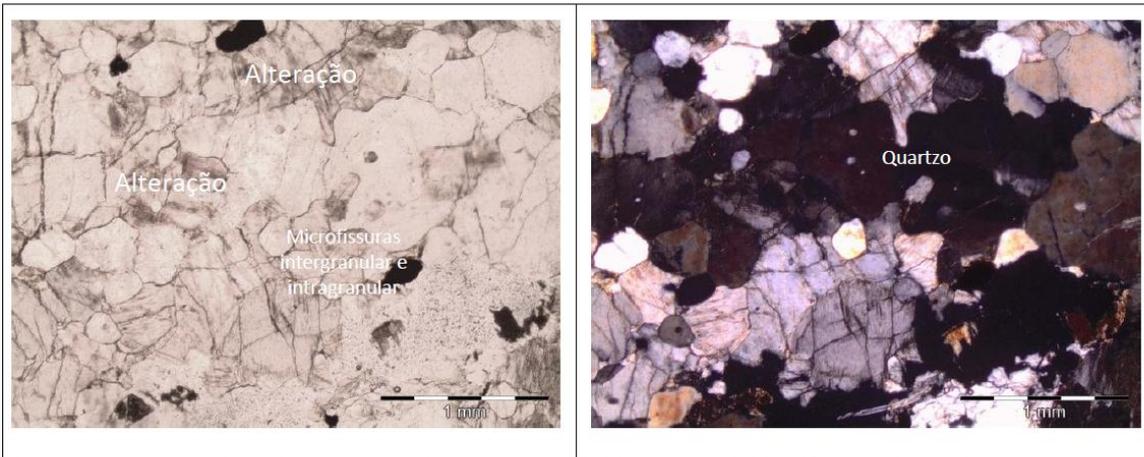
Fotomicrografia 1: Rocha fotografada ao microscópio óptico de luz transmitida, onde observam-se feldspato bastante alterado com inclusões de quartzo e piroxênio alterado.



Fotomicrografia 2: Detalhe da alteração do feldspato, quartzo com extinção ondulante suave. Observa-se ainda uma grande quantidade de microfissuras.



Fotomicrografia 3: Detalhe de texturas de feldspato pertítica e mimerquítica (inclusões de quartzo vermiforme), além de alteração.



Fotomicrografia 4: Visão geral da microfissuração da rocha. Microfissuras do tipo intragranular a intergranular.

DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA	
Lâmina:	13
Amostra:	Testemunho de rocha
Classe da rocha:	Metaígneia
Classificação:	Monzogranito
Procedência da amostra:	Arena – São Lourenço da mata
Data da descrição:	18 de agosto de 2012
Petrográfa:	Mariucha Maria Correia de Lima

Características Mesoscópicas

Rocha ígnea de coloração esbranquiçada de textura medianamente compacta (moderada coesão), fanerítica comportando-se a olho desarmado como inequigranular holocristalina (composta totalmente por cristais). A granulação é média, de alta dureza (característico de rochas ígneas compostas por quartzo e feldspatos-escala de Mohs 6-7). A assembleia mineralógica da rocha é caracterizada pelos seguintes minerais: feldspatos, micas e quartzo. Se observa indícios de foliação, desenvolvidos por alinhamento de micas, que exibem uma cor esverdeada localmente a amostra, o que pode estar associado ao processo de alteração da biotita (cloritização).

Características Microscópicas

Textura	Granítico gnaíssica	
Granulação	Média a fina	
Composição mineralógica	Principal	Quartzo e feldspatos
	Subordinada	Micas, epidoto, apatita, titanita e opacos
	Reativa/Deletérica	Quartzo com extinção ondulante moderada a forte
Presença (ou ausência) de minerais e fases deletéricas quanto à reação álcali-agregado.	Presença de quartzo com granulação de ~0,4 mm e extinção ondulante moderada.	
Estimativa da porcentagem da mineralogia (modo de ocorrência, granulometria e relação com os outros	Quartzo: 30%; ocorre como grãos (>que 0,5mm) com extinção do tipo ondulante e como agregados alongados (< 0,5mm)	

minerais).	compostos por cristais recristalizados com textura poligonal e com extinção em geral reta.
	Feldspatos: 40% (Feldspato potássico 20% e plagioclásio 20%); ocorre por vezes como megacristais numa matriz fina de feldspatos e quartzo, geralmente se mostram pouco alterados, principalmente os feldspatos potássico, e em alguns locais exibem textura mimerquitica.
	Micas: 5%; ocorre orientadas em geral definindo uma direção de foliação; os tipos são muscovita e biotita, com predominância da primeira, já que a biotita em geral se mostra alterada para clorita pelo processo de cloritização.
	Titanita: 5%; ocorre como grãos subeudrais, dispersos na matriz da rocha. Em geral parecem estar um pouco oxidadas.
	Opacos: 10%
	Outros: 10%
Estimativa da quantidade de quartzo microgranular e deformado (menor que 0,5mm), conforme campos: (menor que 5%, entre 5 e 15% e maior que 15%).	Maior que 15%.
Presença de feldspato em rochas deformadas (textura: mimerquitica, pertítica ou não aplicada).	Feldspato com textura mimerquitica.
Estado microfissural, (ausente, moderada ou forte).	Forte a moderado, com microfissuras intragranular e transgranular.
Estado de alteração da rocha (sã, pouco alterada ou alterada).	Pouco alterada
Natureza (ígneas, sedimentar,	Metaígneas

metamórfica).	
Classificação petrográfica da rocha.	Monzogranito
Deformação da rocha.	Deformada
Reatividade da rocha.	Reativo
Observações.	Ver descrição da lâmina 14.

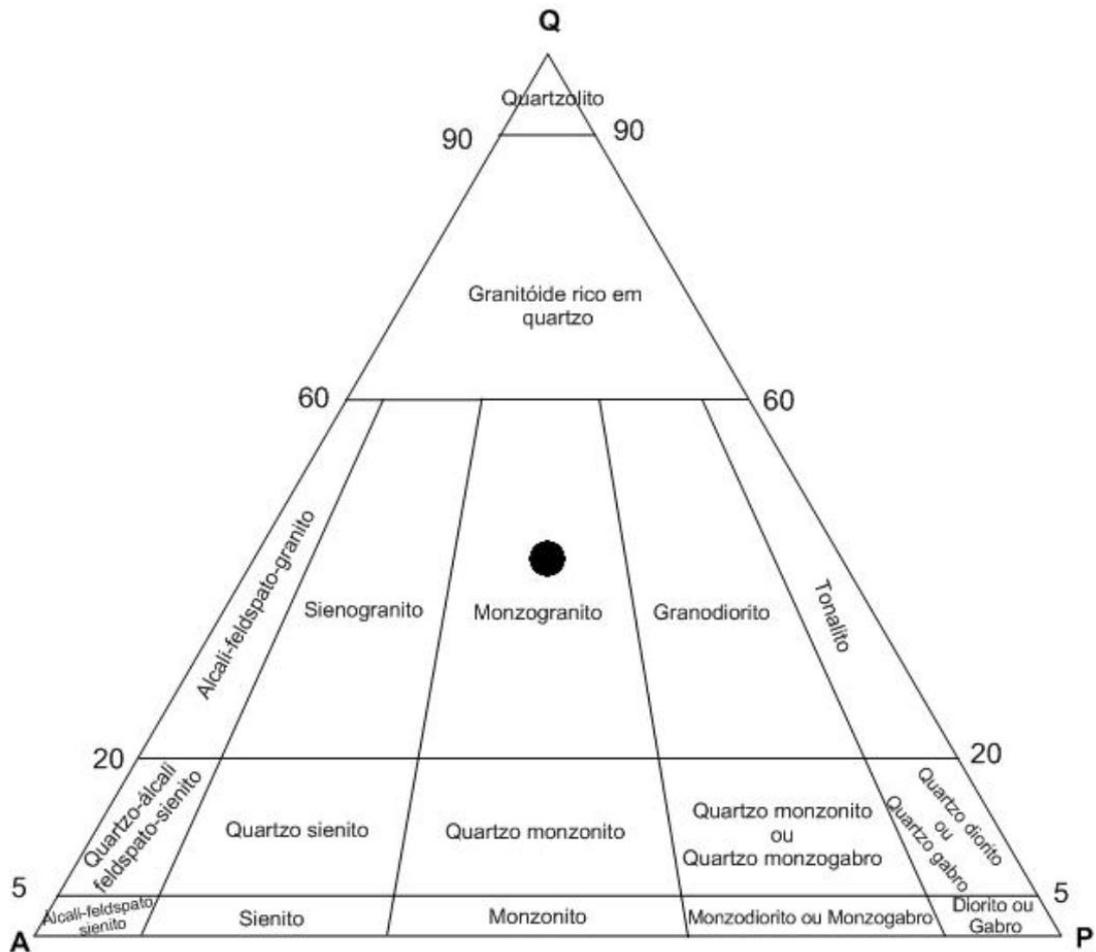
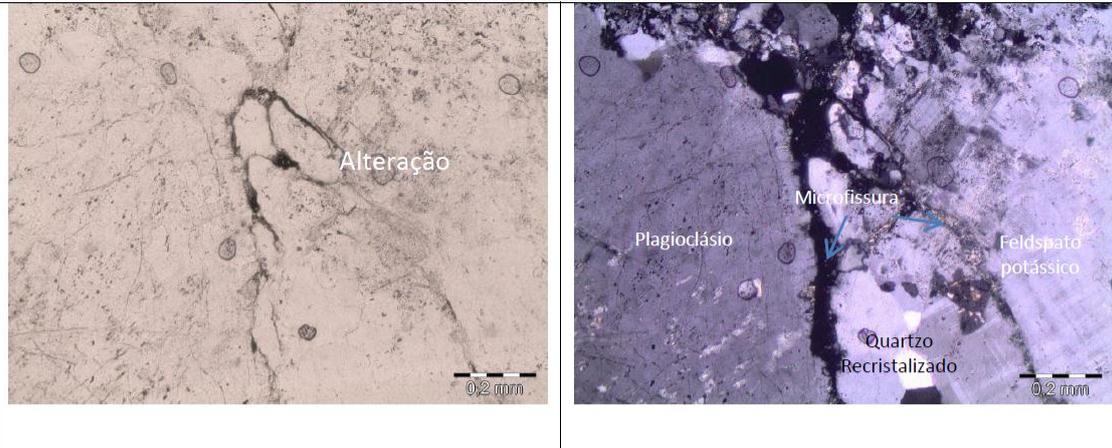


