



POTENCIALIDADE DO CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO
DA ILHA DE SÃO LUÍS DO MARANHÃO UTILIZADO NO CONCRETO DE
CIMENTO PORTLAND

José Edward de Oliveira

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Otto Corrêa Rotunno Filho

Rio de Janeiro
Setembro de 2019

POTENCIALIDADE DO CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO
DA ILHA DE SÃO LUÍS DO MARANHÃO UTILIZADO NO CONCRETO DE
CIMENTO PORTLAND

José Edward de Oliveira

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Prof. Otto Corrêa Rotunno Filho, Ph.D.

Prof. Edson Farias Mello, D.Sc.

Profa. Edilea Dutra Pereira, D.Sc.

Prof. Paulo Couto, D.Sc.

Prof. Afonso Augusto Magalhães de Araújo, D.Sc.

Prof. Daniel Medeiros Moreira, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO DE 2019

Oliveira, José Edward de

Potencialidade do conglomerado ferruginoso laterítico da ilha de São Luís do Maranhão utilizado no concreto de cimento Portland / José Edward de Oliveira – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XVIII, 326 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Otto Corrêa Rotunno Filho

Tese (doutorado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Civil, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 197-204.

1. Concreto Laterítico. 2. Resistência Máxima do Concreto Laterítico. 3. Tecnologia de Rochas Sedimentares Cimentadas por Óxidos Ferruginosos (Laterita). I. Rotunno Filho, Otto Corrêa. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título

O cientista é livre e deve ser livre para formular qualquer questão, para duvidar de qualquer afirmação, para buscar todas as evidências, para corrigir todos os erros.

J. Robert Oppenheimer (1904 – 1967), importante físico norte americano.

Nada se compara a emoção de descobrir.

Discovery Channel

O homem poderá crer...

No Pai, no Filho e no Espírito Santo.

Nos seus Pais.

Na sua Esposa e nos seus Filhos

Eles foram os guias dos meus estudos

José Edward de Oliveira

AGRADECIMENTOS

Em especial ao Professor Doutor Otto Corrêa Rotunno Filho que visualizou ser o estudo bastante rico em resultados práticos e que poderia ser perfeitamente submetido a uma banca de Doutorado.

Ao Professor Doutor Romildo Toledo do NUMATS/COPPE/UFRJ, pelo total apoio no uso do laboratório de Concreto da COPPE, disponibilizando não somente os equipamentos, com também os técnicos da COPPE. O laboratório de Concreto da COPPE é de altíssima qualidade, organização e disponibilidade de equipamentos de alto padrão.

Ao Dr. Luiz Carlos Bertolino e Dra. Jacqueline Oliveira do CETEM/UFRJ, pelo uso do microscópio eletrônico de varredura e análises químicas quantitativas.

A Escola de Metalurgia da UFRJ, também, pelo uso do microscópio eletrônico de varredura.

Ao Dr. Fernando Pires da UERJ, pelo uso do microscópio de luz refletida e discussões relacionado aos minerais ferruginosos.

Ao INPE e ao geólogo Marcos Hartwing pelo apoio no processamento e análise de imagens digitais do sensor TM LANDSAT 5.

A incansável Christina Barreto Pinto que muito contribuiu com a organização e digitalização de todo o trabalho.

Por fim, e antes de tudo, ao criador, que tem me acompanhado em todas as jornadas, técnicas e científicas, tanto no Brasil como no exterior.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

POTENCIALIDADE DO CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO DA
ILHA DE SÃO LUÍS DO MARANHÃO UTILIZADO NO CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND

José Edward de Oliveira

Setembro/2019

Orientador: Otto Corrêa Rotunno Filho

Programa: Engenharia Civil

O concreto laterítico já é bastante conhecido no Brasil e no exterior e aceito mundialmente na Construção Civil, como sendo aquele concreto que utiliza a rocha laterítica ou simplesmente laterita, como brita, devendo ser abordado como um agregado natural para concreto de cimento Portland não convencional em substituição ao agregado convencional, que é a rocha granítica. O presente estudo se destaca de outros estudos, pelo fato de ter sido utilizado a rocha sedimentar, denominada de conglomerado ferruginoso laterítico (agregado), tal como saiu do britador com mandíbulas reguladas com abertura de 50,8 mm, ou 2”, 38,1mm, ou 1 ½ ‘ e ainda 25,4 mm ou 1”, fornecendo nesta britagem, tanto os agregados graúdos como os agregados finos, quando britado, conforme pode ser verificado nas curvas granulométricas elaboradas e tendo como referência comparativa a curva teórica de “FULLER”. O conglomerado ferruginoso laterítico depois de britado deverá ter a sua granulometria corrigida, com frações granulométricas da mesma rocha, para obtenção de resistência máxima a compressão axial simples e que foi testado no corpo de prova do concreto, com valores máximos atingidos entre 31,70 a 33,97 MPa. Ainda esta rocha atingiu 40 MPa de resistência individual a ruptura. A rocha possui uma composição química variável com valores de SiO₂ variando de 8,8 a 70,2% e Fe₂O₃ variando de 23,8 a 75,6%. Esses resultados aqui postos, constam do CAPÍTULO 5 da presente tese de Doutorado.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree Doctor of Science (D.Sc.)

POTENTIALITY OF THE FERRUGINOUS CONGLOMERATE FROM SÃO LUÍS
DO MARANHÃO ISLAND USED IN PORTLAND CEMENT CONCRETE

José Edward de Oliveira

September/2019

Advisor: Otto Corrêa Rotunno Filho

Department: Civil Engineering

Lateritic concrete is already well known in Brazil and abroad and accepted worldwide in Civil Construction, as being concrete that uses lateritic rock or simply laterite, as gravel, and should be approached as a natural aggregate for unconventional Portland cement concrete in replacement to the conventional aggregate, which is granite rock. The present study stands out from other studies because the sedimentary rock, called the lateritic ferruginous conglomerate (aggregate), was used, as it came out of the crusher with 50.8mm or 2", 38,1mm, or 1 ½ "and 25.4mm or 1", providing in this crushing both the large aggregates and the fine aggregates, when crushed, as can be seen in the elaborated particle size curves and having as a comparative reference the theoretical curve of "FULLER". The crushed conglomerate should have its particle size corrected, with particle size fractions of the same rock, to obtain maximum resistance to simple axial compression and that was tested in the concrete specimen, with maximum values reached between 31.70 to 33, 97Mpa. Still this rock reached 40Mpa of individual resistance to rupture. The rock has a variable chemical composition with SiO₂ values ranging from 8.8 to 70.2% and Fe₂O₃ ranging from 23.8 to 75.6%. These results, presented here, can be found in CHAPTER 5 of this D.Sc thesis.

SUMÁRIO

	Pág.
Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xvii
Lista de Quadros	xviii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVAS DO ESTUDO	3
1.3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DO PROBLEMA	6
1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO	8
1.5 OBJETIVOS	9
15.1 Objetivo Geral	9
1.5.2 Objetivos Específicos	11
1.6 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO ESTUDO	13
1.7 ESTRUTURA DA TESE/ESCOPO DO ESTUDO	14
CAPÍTULO 2 - CONHECIMENTO DO PROBLEMA	17
2.1 JAZIDAS DE LATERITAS NO BRASIL E NO MUNDO	18
2.2 O CONCRETO LATERÍTICO NO BRASIL E DIFICULDADES NA OBTENÇÃO DESTES AGREGADOS	19
2.3 CONCRETO LATERÍTICO NO MUNDO	25
2.4 CONCEITOS, GÊNESE E CARACTERIZAÇÃO DAS LATERITAS	30
2.4.1 Conceitos de Lateritas	31
2.4.2 Características físico-químicas e mineralógicas das lateritas – dinâmica do ferro	35
2.4.3 Evolução das lateritas	39
2.4.4 Idade das lateritas	41
2.5 ASPECTOS SOBRE A GÊNESE E CONDIÇÕES AMBIENTAIS PARA A FORMAÇÃO DE ROCHAS SEDIMENTARES	42
2.5.1 Arenitos	42
2.5.2 Conglomerados	45
2.5.3 Siltitos	45
2.5.4 Classificação dos Arenitos	47
2.5.5 Arenitos Feldspáticos e Arcóseos	48
2.5.6 Grauvacas e rochas relacionadas	48
2.5.7 Ortoquartzitos (quartzo–arenitos)	49
2.5.8 Descrição de arenitos: aspectos petrográficos, mineralógicos, texturais e morfométricos	49
2.5.9 Esfericidade	50
2.5.10 Arredondamento	51
2.5.11 Parâmetros estatísticos	55

	Pág.
2.5.12 Componentes deposicionais: arcabouço, matriz e poros originais	57
2.5.13 Componentes diagenéticos: cimento e porosidade primária e secundária	58
2.5.14 Alguns aspectos geomecânicos das rochas sedimentares	60
2.6 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO	61
2.6.1 Resistência do concreto	62
2.7 CIMENTO PORTLAND	64
2.8 AGREGADOS PARA CONCRETO	84
2.9 PROCESSOS DE INVESTIGAÇÃO	85
2.10 PRODUÇÃO DE AGREGADOS (MATERIAL PÉTREO) PARA CONSTRUÇÃO CIVIL	87
2.10.1 Escolha do local para Pedreira	88
2.10.2 Tipos de lavra	89
2.10.3 Produção de pedra britada	90
2.11 CRITÉRIOS PARA AVALIAR A QUALIDADE DAS ROCHAS E MATERIAIS PÉTREOS PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	93
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA.....	94
3.1 PROGRAMA DE INVESTIGAÇÕES, ENSAIOS REALIZADOS, MÉTODOS E MATERIAIS PÉTREOS	94
3.2 INVESTIGAÇÕES	94
3.3 ENSAIOS REALIZADOS	96
3.3.1 Ensaios geológicos e químicos para determinar a gênese e as características da laterita	96
3.3.2 Ensaios físicos e mecânicos para qualificar tecnologicamente (como agregados) as amostras	96
3.3.3 Ensaios mecânicos para qualificar tecnologicamente o concreto laterítico	97
3.3.4 Materiais pétreos	99
3.3.5 Conglomerado Ferruginoso Laterítico, popularmente designado (“Pedra Carço ou Couro de Sapo”)	101
3.3.6 Cimento Portland	101
3.3.7 Legalidade da Atividade Minerária na Ilha do Maranhão	102
CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	105
4.1 FISIOGRAFIA, CLIMA E VEGETAÇÃO	105
4.2 GEOLOGIA LOCAL DA BACIA DE S. LUÍS APLICADA AOS ESTUDOS	107
4.2.1 Contexto Geológico	109
4.2.2 Grupo Itapecuru	113
4.2.3 Formação Barreiras	113
4.2.4 Depósitos Quaternários	115

	Pág.
CAPÍTULO 5 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	117
5.1 CONTEXTO DO SENSORIAMENTO REMOTO	117
5.1.1 Material e Método	119
5.1.2 Análise e Processamento das Imagens	120
5.1.3 Considerações Finais	124
5.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E QUÍMICAS DO CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO	125
5.2.1 Análise de lâminas petrográficas luz polarizada	125
5.2.2 Determinação da relação sílica-sesquióxidos	126
5.2.3 Análise Química Quantitativa de 7 Elementos Químicos na via húmida	127
5.2.4 Reatividade Potencial e Análise Difratométrica do Conglomerado Ferruginoso Laterítico	128
5.2.5 Análise Difratométrica do Conglomerado Ferruginoso Laterítico	129
5.2.6 Definição de Lateritas de São Luís (MA) elaboradas/formuladas a partir das análises geológico-geoquímicas, físico-mecânicas e investigações de campo	131
5.2.7 Análises químicas quantitativas com base no método de ensaio utilizando a fluorescência de raio X e análise química com base no método via húmida	132
5.2.8 Classificação macroscópica e microscópica luz polarizada, microscopia luz refletida, microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectrometria atômica e microtomografia computadorizada ao raio X do Conglomerado Ferruginoso laterítico	134
5.2.9 Classificação tecnológica da Laterita como agregado segundo normas Brasileiras	143
5.2.10 Qualidade tecnológica do concreto hidráulico de São Luís e casos históricos referente ao uso de agregados não convencionais	146
5.2.11 Orientação da exploração racional dos tipos lateríticos em que antecede o levantamento por imagens de satélite	148
5.3 RESULTADOS QUE INDICAM A QUALIDADE TECNOLÓGICA DO AGREGADO (CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO)	150
5.3.1 Determinação dos Índices Físicos	150
5.3.2 Abrasão “Los Angeles” - Ensaio de Resistência ao Impacto Treton – Ensaio de Esmagamento	151
5.3.3 Ciclagem Sanidade	153

	Pág.	
5.3.4	Ensaio de Mecânica de Rocha do tipo Resistência à Compressão uniaxial simples por Testemunhos de Rotativa e Resistência a Compressão Puntiforme do conglomerado ferruginoso laterítico	154
5.3.5	Resistência a Compressão Puntiforme	166
5.3.6	Granulometria	172
5.3.7	Ensaio de Forma	180
5.3.8	Resultados da Qualidade do Concreto	184
5.3.8.1	Resistência à Compressão Simples dos Corpos de Prova Moldados em Diferentes Traços e Fator Água/Cimento e Slump Test	187
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		191
6.1	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	191
6.2	RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	195
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		197
ANEXO 1 - CADASTRAMENTO DOS PONTOS/JAZIDAS/LAVRAS		205
ANEXO 2 - DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA GERAL		313

Lista de Figuras

		Pág.
Figura 1.1	Plotagem das 47 jazidas num mapa geológico da Ilha de S. Luís - MA na escala 1:250.000, destacando a localização da jazida 19 de nome Maracujá, onde foram concentrados os estudos.	8
Figura 2.1	Mapa do cristalino, áreas do Brasil onde afloram predominantemente granitos e gnaisses. Modificado do mapa geológico do Brasil escala 1:1000.000 (DNPM, 1987).	20
Figura 2.2	Mapa de distribuição de solos lateríticos arenosos e argilosos no Brasil. Fonte Nogami e colaboradores (2000).	21
Figura 2.3	Mapa mundial mostrando as regiões de ocorrência de solos lateríticos (SANTANA; GONTIJO, 1987 & CHAGAS FILHO, 2005). ...	25
Figura 2.4	Diagrama de equilíbrio termodinâmico para o ferro (plotado a 25° C e a 1 atm de pressão total) mostrando a posição de alguns ambientes naturais (modificado de GARRELS, 1960).	38
Figura 2.5	Ciclo sedimentar (modificado de SUGUIO, 1980).	43
Figura 2.6	Representação gráfica da classificação de arenitos PETTIJOHN, (1975).	48
Figura 2.7	Significado geométrico do arredondamento do grão.	51
Figura 2.8	Escala de arredondamento e esfericidade dos grãos.	51
Figura 2.9	Terminologia para o contato entre os grãos de arenito.	53
Figura 2.10	Definição de densidade de compactação.	54
Figura 2.11	Representação esquemática de algumas mudanças introduzidas em escala de grãos, por efeito da compactação mecânica.	58
Figura 2.12	Representação esquemática da evolução dos tipos de contato entre os grãos.	59
Figura 2.13	Representação genérica de rochas sedimentares, com indicação de seus componentes principais.	59
Figura 2.14	Desenho esquemático comparando duas distribuições de cimento de quartzo em um arenito.	60
Figura 2.15	Relação entre resistência e fator água cimento do concreto. Extraído de NEVILLE (2016).	63
Figura 2.16	Sacos de cimento empilhados e embalados em sacos de papel especial.	64
Figura 2.17	As normas para determinação das características físico-química dos cimentos diversos tipos de cimento.	66
Figura 2.18	Fábrica de cimento funcionando em 1985 na localidade de Portland, uma ilha Britânica.	67
Figura 2.19	Imagem ao microscópio do cimento Portland férrico.	68
Figura 2.20	Fornos rotativos de cimento - Holcim - Bélgica.	75
Figura 2.21	Fluxograma da exploração do calcário para fabricação do cimento.	76

	Pág.
Figura 2.22	Produção do cimento incluindo todo o processo, até entrega final ao cliente. 77
Figura 2.23	Produção do cimento, incluindo todo o processo, até entrega final ao cliente (continuação). 78
Figura 2.24	Produção do cimento, incluindo todo o processo, até entrega final ao cliente (continuação). 79
Figura 2.25	Vista aérea da fábrica de cimento Portland Ash Grove Cement (na costa oeste dos EUA), em Durkee, Oregon: 1. moagem da matéria-prima; 2. mistura e armazenamento da farinha; 3. pré-aquecedor a suspensão; 4. forno rotativo; 5. armazenamento do clínquer; 6. moagem do cimento (Fotografia por cortesia da “Vagn Johansen, F.L. Smidth, Copenhagen, Denmark”). 80
Figura 3.1	Fluxograma dos estudos de campo e laboratório. 98
Figura 4.1	Aspectos da geomorfologia evidenciando o domínio altimétrico com respectivas altitudes terrestres da Formações Geológicas e localização das 47 jazidas cadastradas. 105
Figura 4.2	Seções esquemáticas e distribuição espacial das unidades geológicas-geotécnicas. 109
Figura 4.3	Arcabouço estrutural da porção setentrional do Maranhão..... 110
Figura 4.4	Modelo geológico-geotécnico da Ilha do Maranhão. 112
Figura 4.5	Detalhe de um afloramento em um corte de estrada localizado no Portal de entrada da torre da Embratel. 114
Figura 4.6	Mapa Geológico das Formações Superficiais da Ilha do Maranhão na escala 1:250.000 - Área (905 km ²). 116
Figura 5.1	Mapa de localização da área de estudo com indicação das jazidas numa base geológica na escala 1:250.000. 118
Figura 5.2	Assinaturas espectrais de óxido de ferro (goethita), vegetação e argila. Extraído de (Carranza e Hale 2002). Notar que a goethita (ou a hematita) mostra baixa resposta nos canais TM 1, 2 e 4, e alta resposta nos canais TM 3, 5 e 7. 120
Figura 5.3	Composição colorida 7R4G3B realçada, com indicação de jazidas e áreas de ocorrência de lateritas ferruginosas (triângulos vermelhos) 121
Figura 5.4	Mapa hipsométrico da área de estudo com indicação das jazidas e áreas de ocorrências lateríticas ferruginosas (triângulos pretos). 122
Figura 5.5	Mosaico das principais componentes das cenas 220/62 e 221/62 geradas a partir dos canais originais TM 1-2-3-4-5. Minerais do grupo óxido de ferro estão destacados como regiões claras na PC3 e como regiões escuras na PC4. Triângulos vermelhos correspondem às jazidas e ocorrências cadastradas. 124

Figura 5.6	Fotomicrografia luz polariza da do conglomerado ferruginoso laterítico constituído e grãos quartzo policristalino, quartzo comum e quartzo ondulante com frações de grânulos como valor modal, extremos muito grossos e seixos pequenos e contendo muito cascalho e a areia é menos que 5%. A matriz rochosa é sub-angular e sub-arredondada, alta esfericidade com cimento marrom claro a marrom escuro tipo hematita e limonita, sendo rara a presença de feldspato potássico e fragmentos de granito. O cimento ocorre em alguns pontos como goethita botroidal evoluindo em alguns pontos para cristalização da hematita. Observar também que os grãos de quartzo maiores estão microfraturados, o que revela a susceptibilidade do grão a ser reduzido a uma granulometria inferior, quando submetido às forças da mandíbula do britador e revelando conseqüentemente a facilidade na redução da granulometria.	126
Figura 5.7	Espectro da análise de difração de raios-X do conglomerado ferruginoso laterítico.	130
Figura 5.8	Detalhe da estrutura interna do conglomerado ferruginoso laterítico tendo a caneta de escala e assim dando idéia da proporcionalidade entre a matriz quartzosa, o cimento ferruginoso e a alteração diferencial a que foi acometida a rocha em fase ao intemperismo físico-químico diferencial.	135
Figura 5.9 -	Microfotografia luz polarizada do conglomerado ferruginoso laterítico evidenciando a interação entre os óxidos cimentícios com a matriz quartzosa. Observar que o cimento ferruginoso engloba partículas muito finas de frações quartzosas com aspectos microscópicos obtidos através de lâmina petrográfica na luz polarizada.	136
Figura 5.10 -	Microfotografia luz polarizada de detalhe do conglomerado ferruginoso laterítico, onde pode ser observado que o cimento engloba partículas muito finas de frações quartzosas e assim estabelecendo uma maior área de contacto entre diferentes materiais, no caso, cimento e grãos da matriz, gerando assim maior área de descontinuidades e conseqüente maior microporosidade, com reflexos nos índices físicos da rocha.	137
Figura 5.11	Fotomicrografia microscópica eletrônica de varredura (MEV). Aspectos delimitados da área dentro do quadrado onde foi executado a varredura, com os resultados químicos apresentado na figura 7.7 abaixo. A fotomicrografia apresenta o conjunto amostral denotando o cimento constituído de óxidos ferruginosos (hematita, goethita), a fração mais esbranquiçada é da matriz composta de quartzo, a fração mais escura representa o quartzo. Nesta figura 400 micras é equivalente a 0,4 mm.	137

	Pág.	
Figura 5.12	Apresentação do energy dispersive X – ray detector (EDS) destacando os constituintes minerais da amostra da Figura 5.11	138
Figura 5.13	Fotomicrografia MEV evidenciando em plano mais marcante os grãos de quartzo maiores envolvidos por uma fração/película de óxido ferruginoso. Entre um grão e outro pode ser observado o cimento ferruginoso, no qual ocorre disseminados finíssimos grãos de quartzo.	138
Figura 5.14	Perfil pelos pontos 1,2,3 e 4 com os respectivos elementos químicos presentes: am 1 = C, O e Si = Quartzo - am 2 = C, O, Fe, Al e Si = oxido de ferro + quartzo - am3 = C, O e Fe = oxido de ferro puro – am4 = C, O, Al e Si = oxido de alumínio.	139
Figura 5.15	Detalhe da foto anterior demonstrando o contraste divisório entre o quartzo e o cimento ferruginoso.	139
Figura 5.16	Microfotografia a luz refletida conglomerado ferruginoso laterítico denotando a ghoetita representada pela cor amarela, a hematita representada pela cor marrom e o branco representando o quartzo.	140
Figura 5.17	Mesma tomada de foto anterior, porém com os nicóis cruzados.	140
Figura 5.18	Microtomografia computadorizada ao Raio X, análise da porosidade, espessura e distribuição com vista 3D.	141
Figura 5.19	Microtomografia computadorizada ao Raio X - Vista bidimensional com distribuição dos poros.	141
Figura 5.20	Parâmetros de aquisição de imagens.	142
Figura 5.21	Aspecto microscópico do conglomerado ferruginoso laterítico no microscópio de Força Atômica.	142
Figura 5.22	Espectometria Atômica, evidenciando detalhe da cristalização da Hematita.	143
Figura 5.23	Blocos de rocha 1 a 4 e as 13 (treze) amostras retiradas no Laboratório de Mecânica das Rochas. Litotipo: conglomerado ferruginoso (laterita).	158
Figura 5.24	Amostras adequadas para os ensaios de compressão. Litotipo: conglomerado ferruginoso (laterita).	159
Figura 5.25	CP 3007 antes e após o ensaio de compressão uniaxial.	159
Figura 5.26	CP 3008 antes e após o ensaio de compressão uniaxial.	159
Figura 5.27	CP 3009 antes e após o ensaio de compressão uniaxial.	160
Figura 5.28	CP 3010 antes e após o ensaio de compressão uniaxial.	160
Figura 5.29	CP 3011 antes e após o ensaio de compressão uniaxial.	161
Figura 5.30	CP 3012 antes e após o ensaio de compressão uniaxial.	161
Figura 5.31	Diagrama tensão axial <i>versus</i> deformação específica axial e radial do corpo de prova 3007.	163
Figura 5.32	Diagrama tensão axial <i>versus</i> deformação específica axial e radial do corpo de prova 3008.	163
Figura 5.33	Diagrama tensão axial <i>versus</i> deformação específica axial e radial do corpo de prova 3009.	164

	Pág.
Figura 5.34	Diagrama tensão axial <i>versus</i> deformação específica axial e radial do corpo de prova 3010. 164
Figura 5.35	Diagrama tensão axial <i>versus</i> deformação específica axial e radial do corpo de prova 3011. 165
Figura 5.36	Diagrama tensão axial <i>versus</i> deformação específica axial e radial do corpo de prova 3012., 165
Figura 5.37	Amostras extraídas de blocos de rocha no Laboratório de Mecânica das Rochas (LMR), no ano de 2016, correspondentes aos blocos 1 e 2, sendo AM1 e AM2 do bloco 1e AM1 do bloco 2. 167
Figura 5.38	Corpo de prova ajustado entre os pratos da máquina universal de ensaios para realização de ensaio de compressão puntiforme na direção axial. 167
Figura 5.39	Vista dos corpos de prova cp3180 e cp3181 antes e após ensaio de compressão puntiforme na direção axial. Bloco 01 AM 01 e litotipo conglomerado ferruginoso. 168
Figura 5.40	Vista dos corpos de prova cp3182 e cp3183 antes e após ensaio de compressão puntiforme na direção axial. Bloco 01 AM 01 e litotipo conglomerado ferruginoso. 168
Figura 5.41	Vista dos corpos de prova cp3184 e cp3185 antes e após ensaio de compressão puntiforme na direção axial. Bloco 01 AM 02 e litotipo conglomerado ferruginoso. 169
Figura 5.42	Vista dos corpos de prova cp3186 e cp3187 antes e após ensaio de compressão puntiforme na direção axial. Bloco 02 AM 01 e litotipo conglomerado ferruginoso. 169
Figura 5.43	Vista dos corpos de prova cp3188 e cp3189 antes e após ensaio de compressão puntiforme na direção axial. Bloco 02 AM 01 e litotipo conglomerado ferruginoso. 170
Figura 5.44	Curva granulométrica dos tipos petrográficos. 174
Figura 5.45	Medidas consideradas em um fragmento de rocha para definir o índice de forma. 180
Figura 5.46	Resultado do Ensaio de Forma do conglomerado ferruginoso. 183
Figura 5.47	Resistência à compressão simples <i>versus</i> idade de cura traço 1:6 – Fator A/C = 0,45 e 0,50 l/Kg de cimento. 189
Figura 5.48	Resistência à compressão simples <i>versus</i> idade de cura traço 1:4 - Fator A/C = 0,45 e 0,50 l/kg de cimento. 190

Lista de Tabelas

		Pág.
Tabela 2.1	Solubilidade, precipitação e cristalização de óxidos de ferro.	37
Tabela 2.2	Relação entre composição química e granulometria.	46
Tabela 2.3	Tamanho dos grãos, classe granulométrica e escala Phi.	56
Tabela 2.4	Complexo químico referente ao cimento Portland.	65
Tabela 2.5	Denominação histórica do cimento Portland.	72
Tabela 2.6	Principais compostos químicos do clínquer.	73
Tabela 3.1	Análises químicas do cimento utilizado.	102
Tabela 4.1	Coluna estratigráfica da Bacia de São Luís-MA.	111
Tabela 5.1	Matriz de auto vetores a partir das bandas TM 1-3-4-5 da cena 220/62, para mapeamento de minerais de óxido de ferro. As células em negrito indicam a PC que contém a informação referente aos minerais de óxido de ferro.	123
Tabela 5.2	Matriz de auto vetores a partir das bandas TM 1-3-4-5 da cena 221/62, para mapeamento de minerais de óxido de ferro. As células em negrito indicam a PC que contém a informação referente aos minerais de óxido de ferro.	123
Tabela 5.3	Resultado da Análise de Determinação da Relação Sílica Sesquióxido conforme norma (DNER-ME-30-72).	127
Tabela 5.4	Resultado da análise química quantitativa de 07 elementos químicos na via húmida.	128
Tabela 5.5	Representa a reatividade química ao álcalis do cimento.	129
Tabela 5.6	Avaliação dos resultados da análise da difratometria de raios-X.	131
Tabela 5.7	Resultado da análise química quantitativa de 8 elementos químicos via fluorescência de raio X referente ao conglomerado ferruginoso laterítico da segunda fase da pesquisa.	134
Tabela 5.8	Característica do cimento Cauê.	147
Tabela 5.9	Ensaio de Índices Físicos (IPT-M-47).	150
Tabela 5.10	Ensaio de Abrasão Los Angeles (MB 170-R – Modificado).	151
Tabela 5.11	Ensaio Impacto Treton (IPT-M52).	152
Tabela 5.12	Resumo dos ensaios tecnológicos dos agregados.	152
Tabela 5.13	Ensaio de Ciclagem Sanidade (DNER-DPT-M-89-64).	154
Tabela 5.14	Ensaio de Compressão Simples Axial testemunho 9x3,5 cm (IPT-M50).	155
Tabela 5.15	Ensaio de Compressão Simples Axial 14,1 x 5,59 cm – Conglomerado Ferruginoso Laterítico (IPT-M50).	156
Tabela 5.16	Tipos de ruptura dos corpos de prova com testemunho - 5,50 cmx14,1cm.	157
Tabela 5.17	Resultados dos ensaios de compressão puntiforme – Litotipo conglomerado ferruginoso laterítico (laterita).	171
Tabela 5.18	Determinação da composição granulométrica NBR-MV-248/03.	173
Tabela 5.19	Ensaio de análise granulométrica por peneiramento (MB-7).	175
Tabela 5.20	Ensaio de análise granulométrica por peneiramento, 2” (MB-7). ..	176
Tabela 5.21	Ensaio de análise granulométrica por peneiramento (MB-7).	177
Tabela 5.22	Ensaio de análise granulométrica por peneiramento (MB-77).	178

		Pág.
Tabela 5.23	Ensaio de análise granulométrica por peneiramento (MB-77).	179
Tabela 5.24	Ensaio de Forma (IPT-M-49).	181
Tabela 5.25	Valores de Resistência à Compressão Simples, Abatimentos e Consumo de Cimento (ABNT-MB-3-37).	187
Tabela 1 (Anexo 1)	Identificação dos pontos/jazidas/lavras em coordenadas, número das amostras, características, nomes dos locais e latitudes – longitudes.	206

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O concreto laterítico já é bastante conhecido no Brasil e no exterior e aceito na construção civil mundial, como sendo aquele concreto que utiliza a rocha laterítica ou simplesmente laterita, como brita e deve ser abordado como um agregado não convencional para uso no concreto de cimento Portland em substituição ao agregado convencional, que é a rocha granítica de origem magmática e a rocha metamórfica, originada a partir de outras rochas e que foram submetidas ao processo de metamorfismo.

No presente estudo o agregado não convencional, o conglomerado ferruginoso laterítico foi usado no concreto de cimento Portland e considerado aquele cuja gênese está fundamentada na rocha de origem sedimentar e que foi submetida ao processo sedimentar e posteriormente ao processo de laterização, que petrifica a rocha, devido a cimentação da rocha pelos óxidos de ferro.

O agregado convencional considerado neste estudo para fins de aferição da resistência máxima foi aquele oriundo da rocha ígnea ou magmática, da localidade denominada Rosário no estado do Maranhão, usado na região da ilha de S. Luís, neste mesmo estado da Federação e distante cerca de 70 km desta ilha.

Algumas rochas metamórficas também são adequadas para uso no concreto de cimento Portland, tais como, gnaisses e migmatitos da região metropolitana do Rio de Janeiro.

Ainda no presente estudo é contemplada uma diretriz, quando se usa a laterita como material de construção sob o ponto de vista da geologia, considerada uma disciplina de fundamental importância para o entendimento da potencialidade do conglomerado ferruginoso laterítico.

Certo é que a geologia, em seus diferentes campos, tem sido utilizada parcialmente na caracterização desse tipo de agregado, razão pela qual foram buscados elementos aqui apresentados deixando uma rotina de ensaios químicos geológicos e físico mecânicos aplicados na definição das características do conglomerado ferruginoso laterítico.

O presente estudo destaca-se de outros estudos pelo fato de ter sido utilizado o conglomerado ferruginoso laterítico, tal como saiu do britador com mandíbulas reguladas com abertura de 50,8 mm, ou 2”, 38,1mm, ou 1 ½ ‘ e ainda 25,4 mm ou 1”, fornecendo tanto o agregado graúdo como o agregado miúdo, quando britado, conforme se verifica na curva granulométrica apresentada na Figura 5.44.

Adiciona-se ao conglomerado ferruginoso laterítico, apenas água e cimento nas proporções de interesse ao estudo, já consagradas em estudos anteriores, o que permite obter resistências bastante satisfatórias, até então desconhecidas, com este tipo de agregado, o conglomerado ferruginoso laterítico. Dessa forma, evita-se buscar agregado miúdo em depósitos aluvionares de rios.

No estudo de um concreto, os agregados fundamentalmente desempenham um importante significado na mistura com argamassas, quer do ponto de vista econômico como do ponto de vista técnico, pois ocupam, no mínimo, cerca de $\frac{3}{4}$ do volume do concreto, influenciando consideravelmente nas propriedades, quer do concreto fresco como do concreto endurecido, conforme PETRUCCI (1973).

No ano de 2008 foi dado conhecimento ao meio acadêmico de um estudo de mestrado, OLIVEIRA (2008), sobre o “Comportamento Geotecnológico de Lateritas de S. Luís, no estado do Maranhão”, onde foi investigado a resistência do concreto utilizando o cimento Portland, usando vários tipos de agregados lateríticos.

O concreto moldado com base no agregado laterítico e denominado de conglomerado ferruginoso atingiu resistência máxima no valor de até 34,25 MPa, quando moldado com fator a/c (água cimento) de 0,45 e traço 1:6.

Naquele estudo de 2008, o conglomerado ferruginoso laterítico, atingiu resistência no valor de 33,97 MPa, quando moldado com fator a/c (água cimento) de 0,45 e traço 1:4. Esses resultados foram considerados surpreendentes e de resistência satisfatória quando comparado à resistência do concreto moldado à base de brita granítica da cidade de Rosário no estado do Maranhão, em que foi também utilizado o mesmo agregado miúdo, do conglomerado ferruginoso laterítico, a partir do diâmetro 4,8 mm até 0,15 mm.

A região metropolitana de S. Luís do Maranhão é uma amostra do crescimento urbano brasileiro fazendo conseqüentemente aumentar a demanda de materiais para fins de construção civil trazendo a necessidade de pesquisas, que objetivem conhecer as

características tecnológicas dos materiais pétreos, denominados de rocha laterítica e que ocorre abundantemente na ilha de S. Luís, no estado do Maranhão.

O concreto moldado com base na brita granítica de Rosário no estado do Maranhão atingiu resistência de 34,20 MPa, tendo sido moldado com fator de a/c de 0,45 e traço 1:4 e sendo utilizado agregado fino do próprio conglomerado ferruginoso laterítico.

Especificamente sobre a região de S. Luís, no estado do Maranhão, foram executadas, pelo autor do presente estudo e no passado, pesquisas a respeito do material pétreo laterítico, de tal forma a hierarquizar o uso dessas lateritas em função da qualidade dos materiais, com base em ensaios tecnológicos, físico-mecânicos e químico-geológicos, onde ficou patente a excelente qualidade do material pétreo identificado como conglomerado ferruginoso laterítico (agregado laterítico), cuja denominação popular é conhecida na região como pedra caroço e pedra couro de sapo OLIVEIRA, (2008).

Ainda pode ser destacado que, na britagem do conglomerado ferruginoso laterítico, se efetuadas as pertinentes correções granulométricas do material britado, com o mesmo material da própria britagem, poderão ser atingidos resultados ainda mais satisfatórios, conforme serão demonstrados no presente estudo.

As correções granulométricas foram efetuadas com base na curva granulométrica teórica de “FULLER”, que representa uma curva granulométrica ideal para se obter um concreto com o menor índice de vazios e conseqüentemente maior resistência, devido a maior coesão dos componentes, em face ao arranjo interno entre os agregados, graúdos e miúdos.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVAS DO ESTUDO

A não ocorrência de rocha tradicionalmente apropriada à obtenção de brita granítica, aliada a inexistência de seixos rolados em distâncias econômicas, tem encarecido as obras de concreto na ilha de S. Luís, no estado do Maranhão. Essa circunstância tem obrigado os construtores da região recorrerem à brita localizada fora da ilha de S. Luís, a 70 km de distância, na localidade Rosário, também no estado do

Maranhão, a preço elevado, reflexo do custo de transporte, normalmente feito por rodovia.

Tal fato tem incitado os pesquisadores, construtores e administradores a procurarem no agregado laterítico da região, em face a sua grande abundância na região, um substituto da brita granítica nas obras onde a resistência exigida para o concreto não seja muito rigorosa.

Destarte, os resultados de valores encontrados na resistência do concreto moldados a base de agregado laterítico, conforme pesquisa anterior e atual desenvolvida por OLIVEIRA (2008), revelaram que os resultados encontrados são bastante animadores.

O acervo bibliográfico demonstra a evolução das pesquisas sobre o agregado laterítico em que já se conseguiram resistências bastante promissoras com o objetivo de usar este agregado em estruturas de maior responsabilidade, quando apropriadamente selecionadas as lateritas de melhor qualidade.

Melhor qualidade do concreto usando agregado laterítico ainda se conseguiu adicionando sílica ativa e super plastificante na produção de concretos estruturais duráveis, CHAGAS FILHO (2005).

Neste estudo, o processo de aproveitamento do conglomerado ferruginoso laterítico foi através da britagem tal como saiu do britador e utilizando toda fração britada e aproveitando tanto o agregado graúdo como o agregado fino e assim tendo um material, cuja granulometria resulta numa curva granulométrica “quase idêntica” à curva granulométrica teórica de “FULLER”, revelando uma massa de concreto bastante densa, uma vez que minimizou os vazios da massa, onde se aloja a pasta de cimento e o material fino. A curva granulométrica teórica de “FULLER”, foi dotada como referência, ou indicador comparativo aos demais materiais/agregados pétreos pesquisados, no caso, o conglomerado ferruginoso laterítico.

Aqui se faz necessário esclarecer a contento, que a curva granulométrica teórica de “FULLER” é matematicamente ideal, porque traduz como as partículas sólidas podem estar alojadas/arranjadas espacialmente dentro do corpo de prova, ou mesmo dentro de uma massa de concreto lançada em uma obra, oferecendo uma massa de sólidos com um menor índice de vazios, bastante densa, conseqüentemente e naturalmente com ótimo índice de compactação, o que permite obter uma maior resistência do concreto.

Merece ainda destaque o fato do agregado, no caso o conglomerado ferruginoso laterítico, poder ainda receber correções em sua curva granulométrica quando britado e do mesmo material, de tal forma a se buscar uma aproximação mais perfeita, ou até “perfeitamente semelhante” a curva teórica de “FULLER”, adicionando-se material faltante e retirando-se excesso de material, de tal forma a quase se equiparar a curva teórica de “FULLER” e assim se obtendo um conjunto granulométrico ideal para a fabricação do concreto e conseqüentemente com maior resistência.

Com relação aos ensaios de resistência uniaxial dos corpos de prova moldados em concreto foram os mesmos rompidos, comparativamente, usando-se para tal, corpos de concreto moldados à base de brita granítica, da localidade de Rosário, no estado do Maranhão e corpos de prova moldados a base conglomerado ferruginoso laterítico de S.Luís, no mesmo estado da Federação. No concreto moldado a base de agregado gráudo granítico foi utilizado como agregado miúdo o conglomerado ferruginoso laterítico britado no britador primário e secundário, para exatamente se ter uma comparação de resistência do concreto usando os agregados de materiais graníticos e sedimentares.

Pode ser destacado que não houve interesse em buscar areia lavada, ou seixos rolados de rios em suas pertinentes granulometrias desejáveis em um concreto, porque o conglomerado ferruginoso laterítico, ao ser britado faz com que a fração de agregado fino se desgarre da cimentação dos óxidos ferruginosos vindo a oferecer o dito agregado fino, cuja granulometria se inicia com diâmetro de 4,8 mm, (peneira 4 – ASTM) e termina com diâmetro de 0,15 mm, (peneira 100 – ASTM).

Para avaliação comparativa de resistência do agregado não convencional, no caso o conglomerado ferruginoso laterítico e a resistência do agregado convencional foi utilizado o Tonalito (brita granítica), que é uma rocha ígnea/magmática do município de Rosário, no estado do Maranhão, cuja lavra da jazida fica localizada a 70 Km de distância.

Esta rocha granítica de Rosário, possui 116,5MPa de resistência a compressão uniaxial, segundo a norma (NBR 6953/90). Possui 5731 m/s de velocidade de propagação da onda ultrassônica, segundo a norma (NBR 8802/94). No que tange aos índices físicos apresentou 2,814 (massa específica aparente), 0,19% (porosidade

aparente) e 0,03% (absorção de água). Trata - se de uma rocha com excelentes características geotecnológicas para uso em concreto de cimento Portland.

Para uma simples e resumida comparação o conglomerado ferruginoso laterítico, objeto deste estudo, possui resistência máxima a compressão uniaxial em 45,0 MPa. No que tange à velocidade de propagação da onda ultrassônica atingiu o valor máximo de 3251 m/s. Quanto a (massa específica aparente) apresentou um máximo de 2,69 g/cm³ e mínimo de 2,39 g/cm³, com (porosidade aparente) de 9,40% e absorção média de água 3,69%.

Então, comparativamente os materiais divergem, mas a intensificação dos estudos sobre o conglomerado ferruginoso laterítico demonstram que um material não convencional e menos resistente, desde que devidamente tratado, pode ser muito útil para uso na região de S. Luís, principalmente tendo em vista a falta de material pétreo granítico nesta ilha. As vantagens que o conglomerado ferruginoso laterítico apresenta são relacionadas aos seguintes aspectos:

- ocorrências de jazidas próximo ao local do aproveitamento e dentro da ilha de S. Luís;
- o conglomerado ferruginoso laterítico não apresenta reação química relativo aos álcalis do cimento Portland;
- o conglomerado ferruginoso laterítico quando britado para aproveitamento em concreto de cimento Portland fornece em sua granulometria o agregado fino e o agregado graúdo e assim evitando a busca de areias lavadas em jazidas ou curso de rios, o que faria diminuir o impacto ambiental na ilha de S.Luís;
- ao conglomerado ferruginoso laterítico foi somente adicionado água e cimento nas proporções convencionais e estabelecidas no presente estudo.
- o conglomerado ferruginoso laterítico moldado no concreto de cimento Portland, quando rompido segundo a compressão uniaxial apresentou resistência bastante satisfatória.

1.3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DO PROBLEMA

O interesse por estudar laterita foi despertado pelo autor em 1976. Durante quase três (03) décadas foram realizados vários estudos publicados em Anais

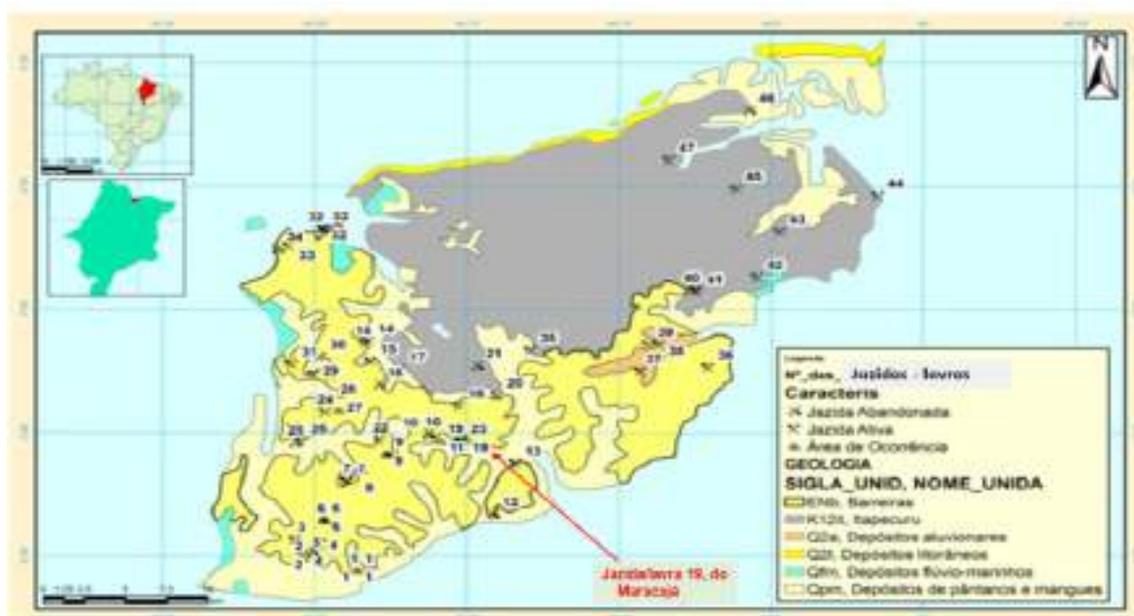
de Congressos, Seminários, Simpósios e culminando com defesa de uma dissertação de Mestrado no ano de 2008, no Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Os estudos, no passado, tiveram resultados importantes e foram apresentados na referida dissertação de Mestrado, onde foram abordados os aspectos físicos, químicos, mecânicos e geológicos referentes aos cinco (5) tipos de laterita da ilha de S. Luís (MA), em cujo estudo foi sugerida uma pesquisa a ser desenvolvida e considerando o tipo Conglomerado Ferruginoso Laterítico (agregado laterítico), aqui desenvolvido, de tal forma a se conhecer mais detalhadamente a potencialidade dessa rocha laterítica, que apresentou, comparativamente a outras rochas lateríticas da ilha de S. Luís, melhores características físicas e mecânicas. O presente estudo foi constituído de uma análise de mapas geológicos da área, análise de sensoriamento remoto associada com a interpretação de imagens digitais do sensor LANDSAT 5-TM, por meio dos aplicativos ENVI 5.0 e Arc Gis 9.3.

Seguiu-se a esse trabalho de Sensoriamento Remoto, um intenso trabalho de campo, por um período de 3 meses em que foram cadastrados 47 pontos/jazidas/lavras dos diferentes tipos de agregado laterítico existentes na Ilha de S. Luís, no estado do Maranhão, conforme Figura 1.1.

Nesse contexto foram cadastradas áreas de ocorrências lateritas, áreas de extração de lateritas, desativadas e áreas de extração ativas, conforme indicado em mapa com legenda pertinente. O conglomerado ferruginoso laterítico (laterita), principal objeto do presente estudo, ocorre na jazida do Maracujá, tendo sido aí coletado o agregado/material pétreo laterítico para todo o desenvolvimento dos estudos e ensaios tecnológicos. A jazida/lavra do Maracujá, a de número 19, está também indicada no mapa de localização dos pontos/jazidas/lavras da referida ilha de S. Luís, conforme Figura 1.1.

No Anexo 1 são apresentadas as coordenadas de todos os 47 pontos/jazidas/lavras cadastrados. No Anexo 2, são apresentadas fotos gerais do estudo.