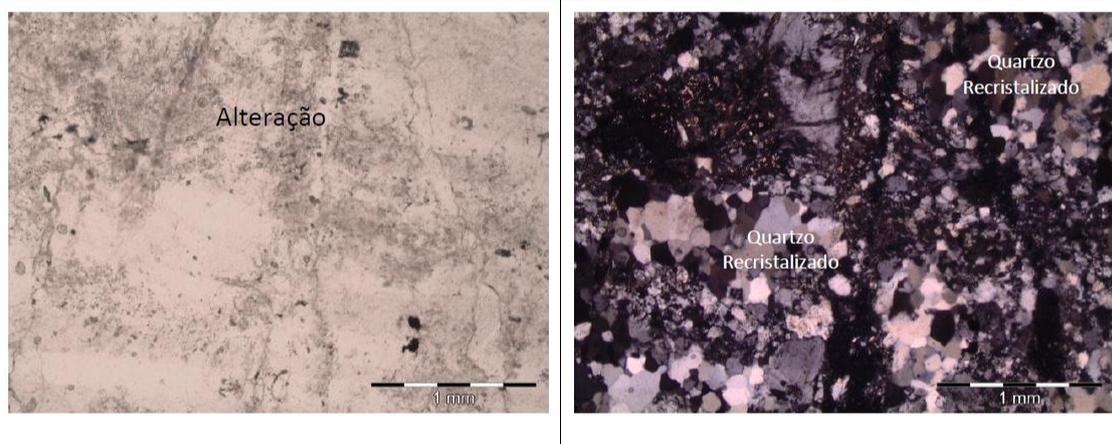
Figura 1 - Diagrama QAP com plote* da amostra representado por um círculo azul caracterizando o protólito (rocha inicial) da rocha como um Monzogranito. * porcentagens estimadas

Fotomicrografias

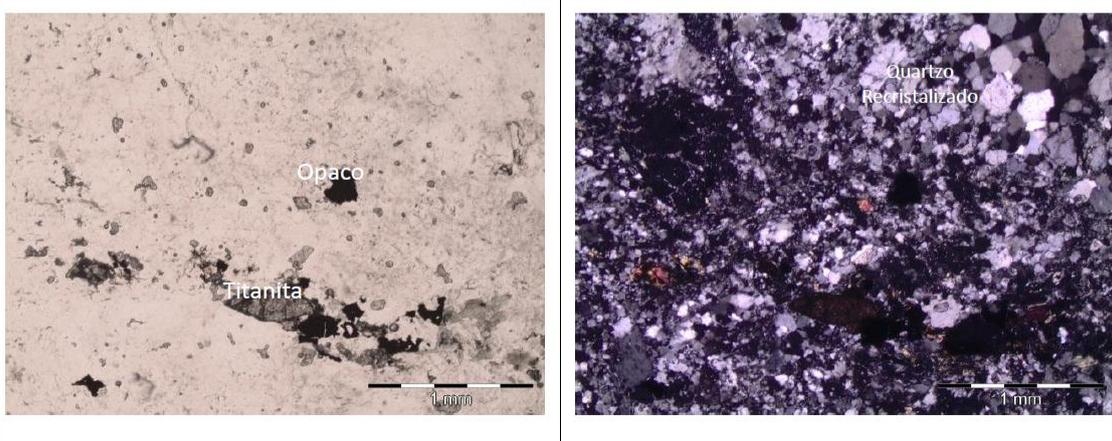
(Lado esquerdo: Luz paralela e lado direito: Luz cruzada)



Fotomicrografia 1: Microfissura preenchida cortando o grão de feldspato potássico e microfissuras entre os grãos. Observa-se ainda que os grãos de feldspatos estão pouco alterados e que a recristalização do quartzo foi intensa, deixando-o com contornos poligonais.



Fotomicrografia 2: Detalhe de agregado de grãos de quartzo recristalizados com contornos tendendo a retilíneos e alteração forte de alguns grãos de feldspatos.



Fotomicrografia 3: Mineral acessório titanita, com presença de vários minerais opacos, produzidos possivelmente por oxidação da titanita. Observa-se uma granulação fina em lâmina.



Fotomicrografia 4: Agregado de grãos de quartzo recristalizados e quartzo deformado com extinção ondulante, além de agregados de grãos de feldspatos alterados.

DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA	
Lâmina:	14
Amostra:	Testemunho de rocha
Classe da rocha:	Metaígneia
Classificação:	Monzogranito
Procedência da amostra:	Arena – São Lourenço da mata
Data da descrição:	18 de agosto de 2012
Petrográfa:	Mariucha Maria Correia de Lima

Características Mesoscópicas

Rocha ígnea de coloração esbranquiçada de textura medianamente compacta (moderada coesão), fanerítica comportando-se a olho desarmado como inequigranular holocristalina (composta totalmente por cristais). A granulação é média, de alta dureza (característico de rochas ígneas compostas por quartzo e feldspatos-escala de Mohs 6-7). A assembleia mineralógica da rocha é caracterizada pelos seguintes minerais: feldspatos, micas e quartzo. Se observa indícios de foliação, desenvolvidos por alinhamento de micas, que exibem uma cor esverdeada localmente a amostra, o que pode estar associado ao processo de alteração da biotita (cloritização).

Características Microscópicas

Textura	Granítico gnaíssica	
Granulação	Média a fina	
Composição mineralógica	Principal	Quartzo e feldspatos
	Subordinada	Micas, epidoto, apatita, titanita e opacos
	Reativa/Deletérica	Quartzo com extinção ondulante moderada a forte
Presença (ou ausência) de minerais e fases deletéricas quanto à reação álcali-agregado.	Presença de quartzo com granulação de ~0,4 mm e extinção ondulante moderada.	
Estimativa da porcentagem da mineralogia (modo de ocorrência, granulometria e relação com os outros)	Quartzo: 30%; ocorre como grãos (>que 0,5mm) com extinção do tipo ondulante e como agregados de cristais (< 0,5mm)	

minerais).	recristalizados com textura poligonal e com extinção em geral reta.
	Feldspatos: 40% (Feldspato potássico 20% e plagioclásio 20%); ocorre por vezes como megacristais numa matriz fina de feldspatos e quartzo, geralmente se mostram pouco alterados, principalmente os feldspatos potássico, e em locais exibem textura mimerquitica.
	Micas: 5%; ocorre orientadas em geral definindo uma direção de foliação; os tipos são muscovita e biotita, com predominância da primeira, já que a biotita em geral se mostra alterada para clorita pelo processo de cloritização.
	Titanita: 5%; ocorre como grãos subeudrais, dispersos na matriz da rocha. Em geral parecem estar um pouco oxidadas.
	Opacos: 10%
	Outros: 10%
Estimativa da quantidade de quartzo microgranular e deformado (menor que 0,5mm), conforme campos: (menor que 5%, entre 5 e 15% e maior que 15%).	Maior que 15%.
Presença de feldspato em rochas deformadas (textura: mimerquitica, pertítica ou não aplicada).	Feldspato com textura mimerquitica.
Estado microfissural, (ausente, moderada ou forte).	Forte a moderado, com microfissuras intragranular e transgranular.
Estado de alteração da rocha (sã, pouco alterada ou alterada).	Pouco alterada
Natureza (ígnea, sedimentar, metamórfica).	Metaígnea
Classificação petrográfica da rocha.	Monzogranito

Deformação da rocha.	Deformada
Reatividade da rocha.	Reativo
Observações.	Se trata da mesma litologia da lâmina 13. A amostra 14 mostra uma porosidade maior, pois se encontra mais microfissurada que amostra 13, apesar de serem a mesma litologia, mostram graus de microfissuramento diferentes, além de que a amostra 14 mostra uma alteração maior o que pode corroborar para menor resistência a compressão.