Fonte: CPRM, (2004)

Figura 1.1 - Configuração das 47 jazidas/pontos/lavras num mapa geológico da Ilha de S. Luís - MA na escala 1:250.000, destacando a localização da jazida/lavra 19 de nome Maracujá, onde foram concentrados os estudos.

1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

A localização da área de estudo está na ilha de S. Luís do Maranhão, conforme Figura 1.1 e compreende uma área de 905 km², sendo limitada a noroeste pelo baixo rio Bacanga e pela Baía de S. Marcos a oeste, onde se encontra a cidade de mesmo nome, S. Luís capital do estado do Maranhão. Nessa ilha, as lateritas ocorrem nas porções oeste e sudeste da Ilha do Maranhão, nos pacotes sedimentares do Grupo Itapecuru e do Grupo Barreiras. Sobre o Grupo Barreiras para discussão acadêmica científica no sentido de tornar Grupo Barreiras como Formação barreiras e vice-versa. As litologias do quaternário mais recente, mangues, dunas e aluviões fazem-se presentes. Os nódulos lateríticos e blocos de lateritas são encontrados frequentemente na base, na meia encosta e no topo dos tabuleiros e colinas intensamente dissecadas. A exploração da laterita consta de um registro de 47 atividades minerais na Agência Nacional de Mineração

(ANM), além das jazidas /pontos/lavras informais, ambas com destinação para obras de construção civil, de forma manual ou mecanizada com um grande passivo ambiental.

O processo de laterização envolveu o Neógeno e o Quaternário em cujas litologias distinguem se, fácies silto - argilosas, fácies arenosas, fina, média, grossa e pedregulhos e por fim a formação do conglomerado ferruginoso submetido ao processo de laterização.

A identificação no campo possibilita zonestar ocorrências homogêneas de tais materiais, que possuem comportamento físico, químico, mecânico e geológico distintos. A qualidade de todo e qualquer material pétreo da Ilha de S. Luís (MA), depende do intemperismo físico químico diferencial e a qualidade, no que diz respeito a dureza e a sanidade depende da abrangência de tal intemperismo diferencial.

Em função da intensidade desse intemperismo resulta uma petrificação diferenciada da rocha, e, conseqüentemente, ocorrem frações mais coerentes (duras) e frações incoerentes (mais brandas). O presente estudo aguarda que o meio acadêmico-científico possa emitir a subdivisão do Grupo Barreiras e suas respectivas Formações Geológicas, para um perfeito e exato posicionamento das ocorrências de lateritas.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objeto Geral

O presente estudo tem por objetivo geral principal a aplicação ou uso do conglomerado ferruginoso laterítico (agregado pétreo) no concreto, quando moldado com o cimento Portland, tendo como referência estudos anteriores. Esse conglomerado é designado popularmente de pedra caroço/couro de sapo e foi extraído da jazida do Maracujá, a de numero 19, localizada na ilha de S. Luís (MA), conforme indicada na Figura 1.1.

Neste estudo foi adotado o conglomerado ferruginoso laterítico, sendo o mesmo britado e fornecendo em função da abertura do britador, a brita 0, que tem finura entre 2,36 a 12,5 mm, a brita 01, que tem a finura entre 4,75 a 25 a 25 mm e a brita 02, que tem a finura entre 9,5 a 31,5 mm aproximadamente.

A finura normalizada da brita para concreto possui as seguintes dimensões:

Brita 0 - a finura é de 2,36 a 12,5 mm

Brita 01 - a finura é de 4,75 a 25 mm

Brita 02 - a finura é de 9,5 a 31,5 mm

Brita 03 - a finura é de 19 a 50 mm

Brita 04 - a finura é de 38 a 75 mm

Fonte: Frank Cabral de Freitas Amaral (ITA)

A britagem ainda forneceu todo o conjunto de areias, a areia fina, a areia grossa, com finura entre 0,15 a 2,4 mm e o pedregulho com finura acima de 2,4mm.

Foi adotada uma correção da curva granulométrica com vistas a se ter uma curva mais próxima da curva teórica de “FULLER”. Nesse procedimento adicionou-se 50 % de agregado fino no conglomerado ferruginoso rebitado com diâmetro de 1” (1 polegada), resultante do britador secundário e destacando, que antes, o referido material foi rebitado com diâmetro de 1” (1 polegada) e já tinha sido bitado antes num britador primário com diâmetro de 2” (2 polegadas). Os 50% de agregado fino acima referido e adicionado na massa de agregado foi exatamente o material passante na peneira 4,8mm e equivalente a peneira 4 (ASTM)

Esse procedimento de submeter o agregado passando primeiro no britador primário e depois passando no britador secundário foi adotado para garantir a melhor qualidade/sanidade do agregado utilizado, de tal forma que tal procedimento pudesse eliminar ao máximo as frações alteradas do conglomerado ferruginoso laterítico (agregado), ditadas pelo intemperismo diferencial e que pudessem influenciar na resistência final do concreto. Se é retirado ou esfarelado do agregado, pelo processo de britagem, a fração alterada pelo intemperismo do material, ter-se-á um material resultante, praticamente sem alteração e conseqüentemente produzindo um agregado grosso e fino de melhor qualidade.

No ensaio de granulometria executado com o conglomerado ferruginoso laterítico com abertura das mandíbulas do britador primário regulado para fornecer no britador primário brita de 50,8 mm e no britador secundário regulado para fornecer brita de 25,4 mm, ficou constatado em função da Figura 5.44, que na curva granulométrica do conglomerado ferruginoso laterítico entre as peneiras 30 (0,6 mm) e peneira 4 (4,8

mm) tem falta de material pertinente a esse intervalo, o que indica que poderia ser acrescido material pétreo (agregado) faltante da mesma litologia, de tal forma a coincidir com a curva teórica de “FULLER” e assim melhorando o arranjo interno dos componentes. Assim sendo obteve-se um conglomerado ferruginoso laterítico mais compacto no corpo de prova e conseqüentemente obteve-se maior resistência do corpo de prova do concreto elaborado à base de cimento Portland.

Entre as peneiras 3/8” (9,6 mm) e peneira 3/4” (19,1 mm), sobra material e deve ser retirado o material de tal forma a coincidir com a curva teórica de “FULLER”. Essa observação posta pode-se dizer que diminuir e aumentar percentualmente os componentes granulométricos onde necessários, dentro dos limites desses citados diâmetros é possível obter um material mais coincidente com a curva teórica de “FULLER” e conseqüentemente maiores resistências serão atingidas com base na compressão axial simples do concreto de cimento Portland em função de um arranjo interno mais perfeito e com maior coesão.

A partir da realização dos ensaios de granulometria é possível verificar que quando se diminui a abertura da mandíbula do britador, a partir de 50,8 mm, ou 2” (duas polegadas) a curva granulométrica tende a se aproximar da curva ideal de “FULLER”, como pode ser visto na curva granulométrica, Figura 5.44, em que as mandíbulas do britador foram reguladas para dar uma abertura de 50,8 mm, na britagem primária e 25,4 mm, na britagem secundária.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Elaborar um mapa identificatório das áreas, ou pontos/jazidas/lavras, onde ocorre laterita na ilha de S. Luís, no estado do Maranhão, com base em caminhamentos de superfície.

- Reavaliar o comportamento físico, químico, mecânico e geológico referente ao conglomerado ferruginoso laterítico, com base na análise petrográfica ao microscópio de luz polarizada e refletida, microscopia eletrônica de varredura (MEV), microtomografia computadorizada, análise química ao raio X pelo método da fluorescência, análise microscópica de força atômica/espectrometria atômica e análise difratométrica de raios X.

- Analisar através de ensaio de granulometria o conglomerado ferruginoso laterítico, no que tange às frações graúdas e finas, comparativamente à curva teórica de “FULLER”, que foi uma referência para comparação entre as curvas granulométricas obtidas, quando se efetuaram as britagens mecânicas com mandíbulas do britador reguladas para diâmetros de 2” (duas polegadas), 1 ½ (uma polegada e meia) e 1” (uma polegada).

- Obter, analisar e comparar resultados do comportamento relativo à compressão axial simples do conglomerado ferruginoso laterítico, quer quando moldados e rompidos os corpos de prova de concreto com cimento Portland, considerando o traço na proporção cimento/agregado 1:4 e 1:6 e fator água cimento 0,45 e 0,50, quer quando rompidos os testemunhos de sondagens (tarugos) obtidos das amostras do mesmo conglomerado ferruginoso laterítico, relativo a compressão axial simples e puntiforme.

- Obter, analisar e comparar resultados da resistência à compressão axial simples, quando utilizado o granito/tonalito de Rosário no estado do Maranhão, usando o conglomerado ferruginoso laterítico, da Ilha de S. Luís, quando moldados em corpos de prova rompidos em concreto de cimento Portland e considerando o mesmo traço e fator água cimento para ambos, tanto para o agregado denominado conglomerado ferruginoso laterítico, como para o agregado denominado tonalito/granito. Destaque é dado ao uso do agregado fino aproveitado do próprio conglomerado ferruginoso laterítico, que quando britado e usado/misturado no corpo de prova do granito/tonalito de Rosário, promove a substituição da areia lavada e, assim, evita-se a busca desse material nos aluviões dos rios da região. Assim foi feito exatamente para aproximar e igualar o material fino utilizado, tanto na rocha sedimentar (conglomerado ferruginoso laterítico), como na rocha granítica e nos seguintes e exatos termos:

a) ao agregado graúdo da rocha granítica de Rosário, depois de ser submetido ao britador primário, com abertura das mandíbulas reguladas em 2” e seguido pela passagem pelo britador secundário, com abertura das mandíbulas reguladas em 1”, foi misturado agregado fino da rocha sedimentar, o conglomerado ferruginoso laterítico, material este contido entre a peneira 4 (medindo 4,8 mm) e a peneira 40 (medindo 0,42 mm).

b) ao agregado graúdo da rocha sedimentar referente ao conglomerado ferruginoso laterítico, depois de ser submetido ao britador primário, com abertura das mandíbulas reguladas em 2” e seguido pela passagem pelo britador secundário, com

abertura das mandíbilas reguladas em 1", também foi misturado agregado fino da própria rocha sedimentar, o conglomerado ferruginoso laterítico, material este contido entre a peneira 4 (medindo 4,8 mm) e a peneira 40 (medindo 0,42 mm).

1.6 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO ESTUDO

O estudo desenvolvido poderia estar na qualificação do ineditismo pelas seguintes e compreensíveis razões que seguem.

É uma prática aceitável fazer correção granulométrica, ou mesmo adição granulométrica, em uma massa com adição de agregados graúdos e miúdos e objetivando a obtenção de uma massa sólida, com menor índices de vazios e tendo uma economicidade de cimento e aumento da resistência de um concreto de cimento Portland.

O material pétreo da ilha de S. Luís, no caso o conglomerado ferruginoso laterítico foi ensaiado ou usado tal como saiu do britador e assim sendo esse material esteve susceptível de receber correções granulométricas, tal como acima explicitado e exatamente para se conseguir economicidade e aumento de resistência, o que foi conseguido. Contudo, a correção granulométrica foi elaborada com o mesmo material obtido na britagem, o que é surpreendente.

O material pétreo da ilha de Luís no estado do Maranhão foi neste estudo designado de conglomerado ferruginoso laterítico, sendo geneticamente uma laterita, conforme suas características químicas obtidas em laboratório. O material pétreo laterítico é utilizado em várias partes do mundo, sendo aquele destinado à construção civil. No entanto, este material também ocorre na referida ilha e quando britado produz uma curva granulométrica em que fornece constituintes denominados agregados graúdos e finos em proporções bastante convenientes, quando sua análise granulométrica é comparada a curva teórica de "Fuller", tida como uma curva ideal granulometricamente, pois reproduz um percentual de materiais graúdos e finos em que oferece uma massa granular arranjada em um corpo de prova com um ótimo e menor índice de vazios e que oferece, por ter menor índice de vazios no seu arranjo, uma alta resistência ao concreto de cimento Portland, quando moldado com o material advindo da britagem do conglomerado ferruginoso laterítico.

Ora, a referida Ilha contém vários tipos de laterita, com diferentes granulometrias na a sua gênese e com incomensurável volume, que se britados poderão trazer material suficiente para corrigir, as reais e possíveis deficiências relativas às curvas granulométricas do conglomerado ferruginoso laterítico (laterita)) e tendo como referência a curva teórica de “Fuller”. Outras contribuições inéditas foram consolidadas, uma vez que não consta, no cenário científico e tecnológico, indicações ou elementos químico-geológicos e físico-mecânicos levados até o nível do presente estudo, conforme está demonstrado nos capítulos seguintes.

Na ilha de S.Luís existe um significativo volume de material pétreo laterítico e que, se devidamente trabalhado com base científica e tecnológica, poderá trazer um grande uma contribuição social para a população carente.

Por se tratar de um primeiro estudo elaborado nos termos acima expostos pode ser identificada uma pesquisa dotada de ineditismo .

1.7 ESTRUTURA DA TESE/ESCOPO DO ESTUDO

Este estudo está organizado em seis (6) capítulos, além das referências bibliográficas e dos anexos, incluindo uma série de fotos, exclusivamente tomadas em campo e em laboratórios, palcos dos ensaios tecnológicos.

O Capítulo 1 compreende esta introdução onde foram esclarecidas as motivações para o estudo, além do enunciado do objetivo inicial que foi alcançado. A metodologia empregada e o aspecto inédito do estudo são brevemente comentados.

O Capítulo 2 aborda uma revisão bibliográfica concentrada no conhecimento do problema, quer de ordem nacional, quer de ordem internacional, onde são inicialmente abordadas as jazidas de laterita no Brasil e no Mundo, obtenção de agregados lateríticos, com mapas ilustrativos, conceitos da gênese e geoquímica das lateritas, aspectos geomecânicos das rochas sedimentares, algumas propriedades principais do concreto fresco de interesse ao estudo, resistência do concreto, características do cimento Portland, processos de produção do cimento, processos de investigação referente a agregados/material pétreo e critérios para avaliar a qualidade da rocha e materiais pétreos para uso na construção civil.

O Capítulo 3 apresenta os tipos de materiais principais empregados no estudo, contemplando suas características físicas, químicas, mecânicas e geológicas com detalhamento específico contido no Capítulo 5, denominado apresentação dos resultados. Especial atenção é dada neste Capítulo 3, referente aos aspectos legais da atividade minerária na Ilha de S. Luís no estado do Maranhão.

No Capítulo 4 faz-se apresentação da caracterização da área de estudo do ponto de vista fisiográfico, climático, da vegetação e da geomorfologia. Inclui-se todo o contexto geológico estrutural, estratigráfico e sedimentar. Por fim, é apresentado um contexto relacionado ao sensoriamento remoto através de imagens de Landsat, a partir do processamento digital de imagens analógicas do sensor T.M (*thematic mapper*).

No Capítulo 5 faz-se a apresentação e a discussão dos resultados obtidos apresentando as características do material pétreo (agregado laterítico), do ponto de vista químico, físico, mecânico e geológico. Foram abordados os resultados conseguidos, comparando-os ao longo do estudo, dando-se ênfase nas resistências finais aos 28 dias de cura alcançadas a partir de diferentes curvas granulométricas, cujo material resultante da britagem foi aproveitado como agregado laterítico na massa de concreto misturada com cimento e água nas devidas proporções, considerando o traço e fator água cimento, normalmente de praxe, utilizadas ao longo do estudo e de outros estudos contemplados na literatura técnica de acordo com a revisão bibliográfica realizada e apontada ao final do texto do estudo. Foram incluídas e abordadas adoções de novas tecnologias ou novos tipos de ensaios consagrados dentro do contexto científico e tecnológico, porém alguns deles com resultados inaplicáveis, até onde foram entendidos, uma vez que perdem resolução específica, quando comparados com metodologias já consagradas no meio tecnológico e pertinente ao tema de estudo. Estas novas tecnologias, microscopia eletrônica de varredura, microscopia de força atômica, microtomografia computadorizada ao raio X, trazem um conhecimento como uma novidade aplicada ao ramo da geologia e tecnologia de concreto, porém não superam as tecnologias atualmente e aceitas. Num futuro próximo certamente poder-se-á contar com essas novas alternativas. Sem dúvida, não se pode deixar de comentar que a microscopia eletrônica de varredura tem relativa importância na caracterização do concreto, sendo usada atualmente no nível mundial. A discussão sobre novas tecnologias é um assunto que se, discutido com maior profundidade, fugiria do escopo do presente estudo, embora pode-se entender como altamente pertinente.

O Capítulo 6 conclui com uma síntese dos principais resultados obtidos e apresenta sugestões para o aprofundamento e prosseguimento da pesquisa.

Por fim, o estudo apresenta referências bibliográficas e alguns anexos, onde são apresentados elementos dos pontos/jazidas/lavras existentes na ilha de S. Luís do Maranhão e fotos gerais (Figuras), de campo e dos ensaios de laboratório realizados no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) e na COPPE da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro).

CAPÍTULO 2 - CONHECIMENTO DO PROBLEMA

O estudo deparou-se com problemas de ordem sócio econômica e tecnológica, dando ênfase à falta de conhecimento adequado das verdadeiras e exatas características físicas, químicas, mecânicas e geológicas dos materiais de construção da ilha de S. Luís, no estado do Maranhão. O mais impactante é a subutilização, ou utilização empírica e inadequada dos materiais a serem usados na construção civil na ilha de S. Luís. Na questão econômica destaca-se a inexistência de material pétreo granítico, que ocorre a 70 km. de distância, em Rosário, e assim encarecendo o produto. Na questão social, destaca-se a imensa quantidade de trabalhadores sem registro legal explorando as jazidas.

Usa-se material de boa qualidade em obras de menor responsabilidade, e usa-se material de qualidade inferior em obras de maior responsabilidade. Esse conceito poderia ser mais bem detalhado, porém distancia-se dos objetivos do estudo.

Foi abordado no presente capítulo a situação mundial aproximada do uso da laterita, principalmente nas universidades da África e da Índia, em convênios com universidades Americanas. Dá-se destaque ao fato de que essas populações também possuem baixo poder aquisitivo.

Então, o aprofundamento e o conhecimento tecnológico dos materiais pétreos laterítico prestam uma significativa contribuição ao mundo, no domínio dos trópicos, onde sobressai o clima tropical com processo de laterização plenamente estabelecido.

Outro aspecto a ser salientado trata-se da questão multidisciplinar do presente estudo e das relações existentes entre as disciplinas envolvidas. Buscou-se apoio na química, na física, na mecânica e na geologia, para diante de uma interrelação disciplinar, para correlação buscar justificativas para o comportamento da resistência do conglomerado ferruginoso laterítico, quando moldados em corpos de prova em concreto de cimento Portland, tal como saiu do britador e considerando as proporções de cimento e água, conforme os traços convencionados, permitindo, assim, prover as justificativas técnicas relacionadas ao comportamento final da resistência do concreto. A disciplina geologia de engenharia tem sido utilizada de forma precária, ou limitada nos trabalhos científicos que foram acessados durante a presente pesquisa. Nesse estudo

foi dado destaque nessa área de conhecimento, exatamente quando se estabelece a conexão entre a geologia e a engenharia civil.

Foi pertinente discorrer sobre o cimento Portland, relacionando as principais propriedades do concreto fresco, resistência do concreto e métodos de exploração de campo referente ao material pétreo e, principalmente, calcário para uso em cimento assuntos, esses relacionados ao tema do estudo.

Por fim, cabe mencionar que o estudo foi buscar suporte na temática de sensoriamento remoto para melhor visualização das ocorrências de laterita por meio de imagens através de imagens adquiridas pela plataforma satelital de Landsat, permitindo o processamento digital de imagens do sensor T. M (*thematic mapper*).

2.1 JAZIDAS DE LATERITAS NO BRASIL E NO MUNDO

Cerca de 40% das terras emersas do globo terrestre são recobertas por lateritas. No Brasil, as lateritas recobrem perto de 65% da área total do país, MELFI, (1977). Apesar da existência de grande extensão deste material no nosso país, as jazidas de lateritas existentes são pouco utilizadas para o concreto. Esse fato deve-se principalmente à falta de conhecimentos científicos no uso desse material laterítico. Se maior conhecimento houver, poderá ser mais bem utilizado na construção civil. O conhecimento científico é de uso prático na engenharia civil, possibilitando inclusive beneficiar outros países que disponham desse material.

Como se sabe, a região Amazônica representa 40% do território do continente sul – americano. Nela encontram-se lateritas em grandes quantidades. Uma característica particular que estimula o uso das lateritas na região norte do Brasil, é que inexistente brita granítica em grande parte dos 3.869.637 km², 45% do território brasileiro, que tem uma área total de 8.516. 000 km², CHAGAS FILHO, (2005).

Este insumo, a brita granítica, passa a contribuir para o aumento do custo de produção de obras, tanto pelo material em si mesmo, quanto pelas grandes distâncias de transportes em uma região de alta precipitação pluviométrica e com a presença de rios de grandes volumes de água, dificultando sobremaneira essa atividade.

Na região nordeste do Brasil, com área de 1.561.171 km², 18,3% do território nacional, tem-se disponibilidade de ambos os materiais, tanto a brita granítica como a laterita. Justifica-se o uso da laterita pela sua disponibilidade, tornando-se uma

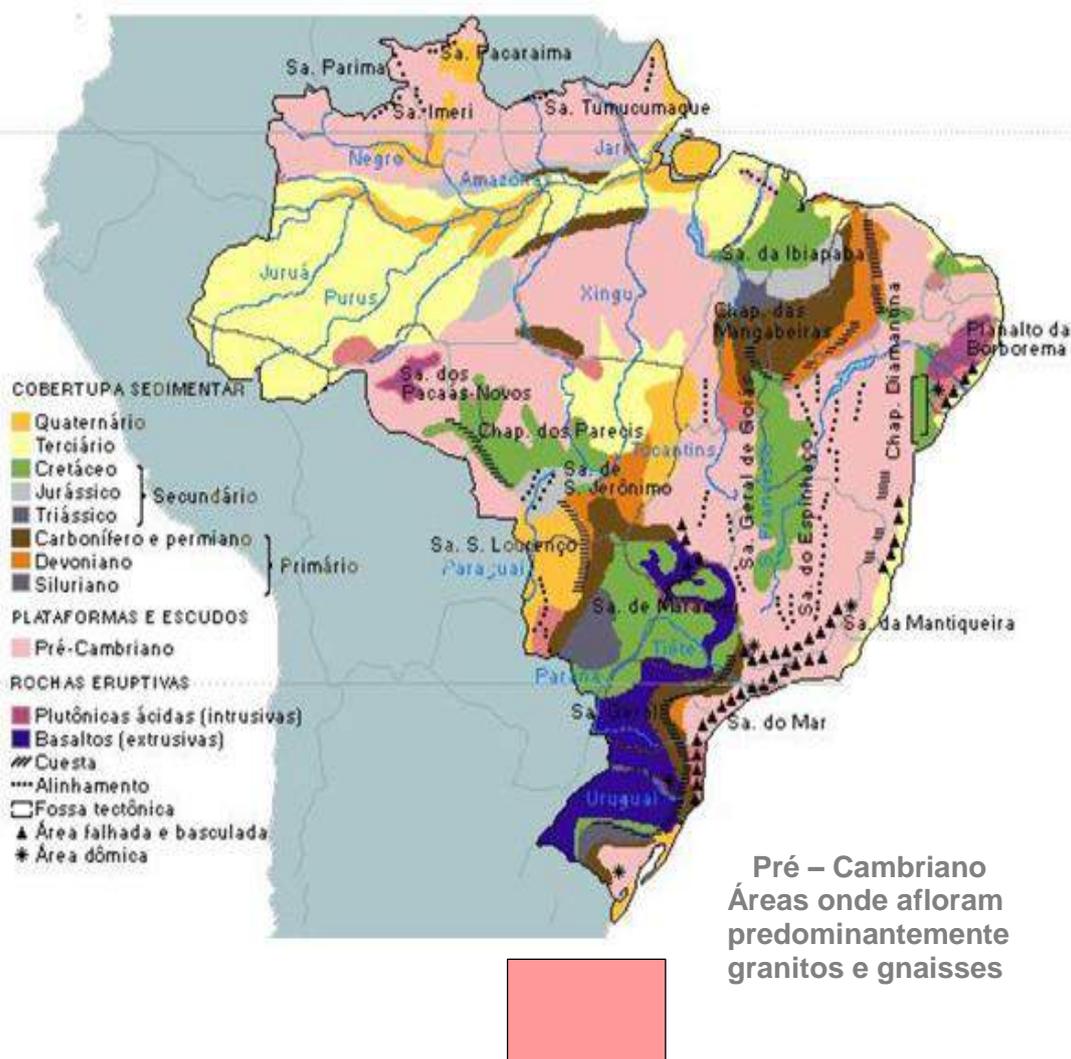
alternativa de barateamento de custo de produção de concreto com elas fabricado, para atender aos 47.693.253 habitantes residem na região, sendo que 50,12% da sua população tem renda familiar de meio salário mínimo, sendo considerada uma das mais pobres do país, CHAGAS FILHO, (2005).