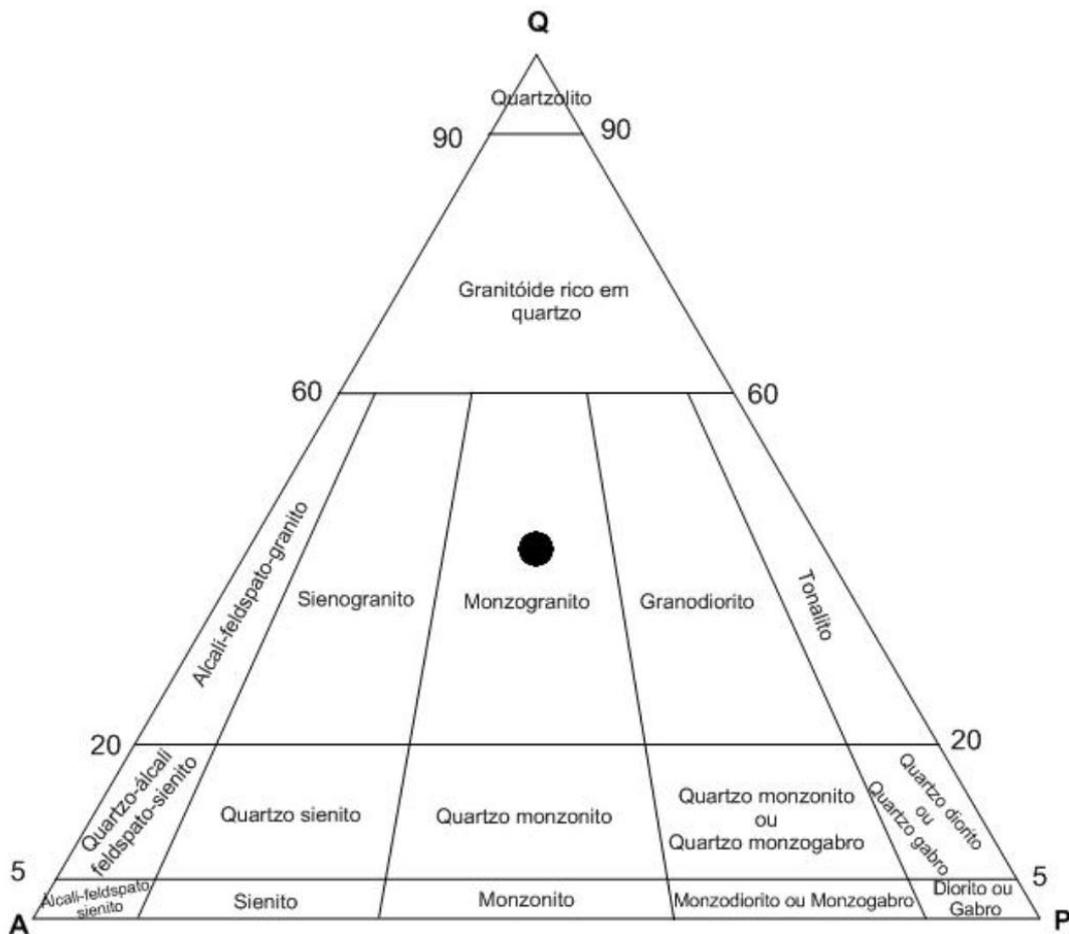
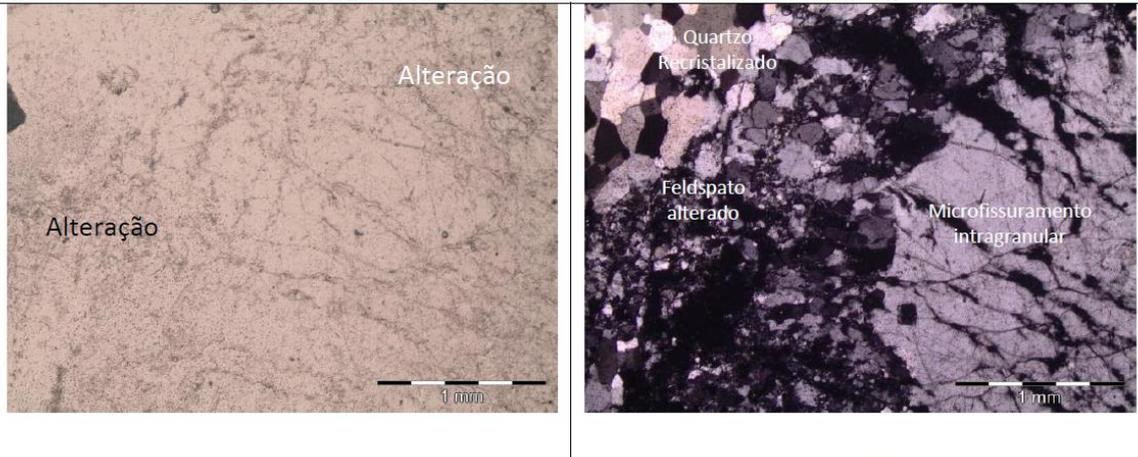


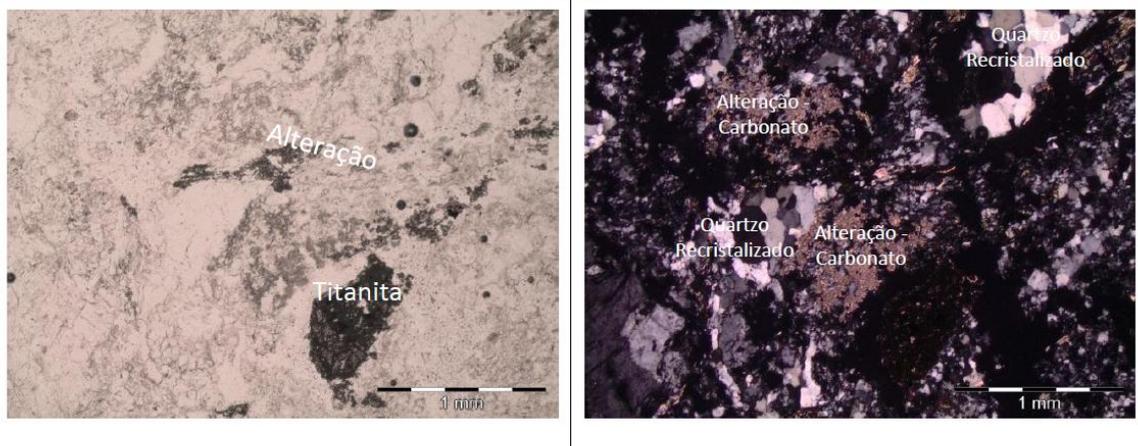
Figura 1 - Figura 2 - Diagrama QAP com plotagem* da amostra representado por um círculo azul caracterizando o protólito (rocha inicial) da rocha como um Monzogranito. * porcentagens estimadas

Fotomicrografias

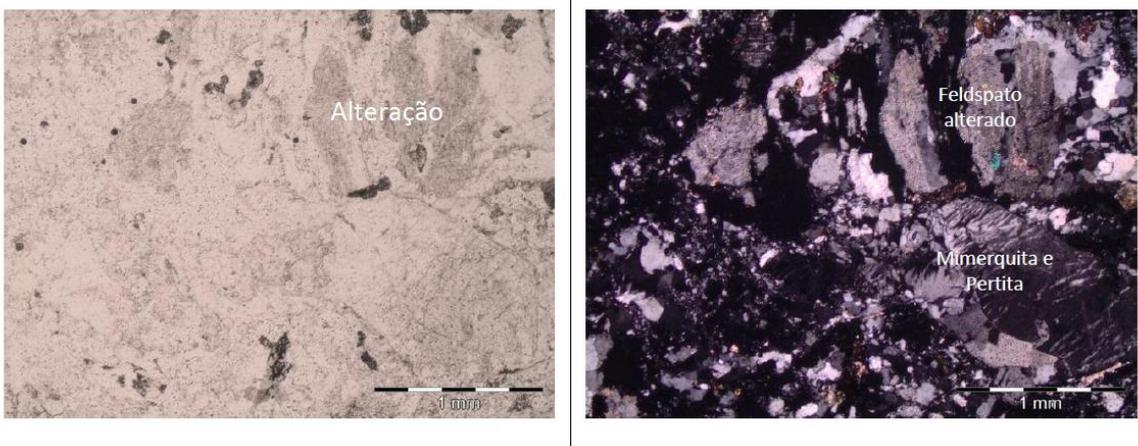
(Lado esquerdo: Luz paralela e lado direito: Luz cruzada)



Fotomicrografia 1: Microfissuramento intragranular avançado de grão de feldspato.



Fotomicrografia 2: Detalhe de alteração de grãos de plagioclásio com produção de carbonato, além de quartzo recristalizado e titanita.



Fotomicrografia 3: Textura mimerquítica e perthítica em feldspato.

DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA	
Lâmina:	15
Amostra:	Testemunho de rocha
Classe da rocha:	Metaígneia
Classificação:	Meta monzogranito
Procedência da amostra:	Arena – São Lourenço da Mata
Data da descrição:	12 de setembro de 2012
Petrográfa:	Mariucha Maria Correia de Lima

Características Mesoscópicas		
<p>Rocha Metaígneia de coloração marrom avermelhada de textura compacta (moderada coesão), fanerítica (cristais visíveis a olho nu), comportando-se como inequigranular holocristalina (composta totalmente por cristais). A granulação é média, de alta dureza (característico de rochas ígneas compostas por quartzo e feldspatos-escala de Mohs 6-7). A assembleia mineralógica da rocha é caracterizada pelos seguintes minerais: feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, mica e piroxênio. O tom avermelhado da amostra possivelmente está relacionado com alteração por óxido de Fe. Evidências de foliação são visíveis tanto a olho desarmado como microscopicamente, onde os minerais máficos definem uma foliação.</p>		
Características Microscópicas		
Textura	Granítico	
Granulação	Média	
Composição mineralógica	Principal	Quartzo e feldspatos
	Subordinada	Piroxênio, apatita, micas, zircão e opacos
	Reativa/Deletérica	Quartzo fino e deformado (com suave extinção ondulante).
Presença (ou ausência) de minerais e fases deletéricas quanto à reação álcali-agregado.	Presença de quartzo em granulação de <0,5 mm e suave extinção ondulante.	
Estimativa da porcentagem da mineralogia (modo de ocorrência, granulometria e relação com os outros minerais).	Quartzo: 20%; ocorre como grãos xenomórficos, ocupando espaços intersticiais, alguns grãos exibem extinção ondulante pouco pronunciada.	

	Feldspatos: 45% (Feldspato potássico 25% e plagioclásio 20%); ocorrem como grãos subedrais a anedrais, alterados. Com textura pertítica e mimerquitica, quando há o contato do feldspato potássico com o plagioclásio.
	Micas (biotita): 5-10%; ocorrem em finas palhetas orientadas em geral definindo uma direção da foliação.
	Piroxênio: 10%; ocorre como grãos bastante fraturados e com aspecto turvo em lâmina. Em geral são minerais que se alteram facilmente devido a suas condições de formação serem distintas da atual.
	Opacos: 3-5%
	Outros: 10%
Estimativa da quantidade de quartzo microgranular e deformado (menor que 0,5mm), conforme campos: (menor que 5%, entre 5 e 15% e maior que 15%).	Entre 5 e 15%.
Presença de feldspato em rochas deformadas (textura: mimerquitica, pertítica ou não aplicada).	Feldspato potássico com textura pertítica e mimerquitica nos contatos com o plagioclásio.
Estado microfissural, (ausente, moderada ou forte).	Moderada a forte, com microfissuras intragranulares a transgranulares.
Estado de alteração da rocha (sã, pouco alterada ou alterada).	Pouco alterada
Natureza (ígnea, sedimentar, metamórfica).	Metaígnea
Classificação petrográfica da rocha.	Meta monzogranito
Deformação da rocha.	Pouco deformada
Reatividade da rocha.	Reativo
Observações.	Observar na tabela de ensaio que a porosidade da rocha é concordante com

os dados de microfissuramento, onde a lâmina 15 mostra um grau de microfissuramento maior que a 16, o que também influencia no ensaio de compressibilidade, já que a resistência diminui com o grau de faturamento da rocha. Ver absorção também, diretamente proporcional a porosidade.