A América do Sul, a África, o norte da Ásia e parte da Oceania possuem grandes reservas de lateritas. Esse material alternativo para construção civil, sem dúvida pode contribuir com benefícios socioeconômicos com barateamento das construções.

2.2 O CONCRETO LATERÍTICO NO BRASIL E DIFICULDADES NA OBTENÇÃO DE SEUS AGREGADOS

O uso de laterita no concreto de cimento Portland é uma alternativa de aplicação em regiões destituídas de material pétreo granítico e abundância das lateritas. Reconhecidamente, o Brasil possui grande tecnologia na fabricação do concreto. Assim sendo a laterita deverá obrigatoriamente estar contido na cadeia dos estudos tecnológicos.

A Figura 2.1, mostra a região de ocorrência de rochas graníticas.



Fonte :DNPM, (1987) (Departamento nacional de produção mineral, atual ANM (Agência Nacional de Mineração))

Figura 2.1 - Mapa do cristalino, áreas do Brasil onde afloram predominantemente granitos e gnaisses. Modificado do mapa geológico do Brasil na escala 1:1000.000.

A Figura 2.1 mostra as áreas do Brasil onde afloram predominantemente os granitos e gnaisses, constituindo os escudos. Ao norte é observado o escudo guiano, enquanto no centro, o central, e, próximo à costa, o escudo litorâneo, achando-se, separados por bacias sedimentares antigas de idades variadas. Dentro dessas áreas dos escudos ocorrem corpos batolíticos de rocha granítica.

Pode ser observado que, em uma grande área do território nacional, não ocorrem rochas graníticas, e, acima de tudo deve ser considerada a “distância de transporte” na obtenção de agregados de boa qualidade, no caso, o material granítico.

Pode ser observado, também, que uma grande faixa litorânea, da Bahia ao Maranhão, onde se encontra um contingente elevado de população urbana, com alta demanda construtiva, não possui agregados graníticos, mas possui lateritas.

Dessa forma agregados pétreos alternativos, como é o caso das lateritas de Luís no estado do Maranhão poderá minimizar o custo da construção.

Embora, haja grande disponibilidade de lateritas em jazidas no território nacional e no planeta, as informações sobre as propriedades do concreto laterítico são escassas e limitam-se a poucos pesquisadores, quando comparadas com as informações que existem sobre propriedades do concreto convencional. O conhecimento fundamental do problema é a verificação do material laterítico (laterita), apoiado com base em conhecimento detalhado científico e tecnológico, com vistas à adoção plena desse material como será evidenciado ao longo do trabalho. agregado de concreto de cimento Portland, como será demonstrado.



Fonte: NOGAMI et al (2000).

Figura 2.2 - Mapa de distribuição de solos lateríticos arenosos e argilosos no Brasil. escala 1:1000. 000.

Comparando-se os dois mapas apresentados na Figura 2.1 e na Figura 2.2, verifica-se que o solo laterítico argiloso e arenoso ocorre também dentro de áreas cristalinas, fruto do intenso intemperismo tropical. Revela-se, então, importante destacar a intensa ocorrência de lateritas no território brasileiro.

No Brasil, o primeiro registro oficial do uso da laterita em uma grande obra de engenharia civil, pelo que se conhece da literatura, foi para a construção da UHE de Curuá – Una, próxima a cachoeira do Portão, no rio Curuá – Una, no estado do Pará.

No que se refere a citada UHE, foram realizados no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, uma série de ensaios tecnológicos e estudos de dosagem de concreto para esse local. A laterita, ou arenito/conglomerado com cimento ferruginoso, como foi designado, obteve aprovação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de SP (IPT) para uso como agregado no concreto de cimento Portland, face a uma série de ensaios tecnológicos realizados à época, cujos resultados encontram-se nos certificados, IPT 296.285, 4564 e 276.931.

Os resultados dos estudos desenvolvidos pelo IPT, acima mencionado, mostram que os corpos de prova moldados com vários traços e fator água cimento e atingiram valores bastante satisfatórios, quando misturados com pedra britada 01, 02 e 03, nas seguintes proporções, segundo o estudo de dosagem discriminado a seguir:

Tratou-se de uma mistura de 20% de pedra britada 01, 40% de pedra britada 02 e 40% de pedra britada 03. Cada tipo de pedra britada (agregado laterítico) apresentou sua granulometria específica. Contudo, o que mais interessa no presente estudo é apresentar as resistências finais aos 28 dias dos corpos de prova moldados com diferentes traços e fator água cimento. Aqui apenas apresentam -se os valores do traço 1:5,10 e do fator água cimento de 0,479, atingindo uma resistência de 35 MPa, consumindo 372 kg de cimento por m³ de concreto e *slump test* (abatimento) de 4cm. Esse valor de 35Mpa é bastante satisfatório.

Comparando-se os resultados obtidos em Curuá Una com os resultados obtidos em estudos anteriores, em que foi conseguido um consumo de 362,31 kg de cimento por m³ de concreto, *slump test* (abatimento) de 1 cm, traço 1: 6, fator água cimento de 0,45 e resistência à compressão axial simples de 34,25 MPa, pode-se considerá-los surpreendentes.

Saliente-se que, neste ponto, já se pode verificar uma coerência de resultados entre esses estudos anteriormente elaborados para a UHE de Curuá Una e os resultados deste estudo, ora desenvolvido e relacionado à ilha de S. Luís, no estado do Maranhão.

Ainda no Brasil, através da Universidade Federal da Paraíba, foram iniciados estudos das lateritas como agregado em concreto de cimento Portland, na década de 1970, até os dias de hoje e mais outros estudos, mais recentemente e em convênio com a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Sem dúvida, a Universidade Federal da Paraíba figura como o mais importante centro no trato acadêmico do material laterítico (agregado pétreo).

A seguir, serão apresentados alguns dos estudos já realizados no Brasil sobre concreto laterítico.

SOUZA & FERRAZ, (1975), obteve com lavagem de 3 minutos da laterita uma resistência do concreto de 21,3 MPa. Na lavagem de 9 minutos atingiu-se, 23,6 MPa, enquanto na lavagem de 30 minutos atingiu 25,6 Mpa. Todos os corpos de prova do concreto possuíam como idade de cura, 28 dias e diferentes fatores água cimento e slump. O agregado laterítico foi coletado em jazidas do estado do Maranhão, na região da ilha de São Luís.

POMPEU NETO, (1976), num traço de 1:4 e fator água cimento de 0,40, obteve uma resistência do concreto de 20,5 MPa, com agregado laterítico da jazida de Sapé-Mari, localizada no estado da Paraíba.

ASSIS, (1982), a respeito de uma jazida no Estado do Piauí e com lavagem de 6 minutos e com repaneiramento do material, completamente seco e sem correção do fator água cimento, obteve uma resistência de 31,2 MPa.

CARVALHO, (1984) obteve, com a lavagem de 2 minutos e com o agregado submerso por 24 horas, uma resistência do concreto de 26,0 MPa, com traço de 1:4 e fator água cimento de 0,40. O agregado laterítico foi coletado em jazidas do estado do Maranhão em São Luís. O autor acrescenta que o agregado laterítico possui características físicas adequadas para fabricação de concreto, embora apresente valores de resistência 30% menor que o concreto normal. A análise do corpo de prova rompido com agregado laterítico, revela que o rompimento se dá não somente no concreto, como também no agregado.

CHAGAS FILHO, (1986), com um traço de 1:2, 1:3 e 1:2,7, conseguiu uma resistência aos 28 dias da ordem de 20,0 Mpa, para um concreto usando agregados lateríticos de jazidas dos estados da Paraíba e do Pará. Os agregados foram usados sem lavagem e o concreto possuía 28 dias de idade de cura.

CALDEIRA, (1999), usou a laterita de S. Luís, no estado do Maranhão como material de construção alternativo para uso como agregado em concreto de cimento Portland, sendo esse agregado de notável significado para algumas regiões tropicais do mundo, especialmente onde a qualidade dos materiais tradicionais é pobre, como o norte do Brasil. Neste caso tres conjuntos de concreto foram moldados. O primeiro grupo (A) foi composto somente de laterita como agregado graudo e obteve-se 26,3 MPa em 28 dias; o segundo grupo (B) foi moldado com rocha granítica e se obteve 34,0 MPa em 28 dias; o terceiro grupo (C) foi moldado de forma mixta, laterita e granito e se obteve 29,4 MPa em 28 dias, significando que se conseguiu uma resistencia a compressão ente 20 e 30% menor que o concreto normal, com traço variando nas proporções de 1:5, 1:6, 1:7 e 1:8.

OLIVEIRA, (2008 e 2018) identificou aparentemente todos os tipos de rochas lateríticas de S. Luís, no estado do Maranhão e realizou ensaios de compressão axial simples em corpos de prova de concreto com traços 1:4 e 1:6 e fator água/cimento 0:45 e 0,50. O material pétreo (agregado laterítico) foi todo utilizado tal como saiu do britador, com mandíbulas com aberturas e reguladas para obter agregado laterítico com vários diâmetros máximo, sendo 25,4 mm (1”), 38 mm (½ “) e 50.8 mm (2”), sendo que o material pétreo foi todo aproveitado tal como saiu do britador, fornecendo agregado graudo e fino, sem usar outro material de outra jazida, no caso areias lavadas de rios. Ao material britado foram acrescentados, tão somente água e cimento.

Muitas outras pesquisas foram realizadas e outras estão em realização com as lateritas usando aditivos quimicos plastificantes e cujos resultados são surpreendentes. Há registro também, do uso da laterita com a finalidade de uso em concreto estrutural e estudos complementares com areia laterítica no concreto dopado e estrutural. Esses estudos e trabalhos são registrados, a seguir, na sequência do texto.

CHAGAS FILHO, (1986) apresentou dissertação de mestrado junto a Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, sobre concreções lateríticas, com ênfase em propriedades básicas e sua utilização em vigas estruturais submetidas à flexão simples.

Complementarmente, CHAGAS, (2015) estudou o concreto laterítico dosado com aditivo plastificante à base de lignosulfato em dissertação de mestrado apresentada na Universidade Federal da Paraíba em Campina Grande.

Cabe ainda destacar o trabalho de TRIGO, (2012), quando conduziu estudo da dopagem de agregados para finalidade de uso em concreto estrutural em sua tese de doutorado defendida na Escola de Engenharia de São Carlos (E.E.S.C) - USP – São Carlos – SP.

2.3 CONCRETO LATERÍTICO NO MUNDO

Há disponibilidades de jazidas de laterita no mundo, e as informações sobre o concreto laterítico são bastante evoluídas nas universidades africanas em convênio com universidades americanas, canadenses e européias. A distribuição das regiões de ocorrência de laterita no mundo segundo o mapa mundial na escala 1:5000.000, que pode ser observada nas Figura 2.3.

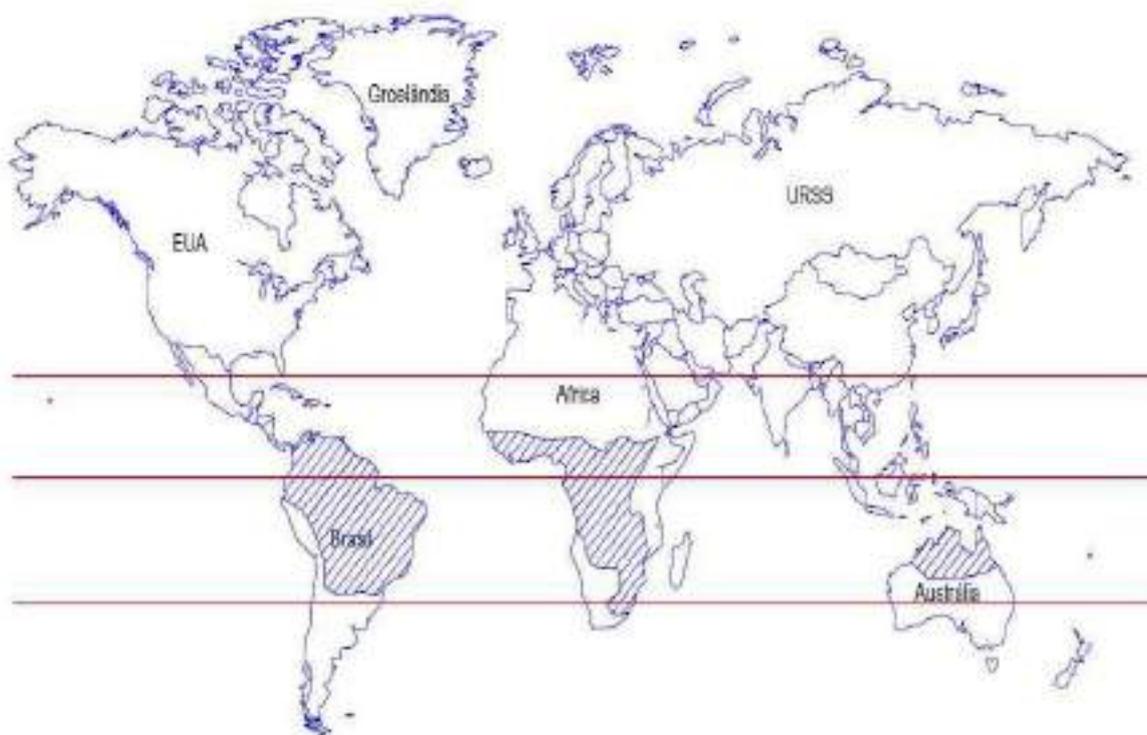


Figura 2.3 - Mapa mundial mostrando as regiões de ocorrência de solos lateríticos.
Fonte: SANTANA e GONTIJO, (1987) e CHAGAS FILHO, (2005).

Alguns conhecimentos do histórico do desenvolvimento dos estudos de agregados lateríticos no mundo em geral para fins de uso em concreto a base de cimento Portland, podem ser verificados nos comentários que seguem.

Na Universidade Port Harcourt, Nigéria em convênio com a Universidade Windsor, no Canadá, levantou-se o seguinte ponto.

1 - Propriedades do concreto fabricado com concreções lateríticas, que trata das características de resistência e de expansão do concreto fabricado com concreções lateríticas alta, média e levemente endurecidas. A resistência à compressão atingiu entre 19 a 42 MPa. A resistência do concreto laterítico foi comparada com a resistência do concreto a base de agregado cristalino da mesma região com média de 35 MPa de resistência. Ainda aduz que a resistência do concreto laterítico depende principalmente da relação ou ligação cimento agregado e que as características físicas do agregado têm importância secundária. Por fim acresce que o concreto laterítico da Nigéria apresenta uma contração quando imerso numa solução de Na OH (sal normal), sendo que esse comportamento é atribuído ao baixo e muito baixo teor em SiO₂.

Os resultados dos estudos revelaram que as concreções lateríticas são fontes naturais alternativas e econômicas de agregados para concreto estrutural.

HUDEC & AKPOKODJE, (1992)

2 - A influência da petrologia nas propriedades das concreções lateríticas (cascalhos) usadas como agregado para concreto, enfatiza que, nos trópicos, o provável desempenho da concreção laterítica como agregado para concreto pode ser melhorado com a compreensão dos fatores que controlam suas propriedades de engenharia.

Os agregados usados na Nigéria foram estudados para avaliar o grau de influência sobre as propriedades de engenharia e assim dois fatores foram levantados e que influenciam grandemente as propriedades físicas e mecânicas da concreção, a saber:

- a) abundantes espaços vazios e fissuras de diferentes extensões.
- b) variação da cimentação por óxidos de ferro influenciando no grau de laterização.

Cascalhos e pisólitos são compostos por 65 a 95% de goethita /hematita e são dominados por espaços vazios. No cascalho, as frações granulométricas de laterita

apresentam poros e uma maior quantidade de quartzo e caolinita. O quartzo mostra fissuras o que reduz ainda mais a resistência dos cascalhos lateríticos.

Os vazios (poros) e fraturas assim como as argilas intersticiais são usualmente os principais responsáveis pela absorção do material pétreo. Em alguns cascalhos lateríticos, a perda de resistência por saturação deve-se principalmente, à fraca cimentação e à presença de argila intersticial.

AKPOKODJE & HUDEC, (1994)

3 - A influência do agregado laterítico grosseiro (graúdo) reforçado por ancoragem (concreto estrutural), salientando-se que muitos fatores são conhecidos e afetam a resistência de ancoragem/aderência em concreto laterítico.

O estudo trata de investigar o efeito da ancoragem/aderência em tipos de concretos moldados à base de agregados grosseiros lateríticos em contraste com o concreto convencional constituído de brita granítica, ambos com 28 dias de cura.

Os dois concretos foram armados com aço e, após 28 dias de cura, foram amostrados através de uma perfuração rotativa de tal forma que pudessem ser verificadas as características da região ou contato da ancoragem/aderência.

A ancoragem e a aderência revelaram-se maiores no concreto moldado à base de agregado grosseiro laterítico quando comparado ao concreto moldado à base de brita convencional (rocha granítica)

OSUNADE (1992)

Na Universidade Malásia Pahang – Faculdade de Engenharia Civil e Ciências da Terra, na Malásia, revelaram o seguinte aspecto:

4 - Avaliação do agregado laterítico no concreto, abordando a integração de novos materiais como substituto parcial de agregado grosso na produção de concreto local. Nesse caso seria capaz de reduzir a alta dependência de granito como agregado na fabricação do concreto que pode levar ao desequilíbrio ecológico, quando esse material natural é usado excessivamente.

Esse trabalho apresenta a avaliação sobre a característica do agregado laterítico da Malásia obtida de vários locais. Misturas de concreto contendo 0%, 10%, 20%, 30%,

40% e 50% de laterita foram moldadas e submetidas à água para uma cura de 7, 14, 28 e 60 dias.

Teste de trabalhabilidade, teste de resistência à compressão, resistência à flexão e exame do módulo de elasticidade foram conduzidos de acordo com a norma existente. Os resultados mostram que a elaboração de um concreto à base de laterita como agregado é capaz de produzir concreto trabalhável com resistência satisfatória. Adição de agregado laterítico entre 10 e 30% substituindo a brita granítica é capaz de produzir uma mistura com força comparável ao concreto simples.

Com base no estudo, pode-se concluir que:

- a) o uso de laterita como agregado laterítico em substituição parcial de agregado grosso granítico tem influência na propriedade de engenharia do concreto;
- b) o estudo descobriu que substituição em 10% de agregado granítico por agregado laterítico pode produzir um concreto laterítico exibindo força comparável com concreto normal;
- c) substituição do agregado granítico por agregado laterítico em até 30% é capaz de produzir um concreto com resistência de até 30 MPa;

KHAIRUNISA, MUTHUSAMY, NORUL WAHIDA AND KAMARUZAMAN (2012)

5 - Na Universidade da Carolina do Norte em Charlotte, 9021 – USA, desenvolve-se um programa experimental para investigar algumas características de resistência do concreto contendo laterita com substituição parcial ou total de areia, que consiste em areia misturada em uma proporção no concreto nas dosagens 1: 2: 4: 0,56 (cimento: areia: agregado grosso: relação água-cimento, respectivamente). No caso, houve substituição por 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de laterita.

Os resultados mostram que o concreto com até 40% de nível de substituição de areia por laterita atingiu a resistência projetada de 20 N/mm^2 , indicando a possibilidade de usar laterita como substituto parcial da areia até esse nível. Observou-se, também, a partir dos resultados, que a trabalhabilidade do concreto de laterita (LATCON) aumenta com o aumento do nível de substituição da areia por laterita.

UDOEYO, F. UDEME, H. IRON, OBASI, O. (2006)

6 - Na Escola de Engenharia Civil, Universidade de SASTRA – Thanjavur 613401 – Índia, foi feita a tentativa de utilização de areia de laterita como um agregado fino em concreto determinando as características de resistência e durabilidade de areias misturadas no concreto.

Lateritas são ricas em sílica tratando-se de um material localmente disponível e de baixo custo. A principal vantagem é que ela pode ser usada com agregado fino no concreto. As propriedades físicas das lateritas investigadas são: peso específico, distribuição de tamanho de partícula e densidade. A mistura do concreto teve 1: 1,5: 3 e foi utilizada para determinar as características de resistência mecânica e durabilidade. A densidade do concreto misturado com laterita aumenta quando a porcentagem de laterita aumenta.

Os resultados do concreto misturado com areia laterítica são comparados com o concreto convencional. 50% de substituição da areia convencional por areia laterítica produz alta resistência à compressão.

A resistência à tração e à flexão aumenta quando a porcentagem de areia laterítica aumenta, enquanto que em 28 dias de cura no ácido HCL, a resistência à compressão diminui.

A resistência à compressão diminui após a cura quando a porcentagem de laterita aumenta. Como resultado do teste de suportabilidade, a absorção de água aumenta, quando a porcentagem de areia laterítica é aumentada.

JENIFER, J.S. & RAMASUNDARAM, S. (2015)

7 - Na Faculdade de Engenharia Civil e Tecnologia da Malásia, um estudo do desempenho do agregado laterítico foi elaborado.

Devido à sua alta demanda, o material usado para a produção de concreto empobrece a cada ano.

Em todo o mundo, novos materiais de construção estão sendo investigados. No supracitado estudo, o agregado laterítico foi usado como substituto parcial do agregado gráudo granítico. Um total de três misturas foram feitas com agregado de granito britado como mistura de agregado laterítico.

Foram usadas as seguintes proporções: concreto com 25% de agregado de laterita e 25% de agregado granítico e adicionando 2,5% de sílica do fumo e 30% de escória substituindo parte do teor de cimento, respectivamente.

O escopo do estudo inclui a investigação sobre a resistência à compressão (resistência à ruptura) e resistência à flexão.

O principal objetivo da Pesquisa foi estudar as propriedades mecânicas do concreto usando o agregado laterítico em comparação com o concreto usando granito britado. Contudo, antes de todos os ensaios as amostras foram testadas utilizando equipamento de velocidade de pulso ultrassônico (UPU).

Os resultados experimentais mostram que a resistência do concreto de laterita é inferior a resistência do concreto à base de granito normalmente britado.

ELAYESH, S.M. (2009)

8 - Em Luanda, no ultramar português, foram realizados ensaios com todo o material laterítico, quer na fração grossa, quer na fração areia. Os resultados encontrados sugerem que não é aconselhável o uso das frações dos solos lateríticos inferiores à peneira 04, nos concretos, visto que se obtém um resistência mais baixa que quando se utilizam areias normais. As boas possibilidades de utilização de concreções lateríticas foram realçadas pela utilização do concreto sem finos. Os resultados obtidos foram extremamente satisfatórios, pois são de ordem de grandeza por vezes superiores àquelas obtidas com brita de calcáreo.

2.4 CONCEITOS, GÊNESE E CARACTERIZAÇÃO DAS LATERITAS

Apresenta-se, a seguir, uma síntese sobre alguns processos de laterização, sua evolução, relação com fatores ambientais e considerações anteriormente realizadas, sobre o estado da arte no Brasil e no exterior, na África, na Ásia e na Índia, onde se tem conhecimentos de estudos.

Desde 1807, quando BUCHANAN fez o primeiro relato sobre uma ocorrência de laterita na Índia e introduziu o termo no meio científico, até os dias atuais, inúmeros pesquisadores, em todo o mundo, vêm desenvolvendo estudos sobre esse material, enfocando-o sob o ponto de vista geológico, geotécnico, hidrogeológico, mineralógico,

geoquímico, pedológico e econômico. Não resta dúvida de que a complexidade dos problemas encontrados no estudo das lateritas tem desafiado a argúcia daqueles que militam nestes campos da ciência, segundo NOGUEIRA, (1988).

2.4.1 Conceitos de Lateritas

O termo laterita foi sugerido por BUCHANAN, em 1807, segundo NOGUEIRA (1988), para designar um material de construção típico das regiões montanhosas de Malabar, ao sul da Índia. Tratava-se de um material ferruginoso que, quando fresco, podia ser cortado facilmente, mas, quando exposto ao ar, endurecia rapidamente adquirindo alta resistência aos processos de alteração. Devido a essa propriedade era utilizado às vezes como tijolo.

Depois de BUCHANAN, a laterita foi descrita por inúmeros geólogos, sempre sobre o ponto de vista de aspectos petrográficos, tanto na Índia como na África, Austrália e América do Sul.

Cabe salientar que o termo laterita tem assumido, ao longo do tempo, significados diferentes e por vezes conflitantes. Dentre os membros que compõem o grupo das lateritas, encontram-se as limonitas níquelíferas, as bauxitas e outros produtos hidróxidos aluminosos que possuem um metal mais importante que os demais. Atribuiu-se, nessa situação, um adjetivo referente ao elemento dominante, como no caso da laterita níquelífera, laterita manganésífera e laterita ferruginosa. Esta última é foco principal do presente estudo.

No que tange à terminologia atualmente empregada pelos pesquisadores, alguns termos tornaram-se já consagrados pelo uso. São eles: “carapaça”, “couraça” ou “crosta”, “ferricrete”, “duricrosta”, “eisenkruste”, “plintita”, “canga limonítica”, entre outros. Os solos de alteração laterítica passaram a ser denominados “latossolos”, “oxisolos”, “caulissolos” ou “solos ferralíticos” NOGUEIRA, (1988).

Segundo SANTANA, (1970) numa colocação bastante coerente emitiram (3) três conceitos distintos e que foram desenvolvidos relativos à laterita, a saber:

a) laterita como concretação ferruginosa (couraça ferruginosa) formada por um processo de endurecimento (encouraçamento) chamado laterização. Esse encouraçamento ocorre em produtos de meteorização tropical de rochas;

b) laterita como sinônimo de solos lateríticos, ricos em sesquióxidos de ferro e alumínio, produtos de alteração, de cor predominantemente vermelha, que cobrem extensas áreas na zona tropical; O processo pedológico que dá origem a esses solos é considerado como laterização;

c) laterita como material de construção, envolvendo concreções ferruginosas e solos possuindo em comum certas características denominadas de lateríticas, independente do processo de laterização.

Os geólogos tendiam para o conceito identificado no item a; os pedólogos para o conceito b; e os engenheiros para o conceito c. Entretanto, mesmo dentro de cada conceito geral, estabeleceram-se profundas discordâncias.

Do ponto de vista do engenheiro interessado na utilização do material, uma definição exata não é possível, nem necessária, todavia é importante que haja clareza. Em outros termos, o que precisamente não permite uma definição única é a grande variedade de comportamento dessa litologia, uma vez que produzidas por um processo de laterização LUCENA, (1976).

A laterita forma-se devido ao processo de laterização que quebra a migração dos silicatos, lixiviação das bases e concentração de sesquióxidos de ferro e requer certas condições geológicas e climáticas para sua formação e evolução.

A formação da laterita não é um fenômeno exclusivo de superfície como não depende do desmatamento da região. Esse fato sugere que a umidade constante abaixo da superfície é um dos fatores para a formação de grandes blocos laterizados.

Em região chuvosa deve-se esperar aglutinação maior de nódulos próximo à superfície. Todavia, a perda rápida de umidade graças ao vento faz com que o processo de aglutinação ocorra em profundidade.

Durante a estação chuvosa, solubilizam-se sais de ferro arrastados pelas águas descendentes concentrando-se no subsolo. Na estação seca, a água retorna à superfície devido à ação capilar, ocorrendo evaporação rápida e precipitação do sesquióxido de ferro ao redor dos grãos minerais, dando início à formação do nódulo laterítico, que crescerá por aglutinação até formar blocos ACKERMANN, (1962). A laterização pode, hoje, ser admitida como um processo de intemperismo caracterizado pela ruptura da estrutura dos minerais de argila, lixiviação parcial da sílica e concentração de sesquióxidos de ferro sobre ou próximo à superfície.

A lixiviação da sílica não ocorre desde a base do horizonte laterítico até a superfície topográfica, mas restringe-se à zona de precipitação do ferro. A lixiviação da sílica e precipitação do ferro devem estar ligadas a processo comum, e talvez, mais relacionadas à migração de correntes horizontais BARBOUR, (1966).

Nos climas tropicais, a tendência da decomposição química é para a formação de hidróxido de ferro, cujo processo recebe o nome de laterização. Essa laterização caracteriza-se por intensa lixiviação, onde os álcalis e alcalinos terrosos são os primeiros a serem levados pelas soluções, que acabam por dissolver, também, a sílica, não só a combinada, como também a sílica livre, em condições especiais de pH, conforme LEINZ & AMARAL, (1978).

O intemperismo laterítico é predominantemente químico e desenvolve-se rigorosamente em zonas intertropicais. Combinados os efeitos de atividade química, desintegração física e ação microbiológica produzem hidrólises, dissolução e neoformação de minerais dentro do manto de intemperismo.

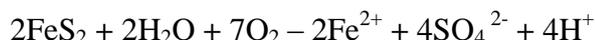
Os detalhes deste processo são poucos conhecidos, mas eles podem ser caracterizados por lixiviação de elementos alcalinos e alcalinos terrosos, diminuição do conteúdo silicoso e acumulação de óxidos de ferro hidratado INFANTI & KANJI, (1974).

Ainda sobre intemperismo químico, segundo PORTO (2004) assinala que o intemperismo químico produz (3) três tipos de reações químicas, destacadas a seguir:

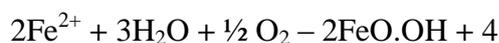
1 - Reações de dissolução que se dão pela dissolução dos elementos que compõem os minerais. Sua intensidade vai depender da quantidade de água que passa em contato com os minerais e da solubilidade desses minerais. Assim, minerais de alta solubilidade, como halita (NaCl), são facilmente dissolvidos. Esse processo contrasta com a solubilidade do quartzo que é muito baixa (<6mg/SiO₂). Normalmente as águas continentais se encontram saturadas com a sílica dissolvida, proveniente de outros silicatos, mas quando estes são consumidos, como nas porções superiores dos regolitos muito lixiviados, tipo perfis lateríticos, as soluções passam a ser sub saturadas em sílica e o quartzo pode ser dissolvido pela água meteórica pura.

2 - Reações de oxidação que se trata de uma reação com O₂ formando óxidos, ou hidróxidos, se a água também é envolvida no produto secundário. Afeta principalmente os minerais contendo íons polivalentes tais como ferro e manganês, principal

responsável pela coloração avermelhada característica dos regolitos tropicais. A reação pode se dar por etapas, principalmente com a liberação do Fe^{2+} por hidrólise:



Seguido da oxidação do Fe^{2+} :



Em perfis lateríticos essa reação é referida como ferrólise. Os óxidos e hidróxidos de ferro, representados por $\text{FeO} \cdot \text{OH}$, são insolúveis e precipitam-se na faixa de pH geralmente encontrada em superfície ou são carregados em soluções coloidais. No entanto é também comum nos solos superficiais de regolitos tropicais condições ácidas e redutoras devido à abundância de matéria orgânica. Nessas condições os oxihidróxidos de ferro reduzem-se e são mobilizados para fora ou para níveis inferiores do regolito.

3 - Reações por Hidrólise

Trata-se da reação mais comum para minerais silicatados. É a reação química que se dá pela quebra da ligação entre os íons H^+ e OH^- da água. Os prótons H^+ são consumidos e os íons OH^- , cátions e ácido silícico são colocados em solução, assim podendo haver um produto secundário residual. Na sua forma mais simples pode ser exemplificada com a hidrólise da olivina, neste caso sem a produção de mineral secundário:



A presença de ácido carbônico a partir de CO_2 dissolvido na água favorece ainda mais as reações de hidrólise. Estas reações podem também ser exemplificadas para os feldspatos potássicos que, com a crescente agressividade das soluções percolantes pode gerar illita, caolinita ou gibsita como produto secundário. Esses produtos podem também ser gerados em estágios, primeiramente para illita, subsequentemente para caolinita e por fim para gibsita com perda gradual de K e Si.

A laterita é o material no qual se evidencia a segregação de óxido férrico secundário (alguns óxidos de alumínio estão também invariavelmente presentes) e é capaz de formar materiais pelo próprio endurecimento resultante da oxidação e desidratação. A laterita é usualmente vermelha ocasionalmente amarela e tende a ocorrer em áreas tropicais nas quais o clima característico é o verão quente e úmido, enquanto o inverno é quente e seco GRANT, (1974).

A tendência geral de rocha ou solo é transformar-se em função exclusiva do ambiente em que está submetida. As rochas sedimentares originadas por processos erosivos variados litificam-se e, posteriormente, são cimentadas de acordo com o local. O solo laterítico por aglutinação de partículas laterizadas evoluem para formar a rocha laterítica e esta por sua vez com o tempo entrará em estado de alteração.

Reitera-se que existe um extenso acervo de dados e observações sobre a laterita realizadas por diversas categorias de profissionais: geólogos, pedólogos, biólogos, químicos, engenheiros, geógrafos e construtores. Obviamente, a atuação e a atenção de cada um desses profissionais estão voltadas e orientadas em aspectos nem sempre coincidentes. Os diferentes enfoques são reflexos do interesse de cada campo de especialização.

No caso do presente estudo, o interesse é trazer uma contribuição à engenharia Civil no sentido de dar respostas interpretativas a um conjunto de resultados de ensaios tecnológicos alicerçados na geologia de engenharia.

2.4.2 Características físico-químicas e mineralógicas das lateritas – dinâmica do ferro

- Dinâmica do Ferro

O ferro é mobilizado em solução no estado ferroso originado de materiais ferruginosos (rocha mãe) e move-se até encontrar condições de oxidação. O ferro ferroso oxida-se para férrico o que é insolúvel na água.

Se a oxidação é rápida todo o ferro é imediatamente transformado para o estado férrico. O ferro precipita-se em forma de gel em óxido hidratado. Na desidratação o gel forma hidratos de lepidocrocita indefinidos, que, por sua vez, desidratam-se provocando mudanças e formando a goethita. Com a completa desidratação, a hematita é formada. O processo é irreversível a não ser que exista uma mudança nas condições de oxidação. Se esse processo for vagaroso, alguns óxidos ferrosos podem formar cristais de magnetita GRANT, (1974).

A química de solução, a mobilização, a precipitação e a cristalização podem ser assim, resumidas, segundo o mesmo autor em: solubilidade - migração – precipitação, processos evidenciados no Tabela 2.1.

A solubilidade do ferro depende do pH do meio ambiente e do potencial redox, observáveis em diagramas de equilíbrio termodinâmico.

O Fe^{3+} é solúvel em pH menor que 2,5 a 3,0, ambiente considerado muito ácido, o qual não é comum na natureza. Entretanto o Fe^{2+} pode existir em solução, em condições ambientais de pH 7,5 a 8, que em função do potencial redox pode ser dissolvido.

O Fe^{3+} requer um alto potencial redox para ser solúvel, enquanto o Fe^{2+} requer um moderado a baixo potencial redox para ser solúvel.

Tabela 2.1 – Solubilidade, precipitação e cristalização de óxidos de ferro.

A química de solução, mobilização, precipitação e cristalização do Ferro (GRANT, K., 1974)			
MINERAL	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	DESCRIÇÃO	ESTADO
Lepidocrocita	$FeO_3 \cdot nH_2O$	Hidratos indefinidos de óxido férrico	Amorfo ou pobremente cristalizado
Goethita	$FeO_3 \cdot nH_2O$	Hidratos indefinidos de óxido férrico	Muito finamente cristalizado
Hematita	Fe_2O_3	Óxido férrico	Cristalino
Magnetita	$FeO \cdot Fe_2O_3$ (Fe_3O_4)	Óxido férrico ferroso	Cristalino
Clachita	$Al_2O_3 \cdot nH_2O$	Hidratos indefinidos de óxido de alumínio	Amorfo ou pobremente cristalizado
Boehmita	$Al_2O_3 \cdot H_2O$ ($AlO(OH)$)	Óxido de alumínio mono-hidratado	Cristalino
Gibbsita	$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ($Al(OH)_3$)	Óxido de alumínio trihidratado (hidróxido de alumínio)	Cristalino
Opala	$SiO_2 \cdot nH_2O$	Hidratos de sílica indefinidos	Amorfo
Calcedônia	SiO_2	Sílica (quartzo cripto-cristalino)	Muito finamente cristalizado
Quartzo	SiO_2	Sílica (quartzo)	Cristalino
Keolim	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	Argila	Muito finamente cristalizado

SOLUBILIDADE	
Fe^{++}	Solubilidade baixa, praticamente insolúvel abaixo do pH8
Fe^{+++}	Praticamente insolúvel abaixo do pH3
Al^{+++}	Sensivelmente insolúvel entre pH5 e pH11, de outra forma solúvel
SiO_2	Solúvel abaixo do pH9. Solubilidade (120 ppm) limitada abaixo do pH9, solubilidade cresce vagarosamente abaixo do pH4

Química da solução, mobilização, precipitação e cristalização do ferro, alumínio e sílica			
Composto ferro ferrose solúvel em água	Fe^{++}	Fe^{+++}	$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ gel
			$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ lepidocrocita
			$FeO \cdot Fe_2O_3$ magnetita
			$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ goethita
			Fe_2O_3 hematita
Composto em alumínio solúvel em água	Al^{+++}	$Al_2O_3 \cdot nH_2O$ gel	$Al_2O_3 \cdot H_2O$ clachita
			$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ gibbsita
			$Al_2O_3 \cdot H_2O$ boehmita
Composto de sílica solúvel em água	SiO_2	$SiO_2 \cdot nH_2O$ gel	$SiO_2 \cdot nH_2O$ opala
			SiO_2 calcedônia
			SiO_2 quartzo

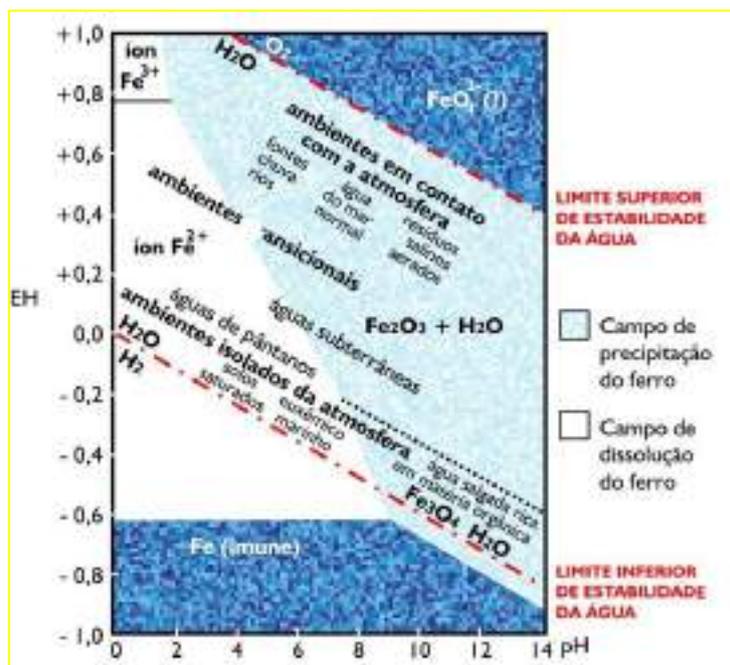
Fonte: Extraído de GRANT, (1974), Tema IV, 33.3, In: Anais do 2º Congress Engineering Geology, São Paulo.

Em regiões subtropicais, o pH natural alcança de 5 a 7 o que indica que o Fe^{2+} pode ser comumente achado em solução em certas latitudes, e que o Fe^{3+} pode também ser solúvel reduzindo-se para Fe^{2+} . O gráfico de solubilidade e o gráfico do diagrama de equilíbrio termodinâmico dá perfeita idéia do mecanismo aludido na Figura 2.4. Este gráfico é teórico e válido para substâncias puras, mas na natureza as circunstâncias são um pouco diferentes.

Três fatores podem gerar condições para solubilidade do ferro:

- 1 – decréscimo do Ph da água (dissolução do CO_2 com produção de ácido carbônico, oxidação de sulfatos minerais);
- 2 – decréscimo do potencial redox (oxidação de sulfatos minerais, matéria orgânica e atividade biológica);
- 3 – complexação (ferro pode ser retido na estrutura da sílica coloidal formando complexos silicosos de Fe^{2+} ou Fe^{3+} ou nas estruturas solúveis húmicas).

Quando o Fe^{2+} está em solução migratória, a precipitação pode ser causada por uma mudança das condições ambientais ou quando as condições limites de solubilidade são alcançadas com respeito ao Ph ou potencial redox.



Fonte: Extraído de INFANTI & KANJI, (1974) – Tema IV -33.1, In: Anais do 2º Internacional Congress Engineering Geology, São Paulo.

Figura 2.4 - Diagrama de equilíbrio termodinâmico para o ferro (configurado para 25° C e para 1 atmosfera de pressão total) mostrando a posição de alguns ambientes naturais modificado de GARRELS, (1960) in INFANTI I& KANJI, (1974).

Tais mudanças podem ser iniciadas pelos seguintes fatores:

- 1 – aumento do pH da água;
- 2 – troca para ambiente oxidante; oxidação do Fe^{2+} para Fe^{3+} pode ser causada por bactérias;
- 3 – aumento da concentração assim que atinge o produto solubilizado;
- 4 – deterioração dos complexos orgânicos ferrosos nos ambientes oxidantes, tal deterioração pode ser causada por microorganismos heterotróficos, INFANTI & KANJI, (1974).

São condições essenciais para a formação da laterita:

- 1 – subsolo adequado suprimindo material adequado para alimentação do processo;
- 2 – boa circulação e drenagem da água e ar;
- 3 – condições climáticas favoráveis;

São exigências principais para formação da laterita:

- 1 – solos preferencialmente argilosos;
- 2 – clima bem definido, com estações prolongadas de seca entre as estações de chuva;

A formação do produto final dependerá da natureza da rocha mãe, das condições ambientais e acidez, alcalinidade e condições climáticas, onde ocorre a lixiviação ACKERMAN, (1962).

2.4.3 Evolução das lateritas

A origem e evolução das lateritas é função da mobilização de íons de ferro e ou alumínio no perfil do solo. Os mecanismos de remoção e deposição de íons dependem, fundamentalmente, da quantidade de água presente e das condições de drenagem.

A acumulação de sesquióxidos origina as crostas lateríticas, ocorrendo de forma relativa ou absoluta. Quando os elementos mais solúveis (metais alcalinos e alcalinos terrosos) e a sílica são removidos dos níveis superiores do solo por lixiviação aumentam, nesses níveis, as concentrações relativas de elementos pouco solúveis como o ferro, o alumínio e o manganês. Esses elementos, depois de concentrados, passam, também, a ser

lixiviados, mobilizando-se em solução e concentrando-se de forma absoluta, em níveis mais baixos do perfil de solo. Nesse caso, o ferro e o manganês são mais móveis do que o alumínio.

Abaixo da crosta ou camada ferruginosa forma-se uma camada de argila, onde predomina a caolinita por concentração absoluta de SiO_2 e Al_2O_3 . Nos perfis bauxíticos concentra-se a gibbsite por acúmulo de Al_2O_3 e Fe_2O_3 . SAHASRABUDHE & DESHMUKH, (1979).

É consenso entre a maioria dos pesquisadores que a laterização se processa mais facilmente em climas úmidos e quentes, onde se observa alternância de estações chuvosas e secas. Durante a época das chuvas, ocorre intensa lixiviação pelas estruturas do solo e à superfície, mantendo ativos mecanismos de subtração e acumulação de matéria. Na época seca os horizontes endurecidos, já formados, funcionam como capa protetora contra erosão, expondo-se, fragmentando-se com o tempo e preservando o perfil. Dentro desse quadro evoluem as crostas ferruginosas e a frente de alteração.

Segundo MELFI, (1997), as altas temperaturas encontradas nas regiões tropicais, promovem a rápida degradação da matéria orgânica, que é totalmente mineralizada, dando origem à água e ao CO_2 . O gás carbônico confere caráter levemente ácido ($\text{pH} \sim 5,5 - 6$) às soluções de alteração. Nessas condições de pH há certo controle no comportamento dos principais constituintes dos minerais formadores das rochas. O alumínio e o ferro são praticamente insolúveis, acumulando-se na forma de óxidos e hidróxidos. Os elementos alcalinos e alcalinos terrosos são praticamente lixiviados, enquanto a sílica também é mobilizada, porém com velocidade mais baixa que os alcalinos, havendo possibilidade, em certas situações, de recombinação de parte da sílica com o alumínio que permaneceu “*in situ*”, gerando argilo minerais.

A alta concentração dos hidróxidos de Fe e Al pouco solúveis leva à formação de uma crosta ou carapaça laterítica muito resistente aos agentes erosivos. Assim, a laterita torna-se mais solúvel em ambientes mais ácidos e menos solúvel em ambientes mais alcalinos, adequando-se, portanto, aos concretos de cimento Portland.

A comunidade geológica brasileira mostrou interesse pelo estudo das lateritas da região Amazônica, principalmente a partir da década de 60, do século XX. Esse

fato é devido principalmente à grande potencialidade mineral da laterita (Fe, Al, Au, Ti, Nb etc.) e, também, por ser o material geológico que geralmente está aflorando.

2.4.4 Idade das lateritas

As lateritas mais antigas de que se tem registro são encontradas em regiões áridas, estando relacionadas a antigos climas úmidos, durante os quais se desenvolveram os processos de laterização. O primeiro período de laterização reconhecido em escala mundial corresponde ao Neógeno.

Duas fases de laterização são indicadas pelas características das ocorrências de laterita. Uma fase é mais antiga (Neógeno) de amplitude regional, que originou a laterita nodular, cavernosa e maciça. Outra é de idade quaternária recente, que resultou na formação de conglomerados e brechas lateríticas BARBOUR, (1966).