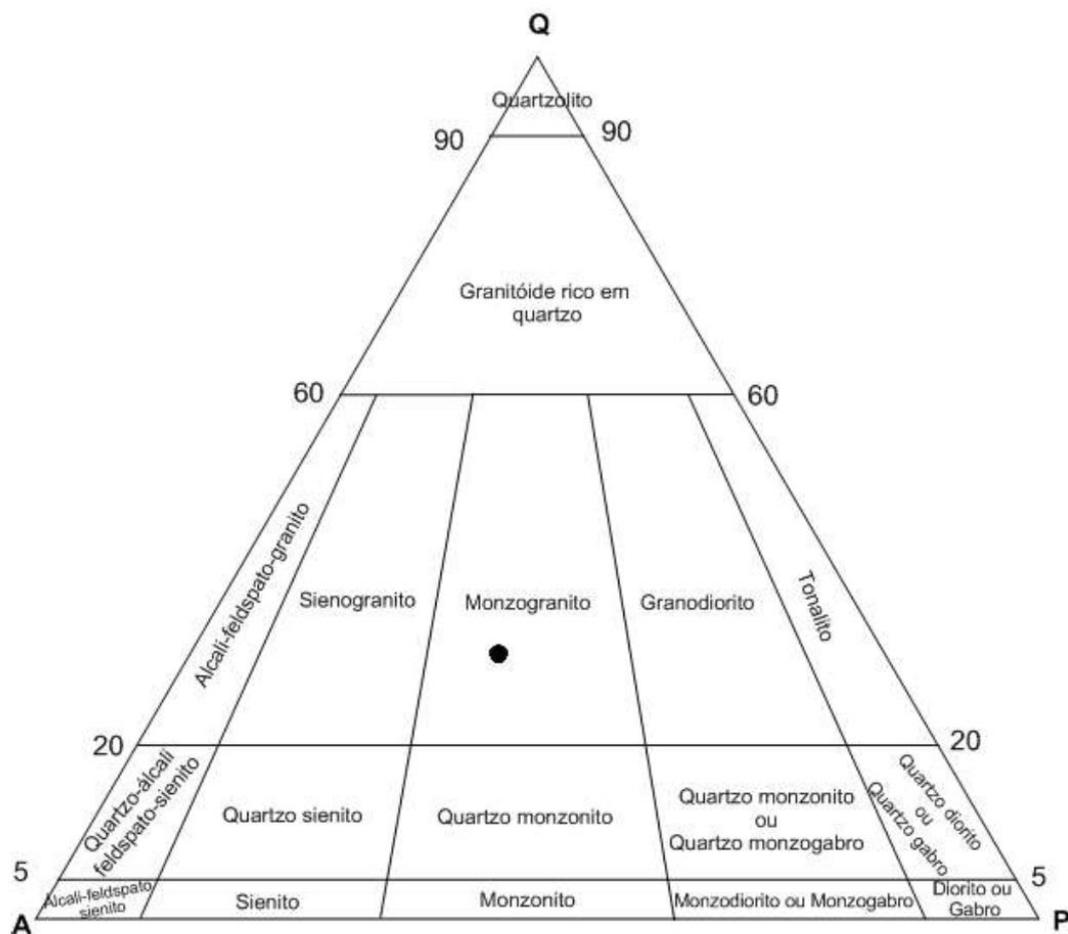
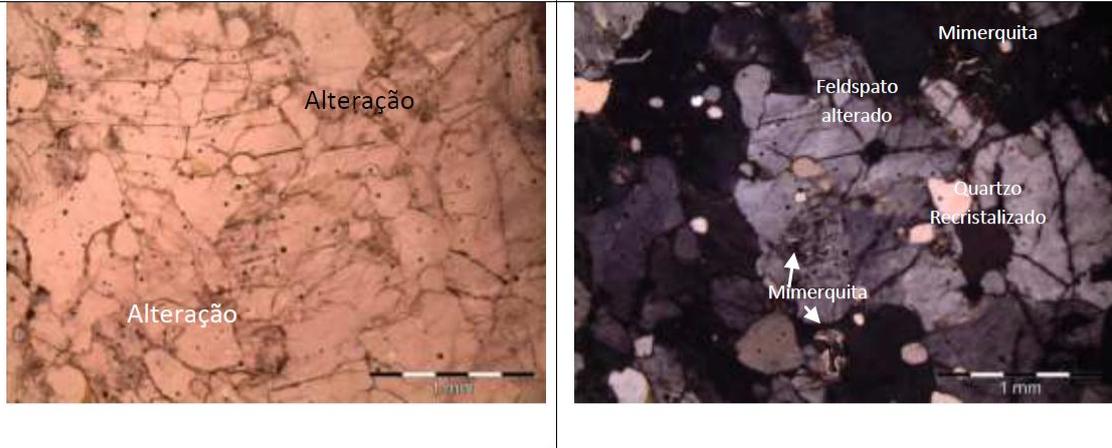


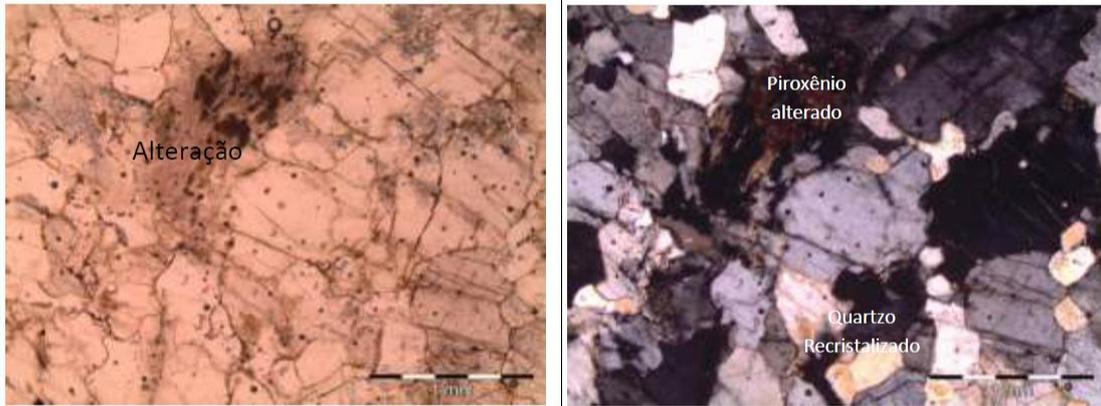
Figura 1 - Diagrama QAP com plote* da amostra representado por um círculo azul caracterizando o protólito (rocha inicial) da rocha como um Monzogranito. * porcentagens estimadas

Fotomicrografias

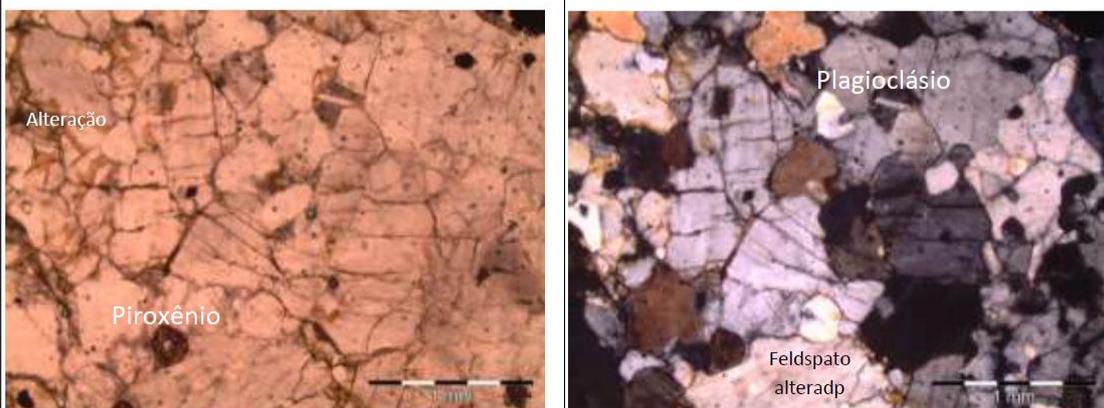
(Lado esquerdo: Luz paralela e lado direito: Luz cruzada)



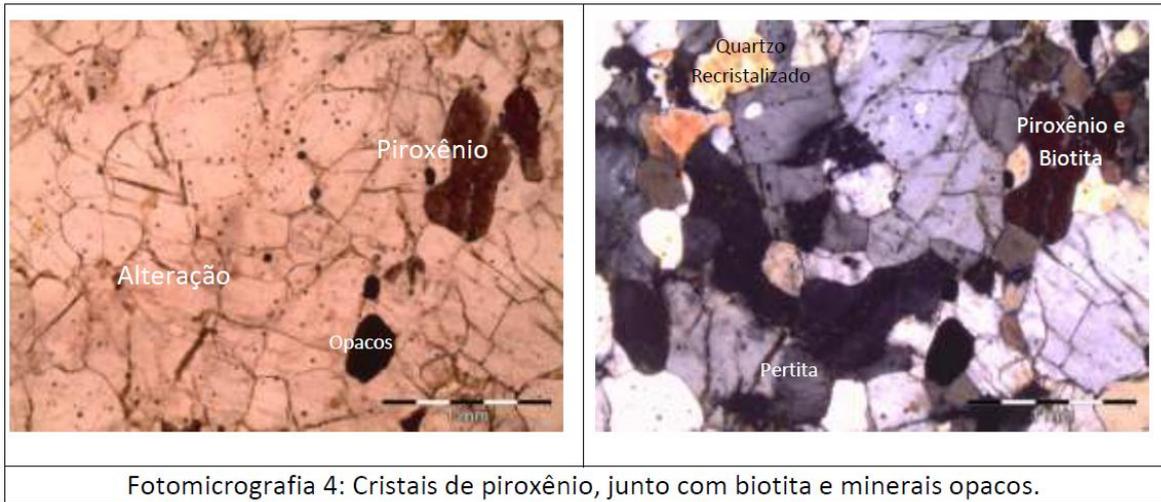
Fotomicrografia 1: Rocha fotografada ao microscópio óptico de luz transmitida, onde observam-se quartzo recristalizado e alteração do feldspato – plagioclásio e feldspato potássico. Observa-se também a textura mimerquita, nos contatos entre os feldspatos.



Fotomicrografia 2: Relíquias de piroxênio alterado associado com quartzo recristalizado, com produção de alguns minerais opacos.



Fotomicrografia 3: Detalhe de agregado de grãos de quartzo, junto com plagioclásio e feldspato potássico, alguns grãos de feldspatos mostram forte alteração. Observar o conjunto de grãos bastante microfissurados.



Fotomicrografia 4: Cristais de piroxênio, junto com biotita e minerais opacos.

DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA	
Lâmina:	16
Amostra:	Testemunho de rocha
Classe da rocha:	Metaígneia
Classificação:	Meta Monzogranito
Procedência da amostra:	Arena – São Lourenço da Mata
Data da descrição:	12 de setembro de 2012
Petrográfa:	Mariucha Maria Correia de Lima

Características Mesoscópicas		
<p>Rocha Metaígneia de coloração cinza escura de textura compacta (alta coesão), fanerítica (cristais visíveis a olho nu), comportando-se como inequigranular holocristalina. A granulação é média, de alta dureza (característico de rochas ígneas compostas por quartzo e feldspatos-escala de Mohs 6-7). A assembleia mineralógica da rocha é caracterizada pelos seguintes minerais: feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, biotita e anfibólio. A textura da rocha é dominada por elementos planares com bom paralelismo e uma textura nematoblástica. Evidências de foliação são visíveis tanto a olho desarmado como microscopicamente, onde o anfibólio, junto com a biotita, definem os planos de foliação.</p>		
Características Microscópicas		
Textura	Foliada	
Granulação	Média	
Composição mineralógica	Principal	Quartzo e feldspatos
	Subordinada	Anfibólio, biotita, apatita, piroxênio, zircão e opacos
	Reativa/Deletérica	Quartzo deformado com extinção ondulante
Presença (ou ausência) de minerais e fases deletéricas quanto à reação álcali-agregado.	Presença de quartzo em granulação de <1 mm e extinção ondulante.	
Estimativa da porcentagem da mineralogia (modo de ocorrência, granulometria e relação com os outros minerais).	Quartzo: 25%; Ocorre como cristais essencialmente xenomórficos, o que possibilita considerarmos que ocorreu em estágio tardio de cristalização do magma.	

	<p>Extinção geralmente do tipo ondulante, porém extinção reta também ocorre.</p> <p>Feldspatos: 40% (Feldspato potássico 20% e plagioclásio 20%); Ocorre como cristais subedrais a anedrais, com geminação do tipo polissintética (plagioclásio) e albita x periclina (feldspato potássico). Alguns cristais se mostram mais alterados. Texturas do tipo pertita e mimerquita (contato de feldspato potássico com plagioclásio) estão presentes em grande quantidade. Ocorrem microfissuras intragranulares.</p> <p>Micas (biotita): 5%; ocorre orientadas em geral definindo uma direção da foliação, juntamente com os cristais de anfibólio.</p> <p>Anfibólio: 10%; ocorre como grãos bastante fraturados, por vezes euedrais com clivagem padrão 56° - 124°, alinhados segundo uma direção, definindo então um plano de foliação. Em geral são minerais que se alteram facilmente devido a suas condições de formação ser distintas da atual.</p> <p>Opacos: 5%</p> <p>Outros: 15%</p>
Estimativa da quantidade de quartzo microgranular e deformado (menor que 0,5mm), conforme campos: (menor que 5%, entre 5 e 15% e maior que 15%).	Maior que 15% (Quartzo deformado).
Presença de feldspato em rochas deformadas (textura: mimerquítica, pertítica ou não aplicada).	Feldspato potássico com textura mimerquítica e pertítica.
Estado microfissural, (ausente, moderada ou forte).	Moderada nos feldspatos (intragranular) e ausentes no quartzo. Em geral pode-se

	dizer quase que ausente.
Estado de alteração da rocha (sã, pouco alterada ou alterada).	Parcialmente sã
Natureza (ígneia, sedimentar, metamórfica).	Metaígneia
Classificação petrográfica da rocha.	Meta monzogranito
Deformação da rocha.	Deformada
Reatividade da rocha.	Reativo
Observações.	Porosidade de valor baixo, contrastante com a amostra 15, mesma interpretação: baixo faturamento – baixa porosidade, e maior resistência à compressão. Rocha menos alterada, em relação à de nº15.

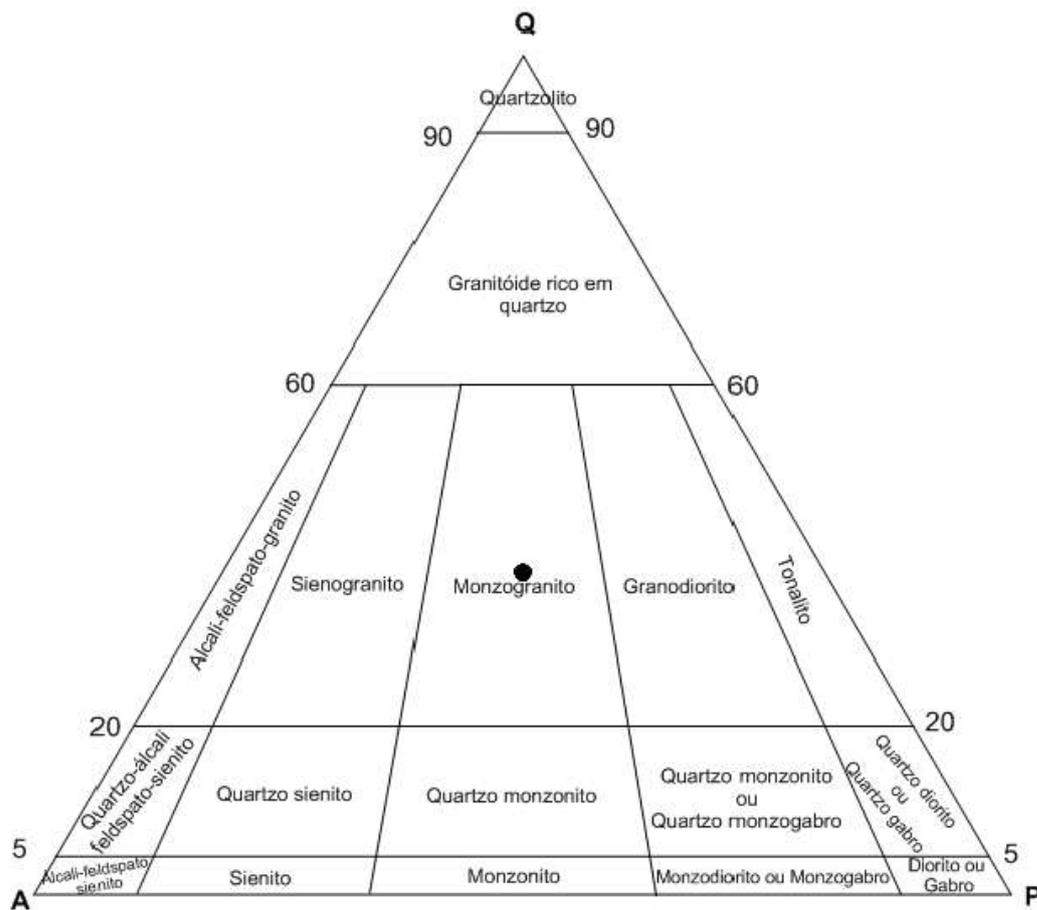
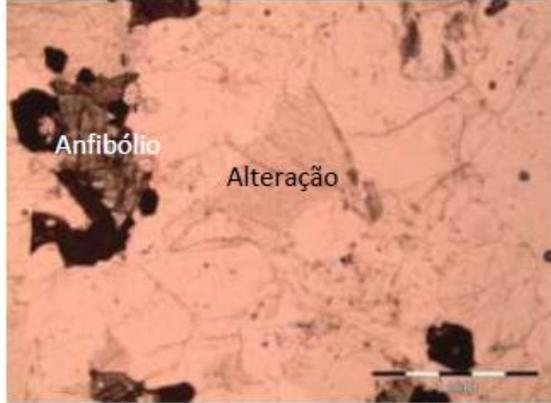
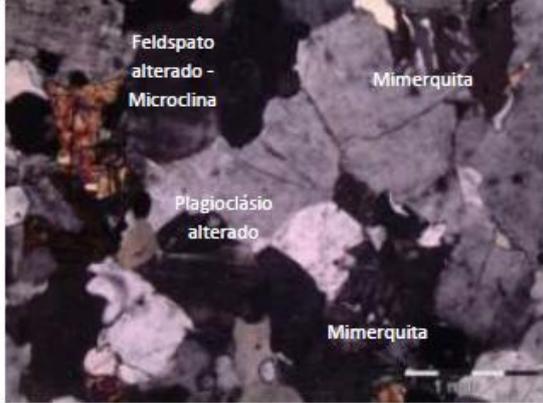
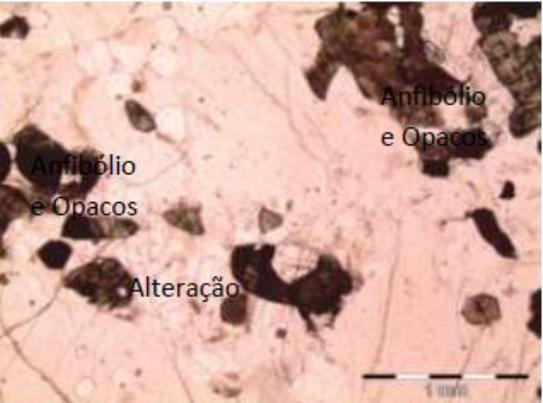
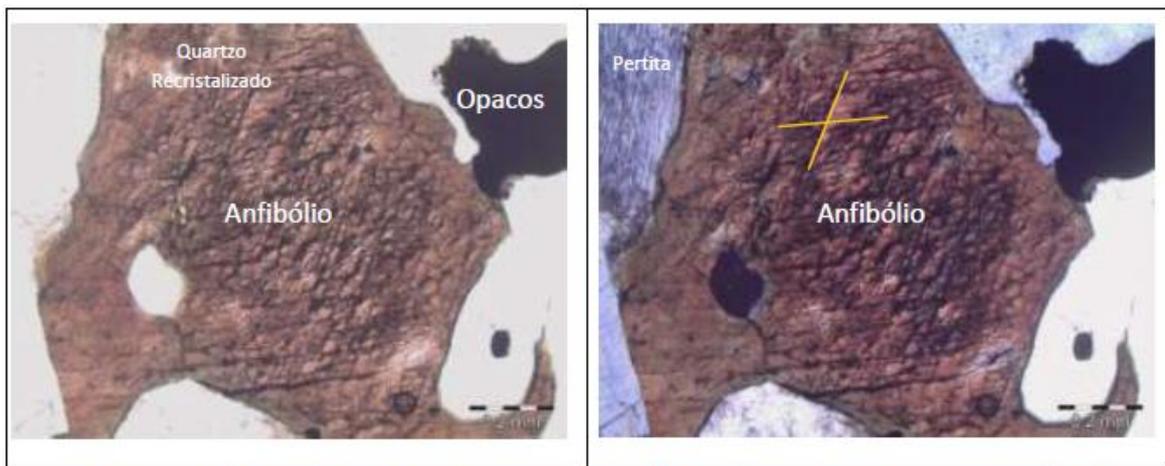