No caso de São Luís do Maranhão as evidências de campo atestam a existência de duas fases de laterização, uma Neógena abrangendo praticamente toda a Ilha de São Luís e outra quaternária abrangendo parte da bacia.

A laterização está presente praticamente em todo o Grupo Itapecuru e Grupo Barreiras, de idade Neógena que ocorre na Ilha de São Luís. Nesse último Grupo geológico, ocorrem zonas de argilas vermelhas e brancas, onde é comum a presença de concreções de tamanho variegados próximo à superfície.

Na Grupo Barreiras existe uma unidade superior de idade quaternária, onde há presença de laterização e formam nódulos, brechas e massas compactas areníticas. Ainda ocorrem conglomerados e depósitos coluvionares.

Os nódulos lateríticos são de dois (2) tipos: eólitos e pisólitos. O primeiro indica condições geológicas de clima desértico, enquanto a aglutinação dos pisólitos dá-se com modificação do clima para chuvoso.

Quanto à formação dos conglomerados e brechas tem-se a seguinte explicação segundo GRANT, (1974), ou seja, o gel hidratado de óxido férrico ou a magnetita como um precipitado podem englobar partículas rochosas, grãos de quartzo, frações de solo e efetivamente cimentá-los. A precipitação ocorre ao redor de alguns núcleos produzindo formas pisolíticas. Esses pisólitos podem ser maciços ou pouco maciços dependendo do grau de desidratação do material.

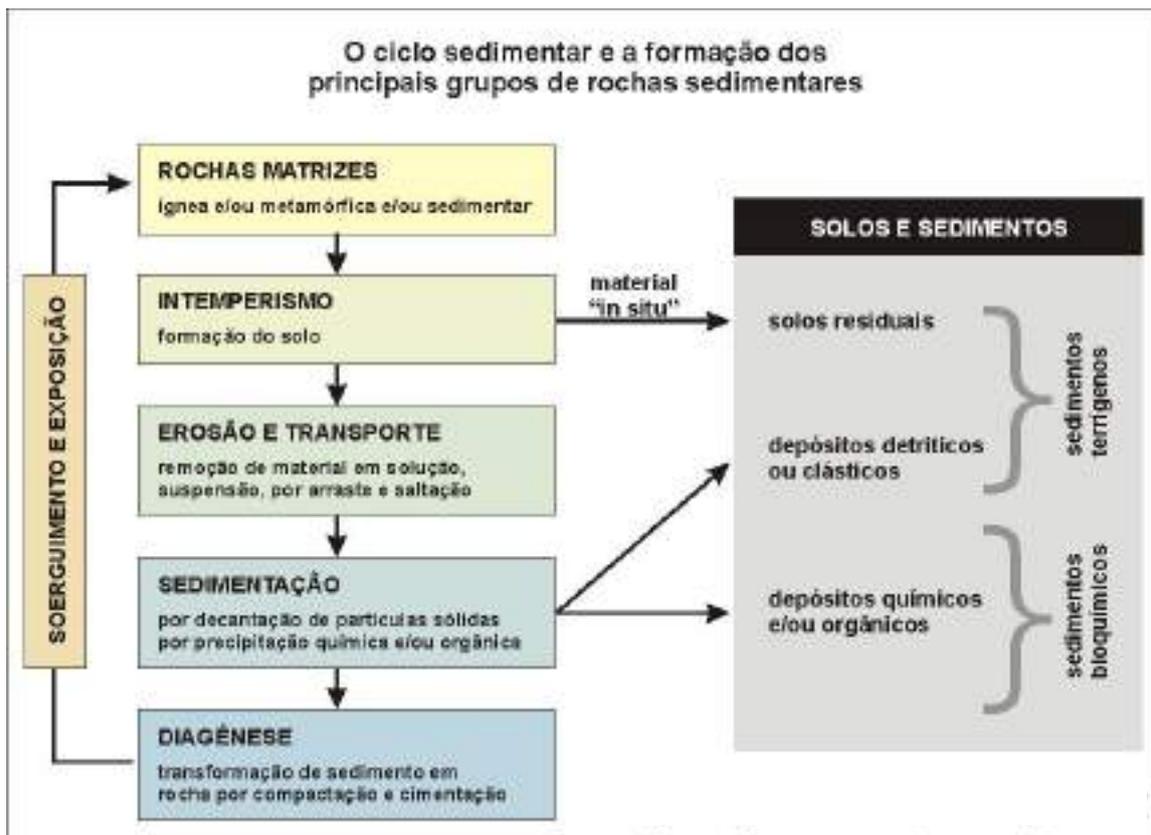
2.5 ASPECTOS SOBRE A GÊNESE E CONDIÇÕES AMBIENTAIS PARA A FORMAÇÃO DE ROCHAS SEDIMENTARES

Os sedimentos, após sua deposição são litificados através de um processo de compactação, cimentação e recristalização, no tal chamado ciclo sedimentar, conforme SUGUIO, (1980), mediante ilustração da, Figura 2.5. O ciclo origina-se em função do intemperismo diferencial de tal forma a produzir a desintegração física e química da rocha matriz. Como resultado da ação do intemperismo, é originado o solo, cujas partículas sólidas residuais mais resistentes e os minerais neoformados (argilo minerais) ficam disponíveis para remoção de sua fonte. Além dessas partículas, solutos constituídos por metais alcalinos (sódio e potássio), terras raras, cálcio, magnésio e outros lixiviados do solo saem do sistema original. A remoção dos resíduos da rocha matriz caracteriza o processo de erosão, movimentação e transportes desses materiais desgarrados da rocha mãe. Dependendo do tipo de rocha, nem todas as fases do ciclo sedimentar estão presentes.

Nesse trabalho são abordados os aspectos petrográficos das rochas clásticas, quais sejam: arenitos, conglomerados e siltitos, seguidos de considerações acerca do comportamento químico do ferro seguidos dos seus compostos, importante na cimentação das rochas estudadas.

2.5.1 Arenitos

Os sedimentos transformados em rocha sedimentar ocorrem em uma bacia sedimentar, local onde a crosta terrestre está sujeita a lenta subsidência por causas tectônicas ou mesmo deformação das rochas do embasamento devido ao peso do pacote sedimentar acumulados. O primeiro efeito desse processo é a compactação do arcabouço do sedimento, o que gera um material de menor porosidade e maior peso específico. Um segundo efeito é a cimentação dos grãos, que está associada tanto ao crescimento autígeno do mineral em torno do grão detrítico, como também à precipitação de soluções mineralizadas existentes no espaço poroso.



Fonte: SUGUIO, (1980). Rochas Sedimentares, gênese, importância econômica. Editora Edusp, São Paulo.

Figura 2.5 - Ciclo sedimentar modificado a partir de SUGUIO, (1980).

A compactação e a cimentação dos sedimentos recebem o nome de diagênese. No presente estudo, significa que, logo após a deposição do sedimento (areia), ocorre a litificação e é iniciado o processo diagenético, em parte puramente físico/mecânico, com fraturamento de grãos, dobramento e deformação de micas detríticas. O processo diagenético é também químico, envolvendo solução, reprecipitação, decomposição e reações intergranulares. Essas modificações levam a rocha a uma grande redução de porosidade, mascaramento da textura original e ao alcance de uma assembléia mineralógica mais próxima do equilíbrio.

De uma forma resumida pode-se considerar que a diagênese é também caracterizada por um conjunto de processos e por seus respectivos produtos. A importância de cada processo diagenético varia na dependência do estágio de soterramento e do tipo de rocha sedimentar, se calcária ou terrígena. Os processos mais conhecidos são: a) compactação, b) dissolução, c) cimentação e, d) recristalização diagenética.

Areias quartzosas sofrem apenas solução e reprecipitação do quartzo, transformando-se em ortoquartzitos. Areias impuras especialmente as líticas convertem-se, em grande parte, em grauvacas.

Os arenitos são formados por sedimentos que variam em granulometria desde 1/16mm até 2mm segundo WENTWORT *in* PETTIJOHN, (1975). Possuem grande importância em termos de volume, constituindo, grosseiramente 1/4 de todos os sedimentos conhecidos. São os sedimentos que mais contribuem para um esclarecimento da história geológica. A composição é o aspecto chave para determinação da área fonte, e estruturas direcionais são guias para determinação de paleocorrentes, e sua geometria e estruturas internas esclarecem muito a respeito dos ambientes deposicionais. No presente estudo, são apenas considerados os arenitos terrígenos, que são derivados do intemperismo de rochas pré-existentes, sendo transportados, selecionados e modificados por fluídos transportadores (água ou ar) e derivados da fonte externa à bacia de deposição.

Quanto à origem desses sedimentos, não existe qualquer província geomorfológica onde eles não ocorram. As areias são essencialmente continentais e são originadas no continente e a maior parte delas aí permanece.

Muitos estudos sobre parâmetros texturais e sua relação com ambientes de deposição foram realizados e parecem mostrar sucesso para areias modernas não cimentadas, sendo inaplicáveis a quartzitos antigos. O retrabalhamento, a cimentação e a recristalização mascaram as características originais.

A cimentação constitui o último estágio de formação de um arenito. A introdução de um cimento obviamente afeta, tanto a porosidade quanto a permeabilidade da rocha. Muitas espécies minerais podem atuar com agentes cimentadores. O mais comum é a cimentação através da sílica, sob a forma de quartzo e mais raramente a cimentação através de opala e calcedônia, ficando esclarecido que, no caso do presente estudo são rochas submetidas à cimentação através do óxido de ferro. Nesse ponto, em particular, os minerais de ferro são bastante úteis como indicadores de condições de oxirredução (Eh) do ambiente que se formaram. A deposição do óxido de ferro indica um ambiente arejado (alto Eh) e condições de pH variável, desde ácido até levemente alcalino. Essa observação pode ser vista na Figura 2.4, onde mostra também

as condições de Eh - pH dos diversos ambientes e o tipo de mineral de ferro correspondente a cada um deles.

2.5.2 Conglomerados

O termo é utilizado para rocha endurecida com fragmentos subangulares e arredondados de tamanho maior que 2mm segundo PETTIJOHN, (1975). O conglomerado deve possuir de 50 a 100% do material acima definido. A matriz seria o material mais fino que preencheria os vazios entre seixos.

Os seixos formadores dos conglomerados são produtos mais grosseiros de erosão, que se movem ao longo de curtas distâncias de sua área fonte e são depositados em áreas bem mais restritas que qualquer outro sedimento.

A forma de um seixo é mais dependente de sua forma original do que do agente e história de transporte. A forma original é função do acamamento, fraturamento e clivagem da rocha mãe. Assim rochas mais maciças fornecem fragmentos mais equidimensionais, enquanto rochas finamente acamadas fornecem fragmentos achatados em uma direção. O grau de arredondamento dos seixos é função tanto do transporte que sofreram, quanto das suas características litológicas. Os seixos tendem também a se orientar preferencialmente na direção do fluxo que os transporta e o ângulo de inclinação dos seixos imbricados fluviais é maior que o dos seixos marinhos.

Os conglomerados, como todas as rochas sedimentares, sofrem modificações após deposição. A modificação mais drástica seria a litificação com introdução de cimento, o que uniria os grãos constituintes. Esta fase, chamada de diagênese, é a etapa transicional entre o sedimento consolidado e a rocha sedimentar consolidada. O conglomerado ferruginoso laterítico usado na fabricação do concreto de cimento Portland, referente a esse estudo, retrata muito bem a situação acima narrada.

2.5.3 Siltitos

Siltitos são formados por material de tamanho entre 1/16 a 1/256mm de diâmetro e consolidados. O silte é um sedimento relativamente comum. O silito é uma rocha mais rara, poucas vezes formando pacotes de espessura considerável. Geralmente

o silte é incorporado no folhelho/argilito, que possuem de 1/3 a 1/2 de silte. Os siltitos ocorrem mais comumente finamente interestratificados com folhelhos mais abundantes.

Os siltitos mostram muitas vezes estratificação cruzada em pequena escala e várias estruturas primárias de corrente e quando saturados em água mostram evidências de fluxo intraestratal, como por exemplo, estrutura convoluta.

As partículas de silte tendem a ser mais angulosa do que arredondadas como as areias. Em termos de cimentação os siltitos possuem cimento mineral e são em partes ligados simplesmente por recristalização dos componentes argilosos. Em termos de composição são intermediários entre arenitos e folhelhos. São mais ricos em sílica e mais pobres em alumina ($Al_2 O_3$), potássio e água do que um folhelho, mas não tão ricos em sílica quanto um arenito maturo. Uma relação entre a composição química e a granulometria é possível ser verificada na Tabela 2.1, onde se expõe um detalhamento da situação.

Tabela 2.2 - Relação entre composição química e granulometria baseado na média de 12 argilas: “Argila fina” – menor que 1 micrômetro, “Argila grosseira” – de 1 a 5 micrômetros, “Silte” – 5 a 50 micrômetros.

CONSTITUINTE %	AREIA FINA %	SILTE %	ARGILA GROSSEIRA %	ARGILA FINA %
SiO ₂	71,15	61,29	48,07	40,61
TiO ₂	0,50	0,85	0,89	0,79
Al ₂ O ₃	10,16	13,30	19,83	18,97
óxidos de Fe	3,72	3,94	6,91	7,42
MgO	1,66	3,31	3,56	3,19
CaO	3,65	5,11	4,96	6,29
Na ₂ O	0,86	1,82	1,17	1,19
K ₂ O	2,20	2,33	2,57	2,62

Fonte: GRONT (1925) in PETTIJOHN (1975) Sedimentary Rocks, Harper and Row Publisher, Alind Edition, Nova York

A maioria dos siltitos contém mica e minerais de argila micáceos em abundância e clorita. Os feldspatos podem estar presentes, mas fragmentos de rocha estão virtualmente ausentes. Esses sedimentos podem ter origem eólica.

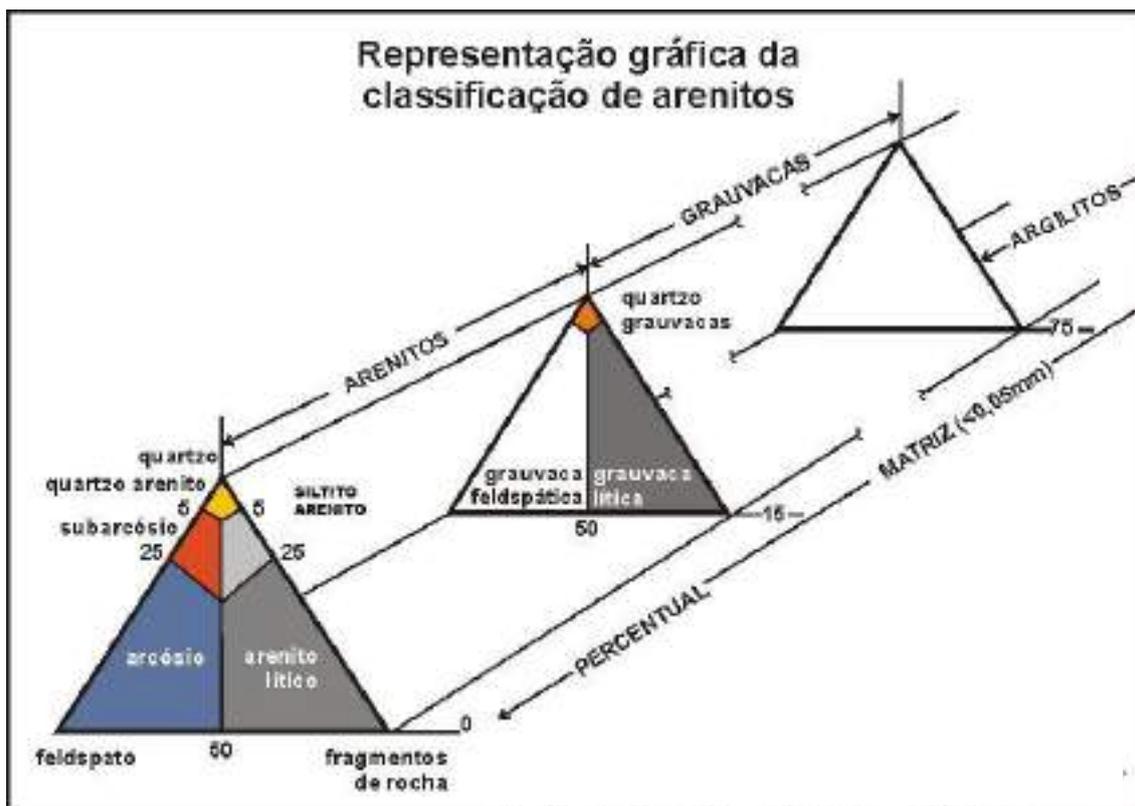
2.5.4 Classificação dos Arenitos

A maior parte das classificações propostas para arenitos é baseada na composição mineralógica. Os autores destas classificações levaram em consideração apenas os elementos do arcabouço e da matriz e foi desconsiderado o “cimento” segundo PETTIJOHN, (1975).

A composição dos arenitos provou ser o critério mais significativo para classificação. O quartzo, o feldspato e os fragmentos de rocha são os três (3) componentes principais das areias. Os fragmentos de rocha constituem-se em partículas de tamanho de areia proveniente de rocha ígnea finas (como felsitos), rochas sedimentares e metamórficas.

As principais classes de arenitos podem ser definidas pelas proporções desses constituintes maiores. Outros fragmentos detríticos são raros e, portanto, as classificações dos arenitos são expressas com base na proporção relativa entre os acima citados três componentes principais. Para representação gráfica PETTIJOHN, (1975) fez uso de dois diagramas ternários, um para arenitos com percentual de matriz inferior 15% e outro para arenitos com percentuais superiores a esse valor, conforme gráfico apresentado na Figura 2,6.

Como se depreende desta Figura 2.6, os arenitos e areias pobres em matriz e com teor inferior a 5% de feldspatos e fragmentos de rochas são classificados como quartzo-arenitos. Os arenitos com 25% ou mais feldspatos são ditos arcóseos, enquanto aqueles com 25% ou mais de fragmentos de rocha são os arenitos líticos. As classes intermediárias são subarcóseos e os sublitarenitos.



Fonte: PETTIJOHN, (1975), Sedimentary Rocks, Harper and Row Publisher, Alind Edition, Nova York.

Figura 2.6 - Representação gráfica da classificação de arenitos

2.5.5 Arenitos Feldspáticos e Arcóseos

Arenitos feldspáticos ou subarcóseos são definidos como aquele que possuem de 10 a 25% de feldspato.

Arcóseo foi definido, segundo PETTIJOHN, (1975), como sendo um arenito com mais de 25% dos constituintes “lábéis” (fragmentos de rocha e feldspato), dos quais o feldspato forma metade ou mais do total. Os constituintes maiores dos arcóseos são, geralmente, quartzo e feldspato. Micas detríticas (tanto muscovita quanto biotita) também são características.

2.5.6 Grauvacas e rochas relacionadas

Grauvacas são arenitos que possuem mais de 15% de matriz constituída de fino intercrescimento de sericita, clorita com quartzo do tamanho de silte, feldspato e em que

micas detríticas (muscovita e biotita) são comuns mas não abundantes. Seus aspectos distintivos são a aparência cinza-escura, forte silicificação e abundância de feldspato. Seus aspectos distintivos são aparência cinza-escura, forte litificação e abundância de feldspatos e fragmentos de rocha. Essas rochas são bastante ricas em FeO_2 , MgO e Na_2O . Quartzo é, geralmente, o constituinte mais abundante, enquanto o feldspato está, geralmente, presente em quantidades consideráveis.

As grauvacas podem ser divididas em duas classes, ou seja, grauvacas feldspáticas e grauvacas líticas segundo a relativa abundância de feldspato e fragmentos de rocha respectivamente.

2.5.7 Ortoquartzitos (quartzo-arenitos)

São definidos como arenitos cuja fração detrítica é composta de 95% ou mais de quartzo. Mais comumente, eles são cimentados por quartzo depositado em continuidade ótica com quartzo detrítico. Podem, também, ser cimentados por calcita, friáveis ou totalmente não cimentados. O quartzo possui boa seleção e bom arredondamento. A maioria desses sedimentos são maduros, tanto texturalmente quanto composicionalmente. Podem ocorrer ainda alguns grãos bem arredondados de chert. Os minerais pesados são escassos, constituindo-se, principalmente, de turmalina, zircão e algum rutilo bem arredondado.

2.5.8 Descrição de arenitos: aspectos petrográficos, mineralógicos, texturais e morfométricos

A petrografia dos arenitos é bastante dependente da composição das rochas ou rocha mãe. Esse fato é especialmente verdadeiro para os arenitos imaturos. Como o quartzo é o constituinte dominante das areias, a fonte, em última instância, desses sedimentos são as rochas plutônicas portadoras de quartzos-granitos, quartzo-monzonitos e gnaisses. Os arcóseos formam uma importante classe que são produtos de desintegração sem muita decomposição dessas rochas.

O estudo dos sedimentos inclui parâmetros químicos e físicos, ambos visando estabelecer as condições de deposição, transporte e meteorização de sedimentos. Dentre os parâmetros físicos deve-se destacar aqueles comparativos simples e os comparativos

estatísticos. Os primeiros ocupam-se, em princípio, com a forma dos grãos, enquanto os segundos com a distribuição por classes granulométricas.

Além do tamanho do grão conforme escala granulométrica apresentada na Figura 2.7, a forma dos grãos das rochas sedimentares clásticas também reflete condições de gênese e podem eventualmente ter implicações do ponto de vista geomecânico. O termo forma refere-se ao contorno tridimensional dos grãos. Trata-se de uma propriedade difícil de ser obtida com precisão. Compreende aspectos da morfologia externa da partícula, a forma propriamente dita, o arredondamento e a textura superficial, incluindo parâmetros relacionados à esfericidade e ao arredondamento, conforme Figura 2.8.

2.5.9 Esfericidade

A esfericidade é definida como a relação entre o raio da superfície da partícula e o da esfera de dimensão mais próxima do trecho considerado. Para uma partícula perfeitamente esférica, este valor seria 1, mas na prática ele é sempre menor que 1. Ainda, de forma pragmática, usa-se a relação dos diâmetros, em vez da relação dos raios.

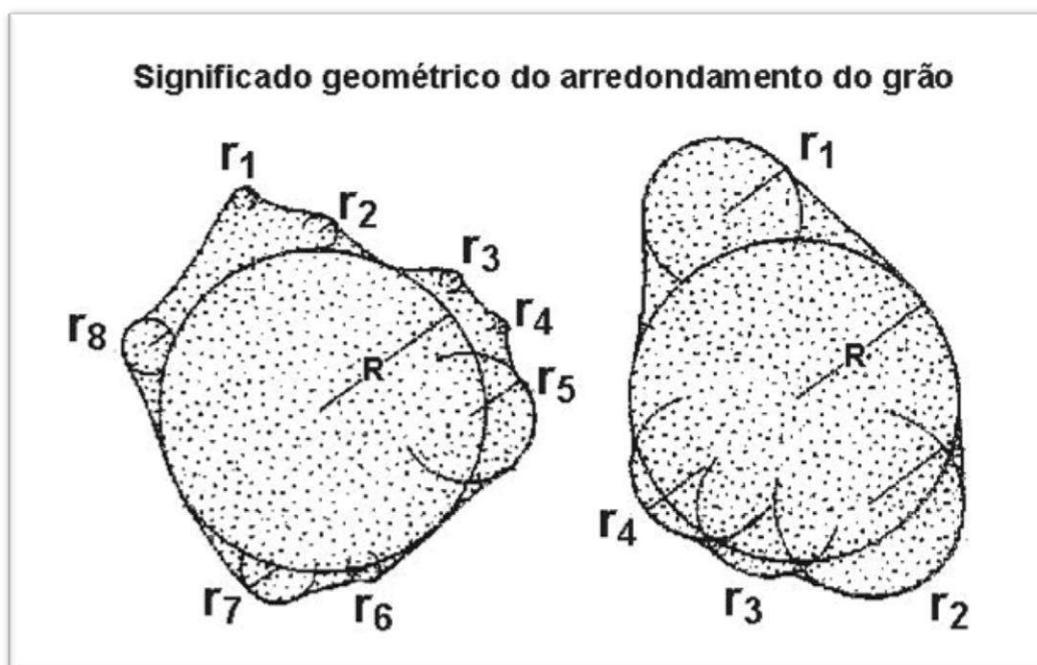
A esfericidade reflete o modo de transporte onde, por exemplo, partículas mais esféricas indicam transporte eólico e mais achatado indicam transporte glacial.

A determinação da esfericidade envolve medidas do comprimento de três eixos ortogonais e cálculos de razão entre eles. Quanto mais próximos entre si são os valores dos três eixos, mais a partícula aproxima-se de uma esfera, conforme significado geométrico do arredondamento de grãos definido por (PETTJOHN, (1975) *apud* KRUMBEIN, (1941), consoante discorre-se no item seguinte.

A mensuração dos valores de r e de R , tanto em grãos consolidados quanto em seção delgada é uma árdua tarefa que pode demandar muito tempo. Por esse motivo, frequentemente, recorre-se a estimativas visuais do arredondamento e da esfericidade, baseadas em carta de comparação.

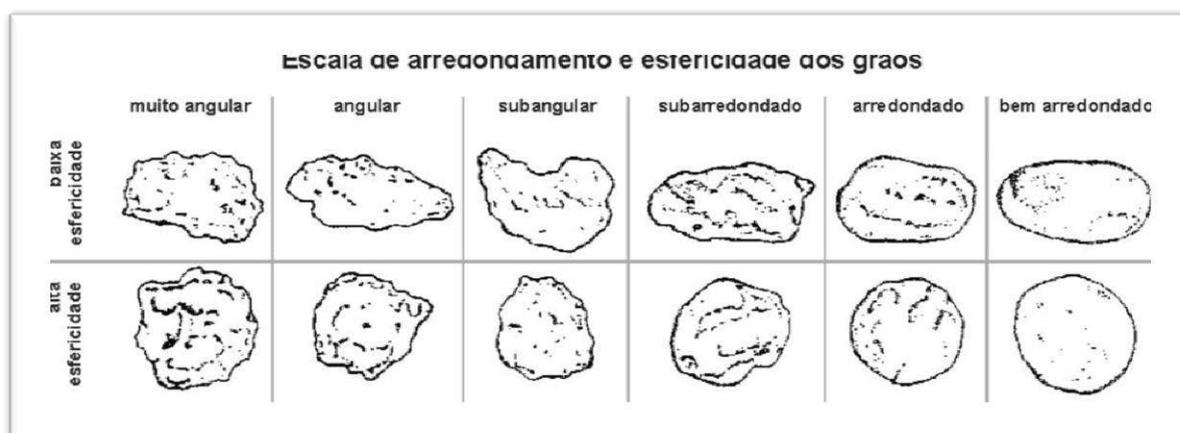
2.5.10 Arredondamento

O arredondamento é o desgaste de vértices e arestas dos fragmentos. São utilizadas tabelas comparativas visuais, construídas a partir da comparação dos trechos considerados com o de esferas de tamanho mais próximo, conforme ilustra a Figura 2.7, que traduz a escala de arredondamento e esfericidade dos grãos enfatizando que foi utilizada esta escala visual para classificação dos tipos petrográficos abordados neste estudo, conforme evidenciado nas figuras 2.7 e 2.8.



Fonte: Extraído de PETTIJOHN, F.J. (1975), Sedimentary Rocks, Harper and Row Publisher, Alind Edition, New York..

Figura 2.7 - Significado geométrico do arredondamento do grão.



Fonte: Extraído de PETTIJOHN, F.J. (1975), Sedimentary Rocks, Harper and Row Publisher, Alind Edition, New York.

Figura 2.8 - Escala de arredondamento e esfericidade dos grãos.

Feições menores presentes na superfície do grão compõem uma espécie de micro relevo e a textura superficial, que é independente do tamanho, da forma ou do arredondamento. Aspectos como polimento, opacidade e presença de estrias podem ser identificados a olho nu ou com auxílio de um microscópio eletrônico. Acredita-se que muitas dessas feições tenham significados genéticos, no entanto, do ponto de vista geomecânico são pouco relevantes.

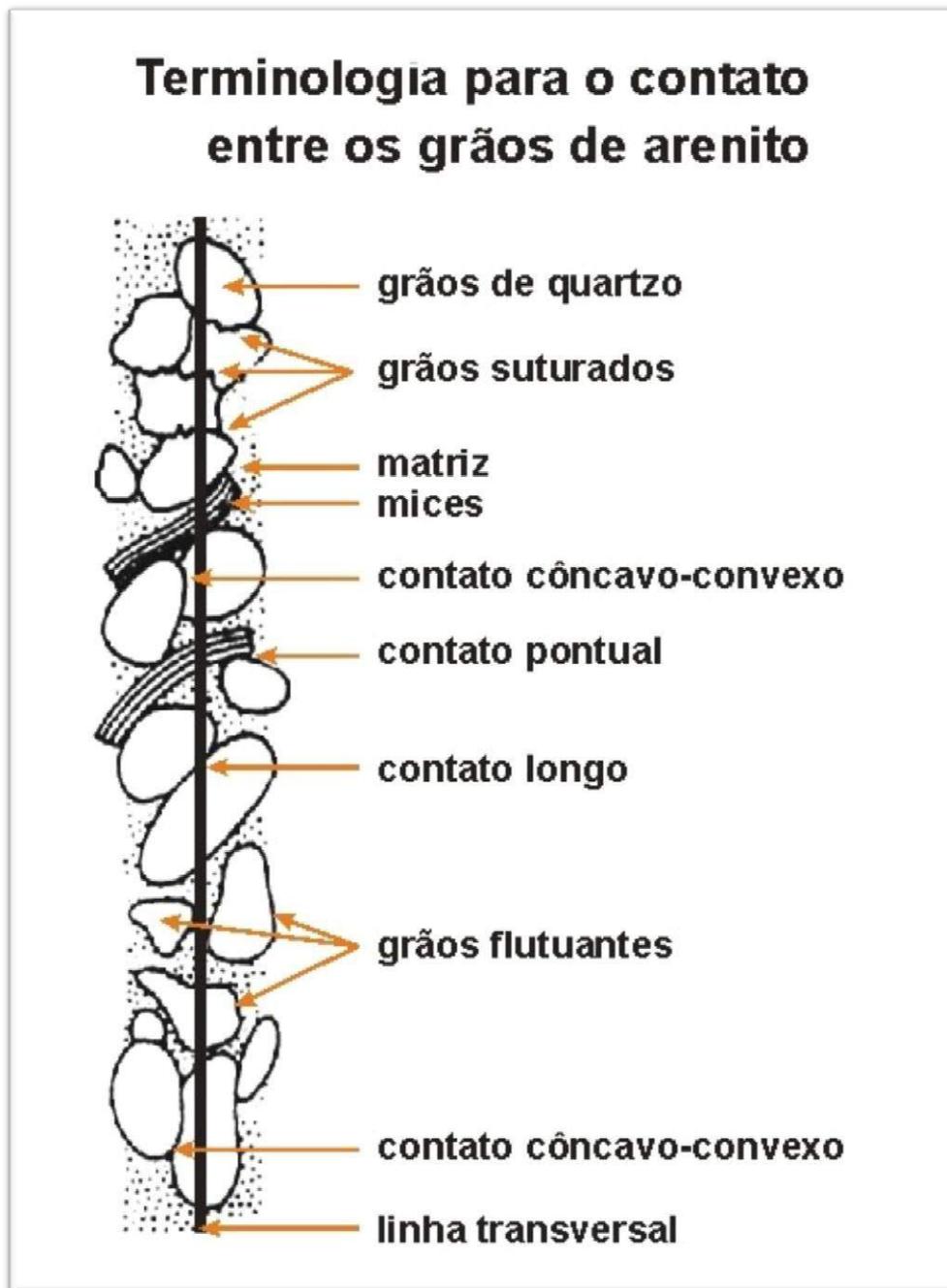
As propriedades de tamanho e forma dos grãos estão relacionadas com as características individuais dos próprios grãos. A arquitetura da rocha refere-se às características texturais do conjunto de grãos. A arquitetura de um arenito cimentado compreende três aspectos: o empacotamento, a orientação dos grãos e o cimento.

O estudo do empacotamento é relevante por diversos motivos. Tanto o volume de poros como os tamanhos individuais dos poros são afetados pelo empacotamento, com reflexos diretos sobre a porosidade, a massa específica e a permeabilidade da rocha segundo PETTIJOHN, (1975).

No presente estudo foi constatado que embora os fatores acima citados exerçam uma parcela de influência no comportamento geomecânico da rocha não se pode perder de vista o significado, ou mesmo o incremento da resistência do arenito quando cimentado, que passa a exercer o controle final das propriedades geomecânicas dos arenitos abordados no presente estudo.

O empacotamento pode ser definido como o arranjo espacial entre os grãos detríticos, para o qual contribuem variadas propriedades, incluindo o tamanho, a forma, a orientação e a seleção dos grãos, conforme figura a seguir, conforme Figura 2.9, que ilustra diversos tipos de contatos entre grãos do arcabouço e da matriz de arenitos, descritos e propostos por PETTIJOHN, (1975).

Muito embora os contatos entre grãos durante a deposição do sedimento sejam basicamente tangenciais, esses são significativamente modificados por processos diagenéticos.



Fonte: Extraído de PETTIJOHN, (1975), *Sedimentary Rocks*, Harper and Row Publisher, Alind Edition, New York.

Figura 2.9 - Terminologia para o contato entre os grãos de arenito.

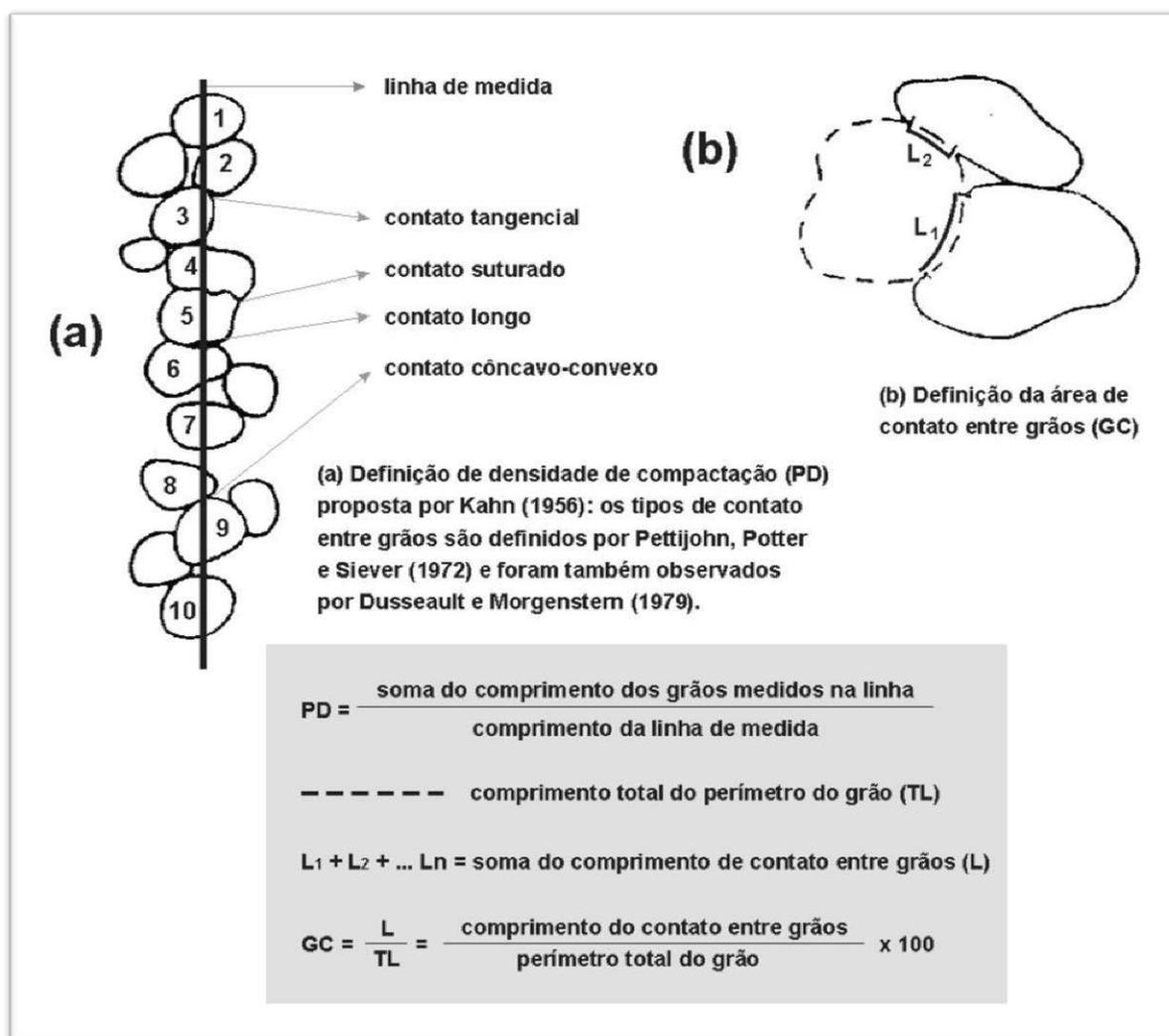
Segundo definido por KHAN (1956) *in* DOBEHEINER (1987), conforme Figura 2.10, a densidade de compactação é a relação entre a soma dos comprimentos dos grãos medidos em uma linha pela seção delgada e o comprimento total da linha.

O material da matriz não é considerado, porém, os intercrescimentos dos grãos são incluídos nas medidas do comprimento dos seus comprimentos.

O contato entre grãos é a razão entre o comprimento do contacto entre um grão e seus vizinhos, pelo perímetro total do grão, expresso em percentagem.

No caso da figura 2.10, o contato entre grãos foi medido para todos os grãos de uma área representativa de uma seção delgada contendo mais de 100 grãos. Essas medições podem ser feitas em imagem no modo de retroespalhamento, (*backscatter mode*), obtidas com microscópio eletrônico de varredura e ampliadas 40 a 200 vezes.

No entanto, no presente estudo, por se tratar de rochas cimentadas por óxidos ferruginosos entende-se que esse processo contribui quanto à relação de contato geométrico entre partículas, porém perturbada pelo processo de cimentação em que a precipitação química dos óxidos se dá inclusive parcialmente mediante os contatos e os grãos e principalmente nos espaços vazios.



Fonte: Extraído de DOBEREINER, (1987), Geotecnia de Arenitos Brandos, Síntese de tese nº 08, ABGE.

Figura 2.10 - Definição de densidade de compactação.

2.5.11 Parâmetros estatísticos

Dentre os parâmetros estatísticos, destaca-se: as medidas de tendência central como moda, mediana e classe modal, e as medidas de dispersão como coeficientes de assimetria, assimetria gráfica incluída, desvio padrão, curtose e, gráficos do tipo log-normal.

Essas características de distribuição dos tamanhos dos grãos é uma ferramenta útil no auxílio à interpretação dos ambientes de sedimentação.

Por se tratar de um estudo em que envolve rocha sedimentar detrítica e cimentada por óxidos ferruginosos não é detalhado individualmente cada parâmetro. Por este motivo a abordagem adotada discute e faz referências a este tipo de rocha sedimentar.

Segundo FOLK *in* DOBEHEINER (1987), os sedimentos e as rochas sedimentares apresentam uma classificação baseada nas proporções relativas a três componentes fundamentais.

O primeiro são os componentes terrígenos, também chamados de clásticos ou detríticos sendo substâncias minerais sólidas erodidas na fonte e transportadas até o local de deposição, tais como quartzo, feldspato, argilo minerais, fragmentos de outras rochas, entre outros.

O segundo são os sedimentos aloquímicos e são derivados das remobilizações, em estado sólido, de substâncias químicas precipitadas na própria bacia sedimentar. São exemplos de componentes aloquímicos as conchas de moluscos e fragmentos de rochas calcárias contemporâneas.

O terceiro abrange componentes ortoquímicos por precipitação química produzidos na bacia e sem evidências de transporte. Alguns exemplos são a calcita e o quartzo de preenchimento de poros, evaporitos, entre outros.

Diferentes escalas granulométricas têm sido propostas para classificar os sedimentos terrígenos e não existe uma escala mundialmente aceita entre os diferentes profissionais que lidam com os tais sedimentos. Dessa forma, é conveniente destacar a tradicionalmente adotada por sedimentólogos, não por engenheiros e nem por pedólogos, conforme tabela 2.3 de Udden–Wentworth *in* DOBEHEINER (1987), que apresenta as classes e sua correspondência na escala Phi. Deve-se observar que o

crescimento absoluto dos valores negativos de Phi, indica aumento do tamanho dos grãos.

Tabela 2.3 – Tamanho do grão, classificação granulométrica e escala Phi.

TAMANHO DO GRÃO (mm)	CLASSE GRANULOMÉTRICA	ESCALA ϕ
>256	calhau	<-8
64 – 256	matacão	-8 a -6
4 – 94	seixo	-6 a -2
2 – 4	granulo	-2 a -1
1 – 2	areia muito grossa	-1 a 0
0,5 – 1	areia grossa	0 a 1
0,25 – 0,5	areia média	1 a 2
0,125 – 0,25	areia fina	2 a 3
0,0625 – 0,125	areia muito fina	3 a 4
0,031 – 0,0625	silte grosso	4 a 5
0,0156 – 0,031	silte médio	5 a 6
0,0078 – 0,0156	silte fino	6 a 7
0,0039 – 0,0078	silte muito fino	7 a 8
<0,0039	argila	>8

Fonte: Geotecnia de Arenitos Brandos, Síntese de tese nº 08, ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia) .

Baseados na escala Phi, os sedimentólogos frequentemente determinam parâmetros que descrevem a distribuição granulométrica, como a média, o desvio padrão e a assimetria. Essas características da distribuição dos tamanhos dos grãos são uma ferramenta útil no auxílio à interpretação dos ambientes de sedimentação.

Essa escala representa a vasta gama de grãos encontrados nos sedimentos. Os intervalos das classes granulométricas são diferentes em tamanho e muitas delas têm seus limites em frações de milímetros. Esses motivos levaram os sedimentólogos a adotarem a escala Phi, uma escala logarítmica de base 2 que gera classes granulométricas cujos intervalos são inteiros. A escala é baseada na relação abaixo:

$$\text{Phi} = -\log_2 d, \text{ onde } d \text{ é o diâmetro do grão em milímetros.}$$

A análise granulométrica de depósitos sedimentares antigos e nesse caso cimentados por óxidos ferruginosos pode apresentar um elevado grau de dificuldade se comparado a solos e sedimentos. Esse fato deve-se à consolidação e cimentação da rocha, o que torna, muitas vezes, extremamente difícil, ou, no limite, impossível, a desagregação da rocha para posterior análise por peneiramento e sedimentação. A utilização de lâminas delgadas é a forma mais comum para se estimar a distribuição granulométrica de arenito. Considerando-se que os grãos de arenitos se apresentam, aleatoriamente orientados no espaço, o plano de corte de uma lâmina petrográfica atravessa grande parte dos grãos marginalmente, exibindo um diâmetro aparente, que é menor que o diâmetro máximo dos grãos. Assim, granulometria por peneiramento e por análise petrográfica não produzem o mesmo resultado. Há tendência desse último procedimento subestimar o diâmetro médio dos grãos. FRIEDMAN, (1962) e BURGUER & SKALA, (1979) *in* DOBEHEINER, (1987), apresentaram resultados de comparações sistemáticas entre o tamanho dos grãos medidos por peneiramento e em lâmina, sugerindo formas de correção para esse efeito, conhecido como corpuscular.

2.5.12 Componentes deposicionais: arcabouço, matriz e poros originais

Para se entender a dificuldade de caracterização das dimensões dos grãos dos arenitos consolidados é necessário observar o seu arranjo ou arquitetura. Um arenito é internamente formado pelos grãos do arcabouço, pela matriz, pelo cimento e pelos poros.

Nesse sentido, os componentes deposicionais de um agregado sedimentar (rocha ou depósito sedimentar inconsolidado) são três: o arcabouço, a matriz e a porosidade primária. O arcabouço corresponde à fração clástica principal (que dá nome à rocha ou ao depósito) e às frações mais grossas que esta. No arenito o arcabouço são os grãos de areia, fina média e grosseira.

O material clástico mais fino compõe a matriz. No exemplo do arenito, a matriz seria constituída pelos grãos menores do que 0,062mm, ou seja, grãos de silte e argila.

Os poros originais, ou porosidade primária refere-se ao volume, à geometria e à distribuição de poros do agregado sedimentar no momento da deposição e só é aparentemente preservada quando é imediatamente preenchida por cimento. Nesse caso,

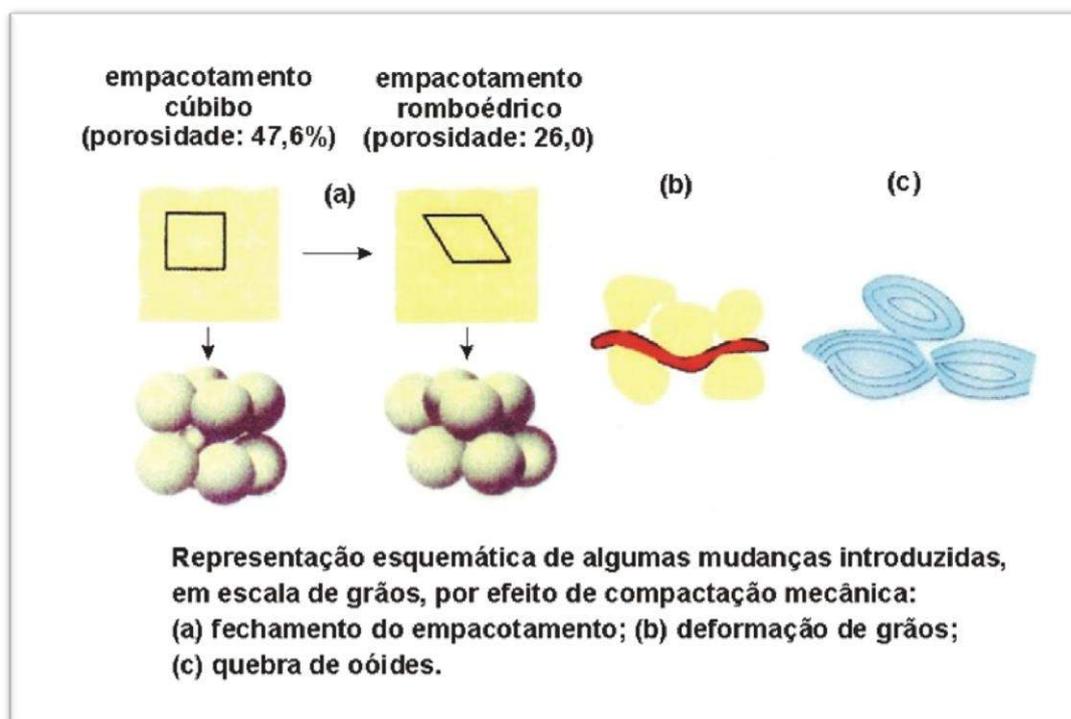
o cimento que a preenche é interpretado como precoce e deve ter se formado no início da diagênese, logo após a deposição, restringindo a compactação.