Figura 1 - Diagrama QAP com *plote** da amostra representado por um círculo preto caracterizando o protólito (rocha inicial) da rocha como um Monzogranito. * porcentagens estimadas

Fotomicrografias (Lado esquerdo: Luz paralela e lado direito: Luz cruzada)	
 <p>Anfibólio Alteração</p>	 <p>Feldspato alterado - Microclina Mimerquita Plagioclásio alterado Mimerquita</p>
<p>Fotomicrografia 1: Rocha fotografada ao microscópio óptico de luz transmitida, onde observam-se grãos de anfibólio, quartzo e feldspatos alterados. Vê-se ainda a textura do tipo Mimerquita nos contatos entre plagioclásio e feldspato potássico.</p>	
 <p>Anfibólio e Opacos Anfibólio e Opacos Alteração</p>	 <p>Plagioclásio Feldspato potássico</p>
<p>Fotomicrografia 2: Detalhe de agregado de grãos de anfibólio, junto com minerais opacos e feldspatos.</p>	
 <p>Anfibólio Feldspato Potássico alterado Anfibólio E biotita</p>	 <p>Quartzo Recristalizado Feldspato Potássico perítico alterado Plagioclásio</p>
<p>Fotomicrografia 3: Feldspato potássico perítico bastante alterado, juntamente com quartzo recristalizado e anfibólio.</p>	



Fotomicrografia 4: Seção de cristal de anfibólio, onde as direções de clivagens são visíveis, caracterizando assim os grãos como de anfibólio com clivagens $\sim 56^\circ$ e 124° .

DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA	
Lâmina:	19
Amostra:	Testemunho de rocha
Classe da rocha:	metamórfica
Classificação:	Granodiorito
Procedência da amostra:	Arena – São Lourenço da mata
Data da descrição:	18 de agosto de 2012
Petrográfa:	Mariucha Maria Correia de Lima

Características Mesoscópicas		
<p>Rocha ígnea de coloração rosea de textura medianamente compacta (moderada coesão), fanerítica comportando-se a olho desarmado como inequigranular holocristalina (composta totalmente por cristais). A granulação é média a fina, de alta dureza (característico de rochas ígneas compostas por quartzo e feldspatos-escala de Mohs 6-7). A assembleia mineralógica da rocha é caracterizada pelos seguintes minerais: feldspatos, micas e quartzo. Se observa indícios de foliação, desenvolvidos por alinhamento de micas, e uma cor avermelhada entre os planos de fratura, o que possivelmente deve ser oxidação (Oxi-hidróxido de ferro).</p>		
Características Microscópicas		
Textura	Granítico gnaíssica	
Granulação	Média	
Composição mineralógica	Principal	Quartzo e feldspatos
	Subordinada	Micas, epidoto, e opacos
	Reativa/Deletérica	Quartzo com extinção ondulante moderada a forte
Presença (ou ausência) de minerais e fases deletéricas quanto à reação álcali-agregado.	Presença de quartzo com granulação menor que 0,1 (mm), além de fitas de quartzo deformado com extinção ondulante.	
Estimativa da porcentagem da mineralogia (modo de ocorrência,	Quartzo: 30%; ocorre como grãos (< que 0,5mm) com extinção do tipo ondulante e	

granulometria e relação com os outros minerais).	como agregados de cristais em fita(< 0,5mm) recristalizados com textura poligonal e com extinção reta suave.
	Feldspatos: 35% (Feldspato potássico 10% e plagioclásio 25%); ocorre por vezes como cristais maiores geminados, em meio a uma matriz fina de feldspatos, quartzo e micas, geralmente se mostram pouco alterados.
	Micas: 15%; ocorre orientadas em geral definindo uma direção de foliação; os tipos são muscovita e em menor quantidade biotita, localmente a biotita parece estar oxidada, produzindo óxidos.
	Epidoto: 5%; ocorre como agregado de grãos , desenvolvidos possivelmente pela alteração dos feldspatos, logo o epidoto é de origem secundária.
	Opacos: 5% Outros: 10%
Estimativa da quantidade de quartzo microgranular e deformado (menor que 0,5mm), conforme campos: (menor que 5%, entre 5 e 15% e maior que 15%).	Maior que 15%.
Presença de feldspato em rochas deformadas (textura: mimerquitica, pertítica ou não aplicada).	Feldspato em estágio de alteração intermediária.
Estado microfissural, (ausente, moderada ou forte).	Moderado, poucas microfissuras intragranulares.
Estado de alteração da rocha (sã, pouco alterada ou alterada).	alterada
Natureza (ígnea, sedimentar, metamórfica).	Metamórfica
Classificação petrográfica da rocha.	Granodiorito
Deformação da rocha.	Deformada

Reatividade da rocha.	Reativo
Observações.	Rocha bastante intemperizada (lixiviada) poucos vestígios dos minerais primários.

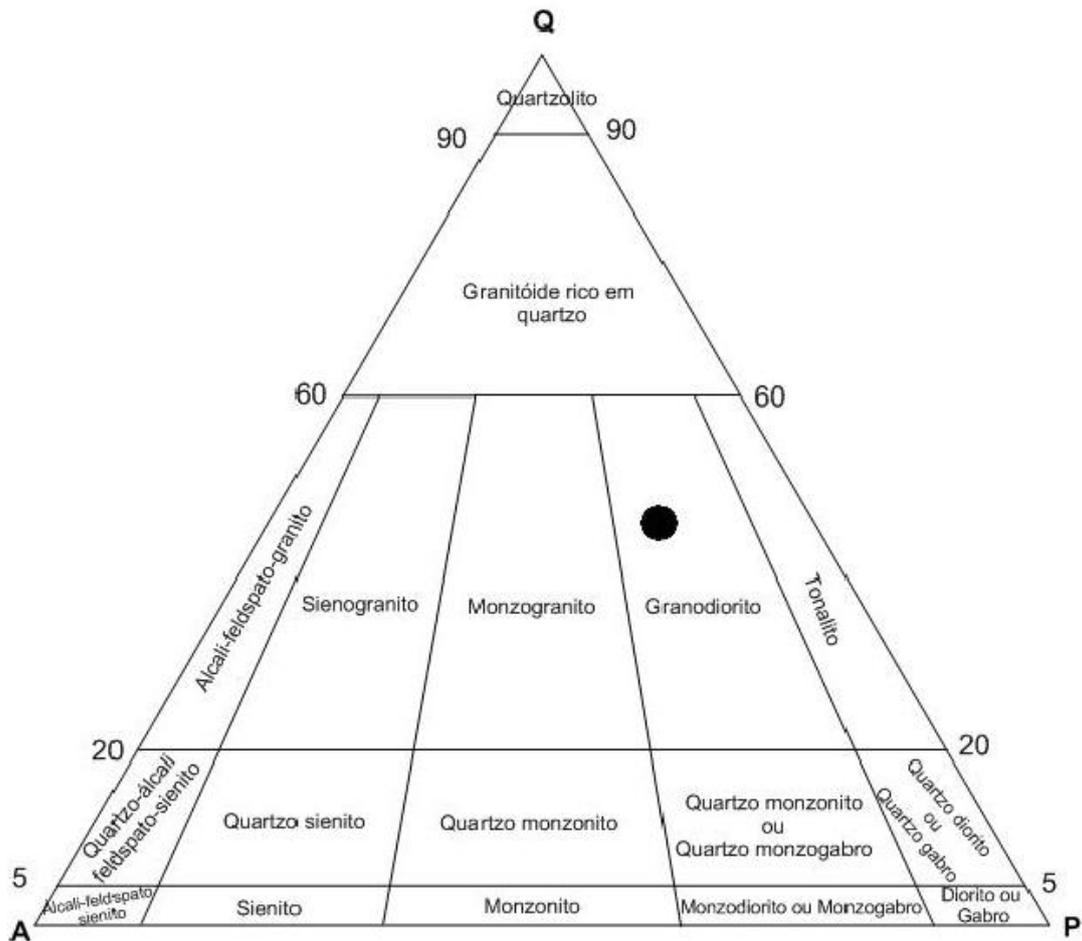
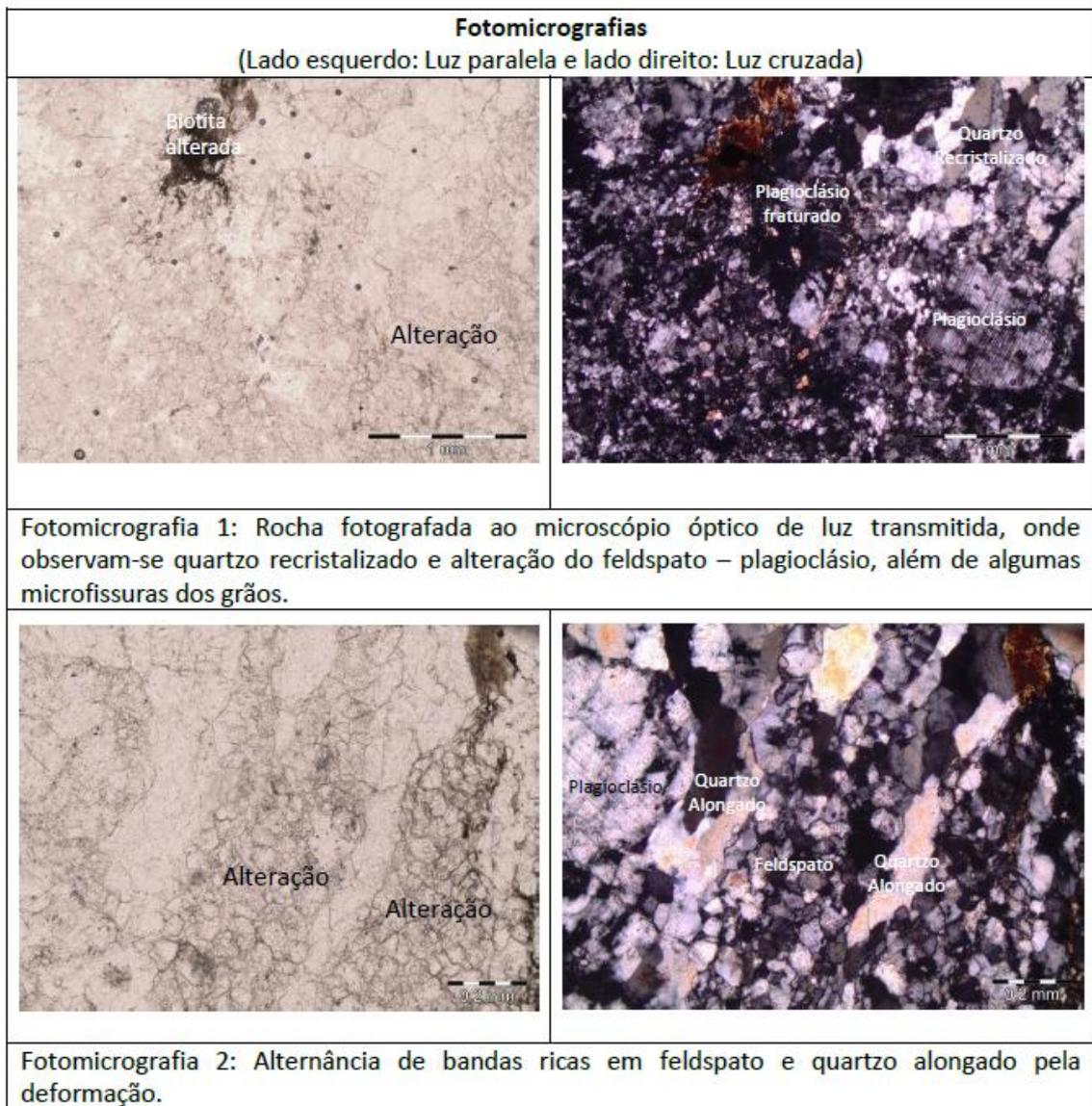


Figura 1 - Diagrama QAP com plotagem* da amostra representado por um círculo azul caracterizando o protólito (rocha inicial) da rocha como um Granodiorito. * percentagens estimadas



DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA	
Lâmina:	20
Amostra:	Testemunho de rocha
Classe da rocha:	ígnea
Classificação:	Monzogranito
Procedência da amostra:	Arena – São Lourenço da mata
Data da descrição:	18 de agosto de 2012
Petrográfa:	Mariucha Maria Correia de Lima

Características Mesoscópicas		
<p>Rocha ígnea de coloração amarronzado de textura compacta (alta coesão), fanerítica comportando-se a olho desarmado como inequigranular holocristalina (composta totalmente por cristais). A granulação é média a grossa, de alta dureza (característico de rochas ígneas compostas por quartzo e feldspatos-escala de Mohs 6-7). A assembleia mineralógica da rocha é caracterizada pelos seguintes minerais: feldspatos, piroxênio, micas e quartzo. Não se observa indícios de foliação a olho desarmado.</p>		
Características Microscópicas		
Textura	Granítica	
Granulação	Média a grossa	
Composição mineralógica	Principal	Quartzo e feldspatos
	Subordinada	Piroxênio, Micas, apatita, epidoto, e opacos
	Reativa/Deletérica	Quartzo com extinção ondulante moderada
Presença (ou ausência) de minerais e fases deletéricas quanto à reação álcali-agregado.	Presença de quartzo com granulação menor que 0,5 (mm) e grãos de quartzo maior que 1mm.	
Estimativa da porcentagem da mineralogia (modo de ocorrência, granulometria e relação com os outros minerais).	Quartzo: 35%; ocorre como grãos (< que 0,5mm) com extinção do tipo ondulante e como grãos maiores (< 1mm) com extinção ondulante suave.	

	Feldspatos: 45% (Feldspato potássico 20% e plagioclásio 25%); ocorre como cristais maiores geminados pouco alterados. Os feldspatos potássico ocorrem como cristais pertíticos, e quando em contato com plagioclásio exibem a textura de intercrescimento do tipo mimerquita.
	Piroxênio: >5%; ocorre como grandes cristais, bastante fraturados de ortopiroxênio. Em geral associado com opacos.
	Micas: <5%; ocorre orientadas em geral definindo uma direção de foliação; os tipos são muscovita e em menor quantidade biotita, localmente a biotita parece estar oxidada, produzindo óxidos.
	Opacos: 3%
	Outros: 7%
Estimativa da quantidade de quartzo microgranular e deformado (menor que 0,5mm), conforme campos: (menor que 5%, entre 5 e 15% e maior que 15%).	Menor que 5%.
Presença de feldspato em rochas deformadas (textura: mimerquitica, pertítica ou não aplicada).	Feldspato quase não alterado. Mimerquita e pertita ocorrem em grande quantidade e são características de deformação intracristalina do grão.
Estado microfissural, (ausente, moderada ou forte).	Moderado, microfissuras intragranulares. Geralmente entre essas fissuras há um material alaranjado que pode ser óxido de ferro.
Estado de alteração da rocha (sã, pouco alterada ou alterada).	Parcialmente Sã.
Natureza (ígneas, sedimentar,	Ígneas

metamórfica).	
Classificação petrográfica da rocha.	Monzogranito (Charnockito – granito com piroxênio >5%)
Deformação da rocha.	Pouco deformada
Reatividade da rocha.	Moderadamente reativo
Observações.	Rocha pouco alterada, porém exibe várias microfissuras (ver as fotomicrografias) e alguns cristais de quartzo deformados, o que facilitaria a reação com os álcalis do cimento.

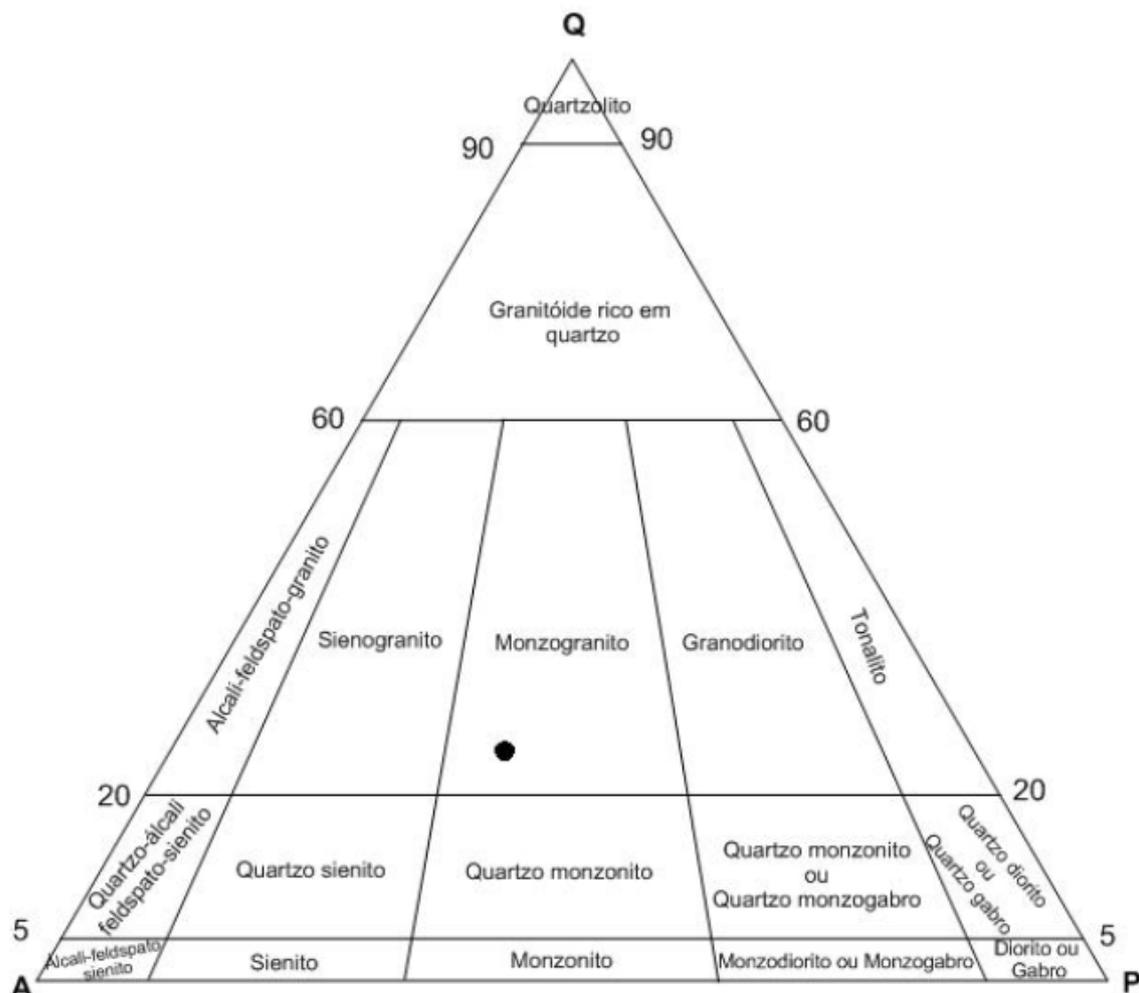
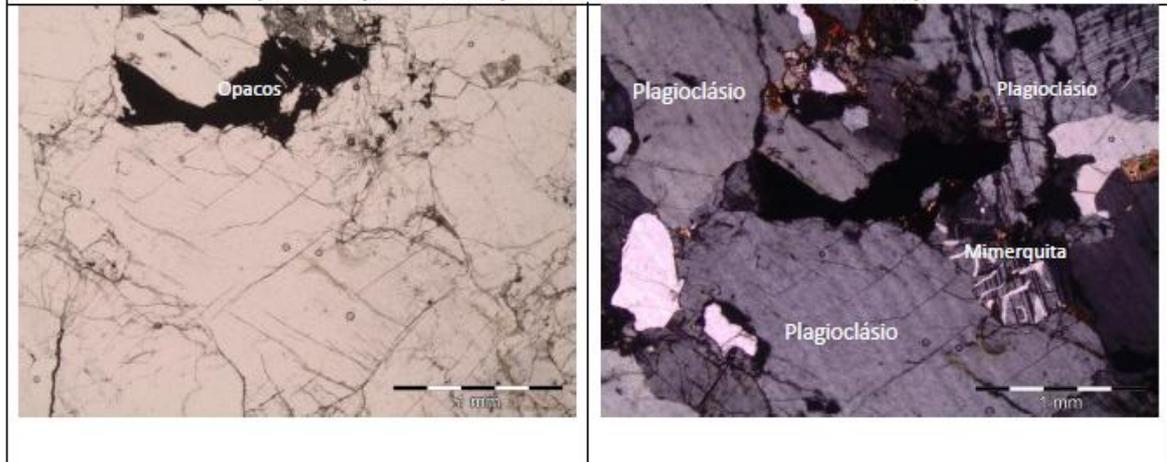
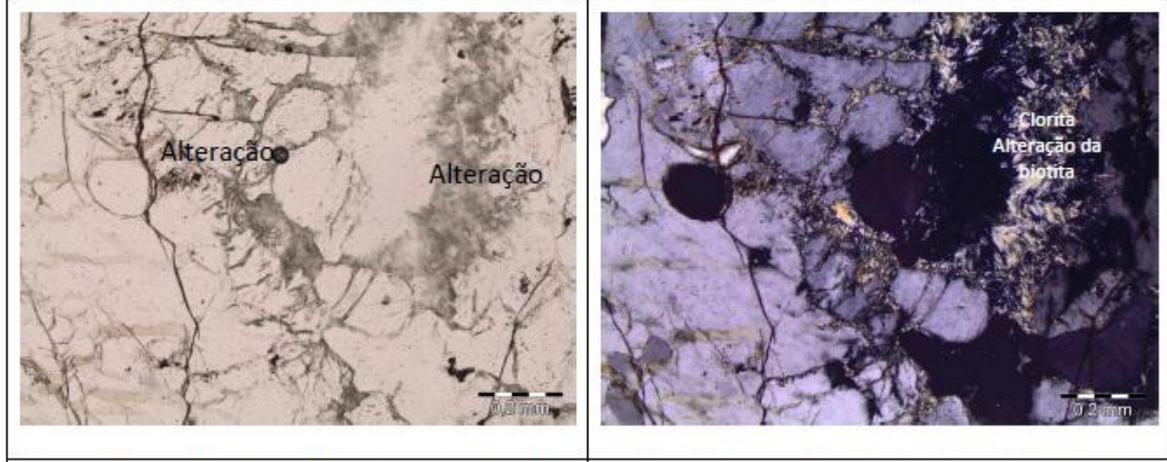


Figura 1 - Diagrama QAP com *plote** da amostra representado por um círculo azul caracterizando a rocha como um Monzogranito. * porcentagens estimadas

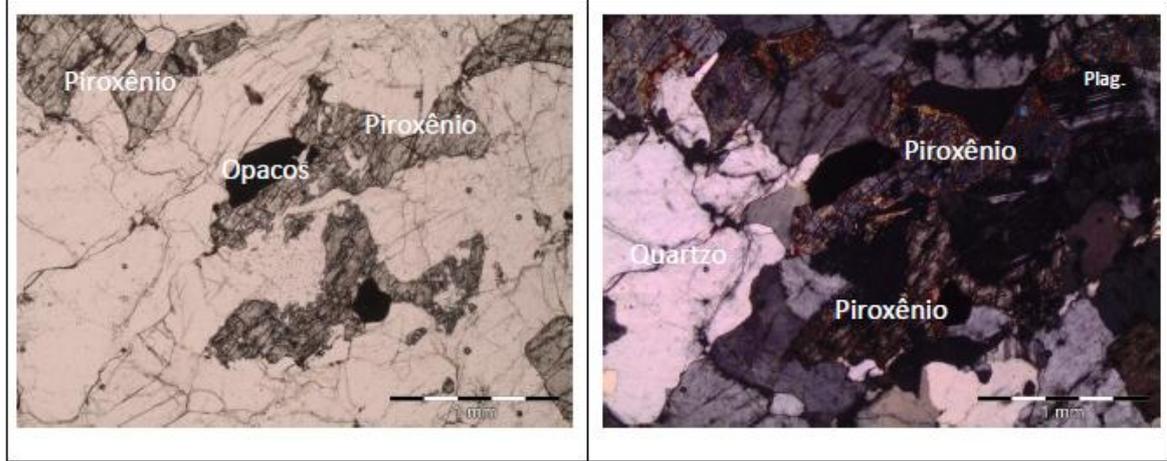
Fotomicrografias
(Lado esquerdo: Luz paralela e lado direito: Luz cruzada)



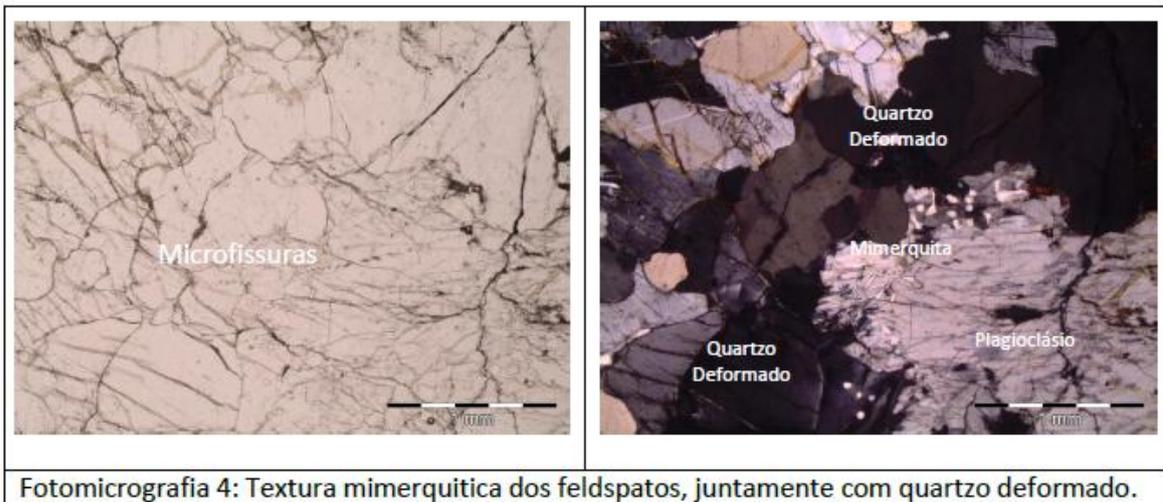
Fotomicrografia 1: Rocha fotografada ao microscópio óptico de luz transmitida, onde observam-se plagioclásio com textura mimerquítica. Vê-se ainda minerais opacos.



Fotomicrografia 2: Detalhe de agregado de grãos de clorita secundária, produto de alteração da biotita.



Fotomicrografia 3: Grãos de piroxênio com bordas corroídas(alteradas) associados com quartzo e plagioclásio.



Fotomicrografia 4: Textura mimerquitica dos feldspatos, juntamente com quartzo deformado.