2.5.13 Componentes diagenéticos: cimento e porosidade primária e secundária

Os processos diagenéticos incluem dissolução e fragmentação, o que equivale a criar poros. Por outro lado, a diagênese é igualmente capaz de fechar poros, ou seja, pela precipitação de minerais sob a forma de cimento. Desse modo, os principais componentes introduzidos num agregado sedimentar por diagênese são a porosidade secundária e o cimento.

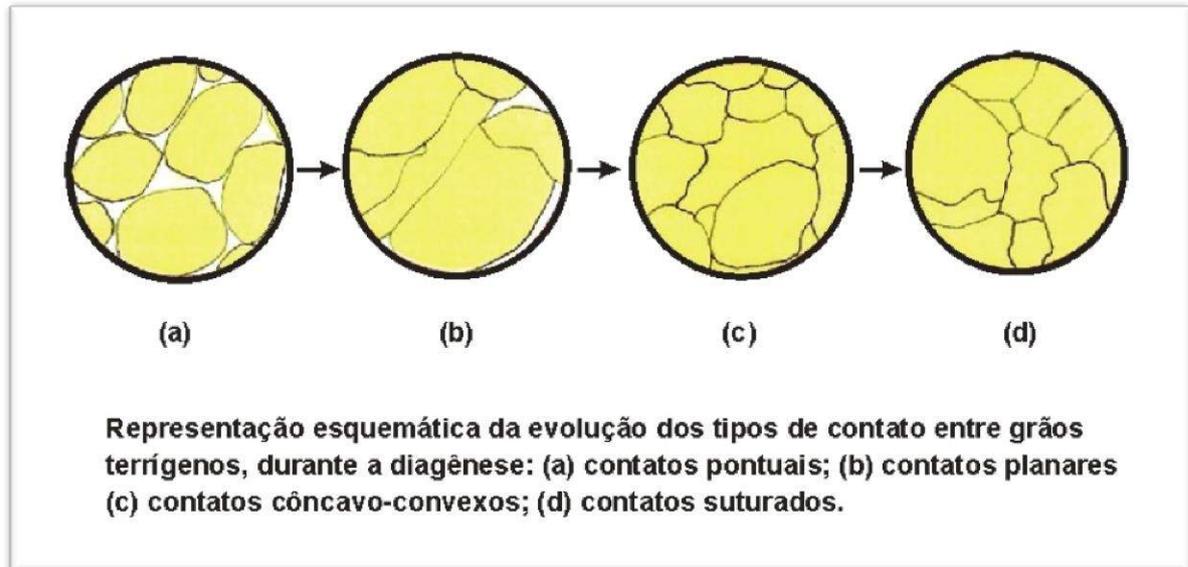
A porosidade secundária resulta da interação química do arcabouço e da matriz com a água intersticial, favorecida ou não pelas condições diagenéticas de temperatura e pressão.

As Figuras 2.11, 2.12, 2.13 e 2.14, ilustram a evolução dos tipos de contacto, os componentes deposicionais e os componentes diagenéticos.



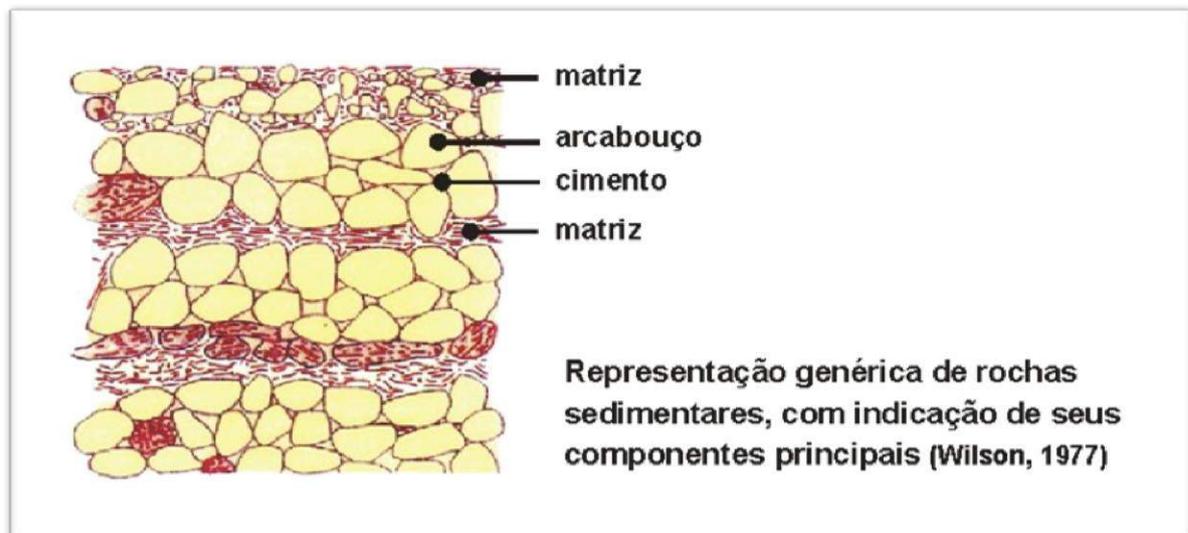
Fonte: Extraído de TEIXEIRA, W., TOLETO, M.C., FAIRCHILD, T.P. & TAIOLI, F. (2000), Decifrando a Terra, Editora Oficina de Textos, São Paulo.

Figura 2.11 - Representação esquemática de algumas mudanças introduzidas em escala de grãos, por efeito da compactação mecânica.



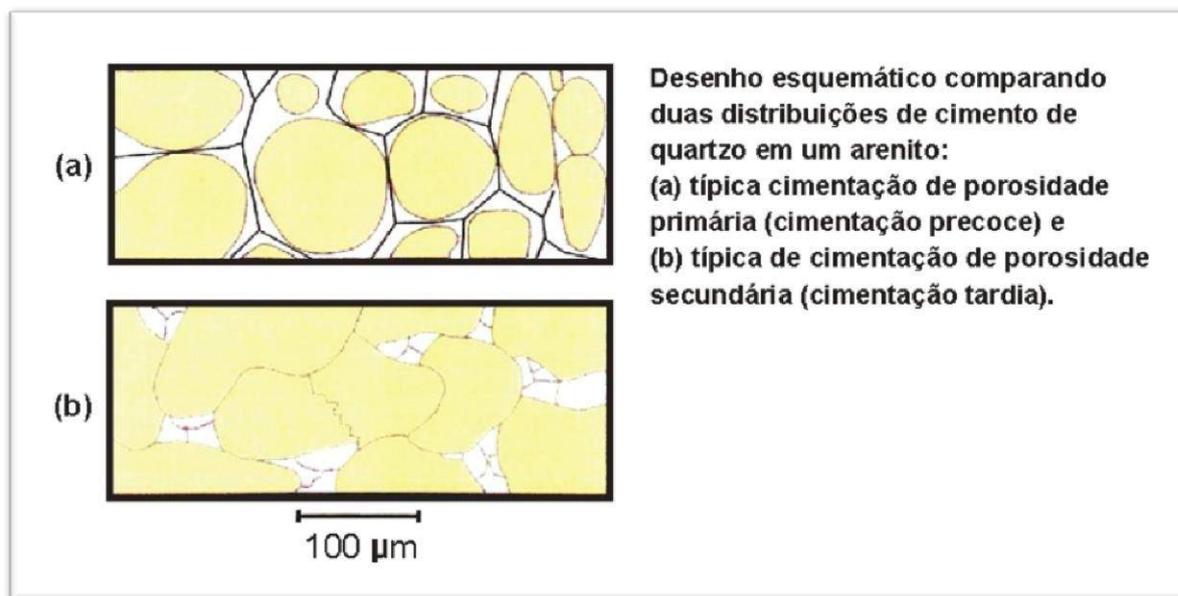
Fonte: Extraído de TEIXEIRA, W., TOLETO, M.C., FAIRCHILD, T.P. & TAIOLI, F. (2000), Decifrando a Terra, Editora Oficina de Textos, São Paulo.

Figura 2.12 - Representação esquemática da evolução dos tipos de contato entre os grãos.



Fonte: Extraído de TEIXEIRA, W., TOLETO, M.C., FAIRCHILD, T.P. & TAIOLI, F. (2000), Decifrando a Terra, Editora Oficina de Textos, São Paulo.

Figura 2.13 - Representação genérica de rochas sedimentares, com indicação de seus componentes principais.



Fonte: Extraído de TEIXEIRA, W., TOLETO, M.C., FAIRCHILD, T.P. & TAIOLI, F. (2000), Decifrando a Terra, Editora Oficina de Textos, São Paulo.

Figura 2.14 - Desenho esquemático comparando duas distribuições de cimento de quartzo em um arenito.

2.5.14 Alguns aspectos geomecânicos das rochas sedimentares

De início convém destacar que os tipos rochosos sedimentares abordados neste estudo fazem parte do domínio das rochas brandas, cujas propriedades podem variar desde um comportamento típico de areias até arenitos resistentes.

A definição de arenito brando tem relação com as definições e classificações propostas por DOBEREINER (1987) pela Sociedade Geológica de Londres (1970), da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (1978) e pela proposta de MOGENSTERN e EIGENBROD *in* DOBEHEINER, (1987), segundo a seguinte descrinação para sedimentos argilosos: (EB, extremamente brando; MUB, muito brando; B, brando; MDB, moderadamente brando; MDR, moderadamente resistente; R, resistente; MUR, muito resistente; ER, extremamente resistente).

No presente estudo optou-se pela definição e classificação da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas que possui a seguinte variação de resistência à compressão axial:

EB – extremamente brando – menor que 0,5 MPa até 1 Mpa.

MUB – muito brando – maior que 1 até 5 MPa.

B – brando – maior que 5 MPa até 25 MPa.

MDR – moderadamente resistente – maior que 25MPa até 50 MPa.

R – resistente – maior que 50 MPa até 100MPa.

MUR – maior que 100MPa até 250MPa.

ER – maior que 250MPa até 700MPa.

Nesse contexto os valores de resistência à compressão simples obtidos pelo conglomerado ferruginoso no ensaio de compressão axial atingiram valor máximo de 51,1 MPa e valor mínimo de 22,9 MPa, sendo assim considerada uma rocha moderadamente resistente a resistente.

2.6 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

Por tratar o presente estudo de tecnologia de rocha como agregado para concreto, faz-se necessário apresentar alguns conceitos básicos sobre as propriedades adotadas na engenharia do concreto, sem intenção de aprofundar em tecnologia do concreto, uma vez que essa disciplina não faz parte do escopo da tese. Assim pode-se dizer que as propriedades do concreto fresco são: consistência, textura, trabalhabilidade, integridade da massa (oposto de segregação), poder de retenção de água (oposto de exsudação) e massa específica. As quatro primeiras são, muitas vezes, englobadas sob o termo de trabalhabilidade, medindo-se normalmente esta propriedade pela medida de consistência PETRUCCI, (1973).

Apesar de ser a mais importante característica do concreto fresco, a trabalhabilidade é de difícil conceituação, visto envolver ou englobar uma série de outras propriedades, não havendo, ainda, completa concordância sobre quais sejam essas propriedades, segundo PETRUCCI, (1973).

Os principais fatores que afetam a trabalhabilidade são subdivididos entre fatores internos e fatores externos, conforme segue:

1 - Fatores internos

- a) consistência, que pode ser identificada pelo fator água/cimento ou teor de água/materiais secos;
- b) proporção entre cimento e agregado, usualmente denominada traço;
- c) proporção entre agregado miúdo e graúdo, que corresponde a granulometria de concreto;

- d) forma de grãos do agregado, dependendo do modo de obtenção (agregado em estado natural e obtido por britagem);
 - e) aditivos.
- 2 - Fatores externos
- a) tipos de mistura (manual ou mecanizada);
 - b) tipo de transporte;
 - c) tipo de lançamento;
 - d) dimensões e armaduras da peça a executar.

A influência desses fatores não se manifesta no mesmo sentido, ainda mais considerando a influência conjunta de todos eles PETRUCCI, (1973).

2.6.1 Resistência do concreto

A resistência do concreto é considerada comumente como sua propriedade mais importante, embora em muitos casos práticos outras características, tais como durabilidade e impermeabilidade possam ser mais relevantes. Contudo, ela oferece um quadro geral da qualidade do concreto à medida que é relacionada diretamente com a estrutura da pasta de cimento endurecida ORCHARD, (1964).

Na prática de engenharia, a resistência do concreto em uma dada idade de cura (curado) a uma temperatura preestabelecida, depende principalmente de dois fatores: fator água/cimento e grau de compactação. O fator água/cimento determina a porosidade da pasta de cimento endurecido em um estágio qualquer de hidratação, resultando assim, junto com o grau de compactação, no volume de vazios no concreto (NEVILLE, 2016).

Ainda podemos dizer que a relação entre a resistência e o volume total de vazios não é uma propriedade única do concreto, mas é também encontrada em outros materiais frágeis, em que a passagem de água provoca o aparecimento de poros. Por exemplo, a resistência da argamassa é uma função de seus vazios (SCHILLER, 1958).

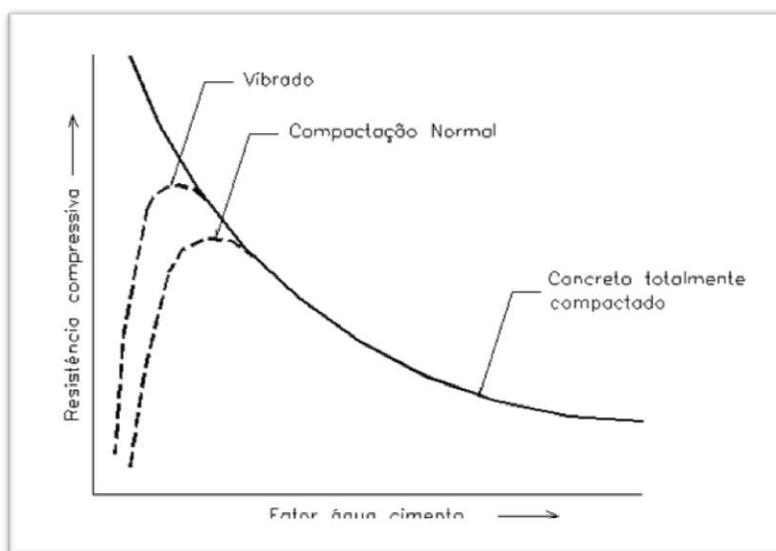
Em resumo, a resistência do concreto é provavelmente influenciada pelo volume de todos os vazios no concreto: poros capilares, poros gel e entradas de ar, quando existentes NEVILLE, (2016).

A Figura 2.15, mostra que a validade da faixa de domínio do fator água/cimento é limitada. No extremo inferior do eixo horizontal, a curva é interrompida quando a compactação máxima não é mais possível de ser obtida; a posição real do ponto de partida depende dos meios da compactação a serem utilizados. Observa-se que a mistura com fator água/cimento muito baixo e uma quantidade de cimento extremamente alta exibe uma regressão na resistência, principalmente quando se utiliza agregado mais graúdo. Assim, nesse tipo de mistura, um fator água/cimento muito baixo poderia não levar a uma alta resistência. Esse comportamento pode ser devido às tensões induzidas por contração, que restringidas pelas partículas do agregado provocam a ruptura da pasta de cimento ou uma perda de ligação entre o agregado e o cimento. A resistência de um concreto é influenciada pelos seguintes fatores:

- a) fator água/cimento; b) proporção cimento/agregado (traço); c) graduação, textura, forma, resistência e dureza das partículas do agregado; e d) tamanho máximo do agregado.

O fator água/cimento é o mais importante, principalmente quando o máximo tamanho do agregado empregado vai até 40mm NEVILLE, (2016). Segundo WALKER & BLOEM, (1956) a resistência do concreto depende:

- a) da resistência da argamassa; b) da ligação entre a argamassa e o agregado grosso; e c) da resistência das partículas do agregado grosso.



Fonte: NEVILLE, (2016) Propriedades do Concreto, Bookman Editora Ltda, Porto Alegre, Brasil, 887 p. 5a Edição

Figura 2.15 – Relação entre a resistência e o fator água cimento do concreto.

A água para mistura consiste daquela adicionada mais a mantida pelo agregado no momento em que ele vai ser lançado na misturadora. Uma parte desta última é absorvida nos poros do agregado, enquanto a outra existe como água livre na superfície do agregado, e por isso não é diferente da água adicionada diretamente na mistura. Reciprocamente, quando o agregado não está saturado e seus poros estão cheios de ar, uma parte da água adicionada à mistura será absorvida pelo agregado durante os primeiros 30 minutos, ou até depois da mistura. Sob tais circunstâncias a separação entre água absorvida e água livre é um pouco difícil.

O concreto é considerado um material quebradiço, mesmo apresentando uma pequena plasticidade, pois as fraturas são provocadas por cargas estáticas à uma baixa deformação NEVILLE, (2016).

A resistência real da pasta de cimento ou de um material quebradiço similar, tal como a pedra, é muito menor do que a resistência teórica calculada com base na coesão molecular e calculada a partir da energia de superfície de um sólido suposto perfeitamente homogêneo e sem defeitos. A resistência teórica é muito alta. Essa discrepância pode ser explicada pela presença de falhas postuladas por GRIFFITH, (1969), *in* POMPEU, (1976), que provocam uma alta concentração de tensão nos materiais sujeitos a cargas, assim como uma tensão muito alta é alcançada em volume muito pequeno de amostras com uma consequente fratura microscópica, enquanto a tensão nominal média da amostra é comparativamente baixa NEVILLE, (2016).

2.7 CIMENTO PORTLAND



Fonte: Associação Brasileira de cimento Portland (ABCP).

Figura 2.16 - Sacos de cimento empilhados e embalados em sacos de papel especial envoltos em sacos plásticos minimizando entrada de humidade no cimento.

O cimento (derivada do latim *cementu*) é um material cerâmico que, em contato com a água, produz reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, ganhando assim resistência mecânica. É o principal material de construção usado como aglomerante. É uma das principais *commodities* mundiais, servindo até mesmo como indicador econômico.

O cimento Portland recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland. O cimento Portland, numa linguagem técnica, é formado de clínquer triturado, adicionado de algumas frações de gesso. Abordagem sobre o clínquer será feita em seguida. Abaixo é apontado as siglas normalmente utilizadas na bibliografia especializada para os componentes químicos, conforme Tabela 2.3.

Tabela 2.4 - Complexo químico referente ao cimento Portland.

NOME	FÓRMULA	NOME POPULAR	SÍMBOLO
óxido de cálcio	CaO	cal	<i>C</i>
óxido de silício	SiO_2	sílica	<i>S</i>
óxido de alumínio	Al_2O_3	alumina	<i>A</i>
óxido de ferro	Fe_2O_3	óxido de ferro	<i>F</i>
água	H_2O	água	<i>H</i>

Desta forma, a composição de um cimento Portland (genérico) pode ser dada por:

Clínquer				
silicato tricálcico (alita)	$3CaO \cdot SiO_2$	C_3S	42 a 60%	≈85%
silicato bicálcico (belita)	$2CaO \cdot SiO_2$	C_2S	14 a 35%	
aluminato tricálcico	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C_3A	6 a 13%	
ferroaluminato tetracálcico	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C_4AF	5 a 10%	≈10%
Gesso				
sulfato de cálcio	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$			1 a 4%

Fonte: Catálogo da fábrica de cimento Cauê

Fabricação do Cimento

- Do calcário (carbonato de cálcio – $CaCO_3$ – calcita), através de queima, extrai-se a cal (CaO) e joga-se CO_2 na atmosfera.
- $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

- Da argila extraem-se os óxidos SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , através de uma mistura balanceada de todos estes componentes elabora-se o clínquer.
- O gesso, que é o produto de adição final no processo de fabricação do cimento Portland, com o fim de regular o tempo de pega por ocasião da reação de hidratação, é encontrado sob a forma de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hemidrato ou bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4). A gipsita, que é a matéria prima mais utilizada na indústria cimenteira, encontrase no estado natural em grandes jazidas sedimentares.
- As normas para determinação das características físico-química dos diversos tipos de cimento são definidas segundo a Figura 2.17. A Figura 2.18, por sua vez, ilustra a fábrica Cimento Portland em 1895.

Cimento Portland (Normas Brasileiras)							
ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS							
	<table border="1"><tr><td>CDU: 660.910</td><td>JUL/1991</td><td>EB-208</td></tr><tr><td colspan="3">Cimento Portland de alto-forno</td></tr></table>	CDU: 660.910	JUL/1991	EB-208	Cimento Portland de alto-forno		
CDU: 660.910	JUL/1991	EB-208					
Cimento Portland de alto-forno							
	<table border="1"><tr><td>CDU: 660.910.2</td><td>JUL/1991</td><td>EB-1</td></tr><tr><td colspan="3">Cimento Portland comum</td></tr></table>	CDU: 660.910.2	JUL/1991	EB-1	Cimento Portland comum		
CDU: 660.910.2	JUL/1991	EB-1					
Cimento Portland comum							
	<table border="1"><tr><td></td><td>JUL/1991</td><td>NBR 9231</td></tr><tr><td colspan="3">Cimento Portland destinado à cimentação de poços petrolíferos</td></tr></table>		JUL/1991	NBR 9231	Cimento Portland destinado à cimentação de poços petrolíferos		
	JUL/1991	NBR 9231					
Cimento Portland destinado à cimentação de poços petrolíferos							
	<table border="1"><tr><td>CDU: 660.910.2</td><td>JUL/1991</td><td>EB-2</td></tr><tr><td colspan="3">Cimento Portland de alta resistência inicial</td></tr></table>	CDU: 660.910.2	JUL/1991	EB-2	Cimento Portland de alta resistência inicial		
CDU: 660.910.2	JUL/1991	EB-2					
Cimento Portland de alta resistência inicial							
	<table border="1"><tr><td></td><td>JUL/1991</td><td>NBR 5737</td></tr><tr><td colspan="3">Cimentos Portland resistentes a sulfatos</td></tr></table>		JUL/1991	NBR 5737	Cimentos Portland resistentes a sulfatos		
	JUL/1991	NBR 5737					
Cimentos Portland resistentes a sulfatos							
	<table border="1"><tr><td>CDU: 660.910.4</td><td>JUL/1991</td><td>EB-75E</td></tr><tr><td colspan="3">Cimento Portland pozolânico</td></tr></table>	CDU: 660.910.4	JUL/1991	EB-75E	Cimento Portland pozolânico		
CDU: 660.910.4	JUL/1991	EB-75E					
Cimento Portland pozolânico							
	<table border="1"><tr><td></td><td>JUL/1991</td><td>NBR 12969</td></tr><tr><td colspan="3">Cimento Portland branco</td></tr></table>		JUL/1991	NBR 12969	Cimento Portland branco		
	JUL/1991	NBR 12969					
Cimento Portland branco							
	<table border="1"><tr><td>CDU: 660.910</td><td>JUL/1991</td><td>EB-213E</td></tr><tr><td colspan="3">Cimento Portland composto</td></tr></table>	CDU: 660.910	JUL/1991	EB-213E	Cimento Portland composto		
CDU: 660.910	JUL/1991	EB-213E					
Cimento Portland composto							

Fonte: (ABNT) Associação Brasileira de Normas Técnicas

Figura 2.17 - As normas para determinação das características físico-química dos cimentos diversos tipos de cimento.



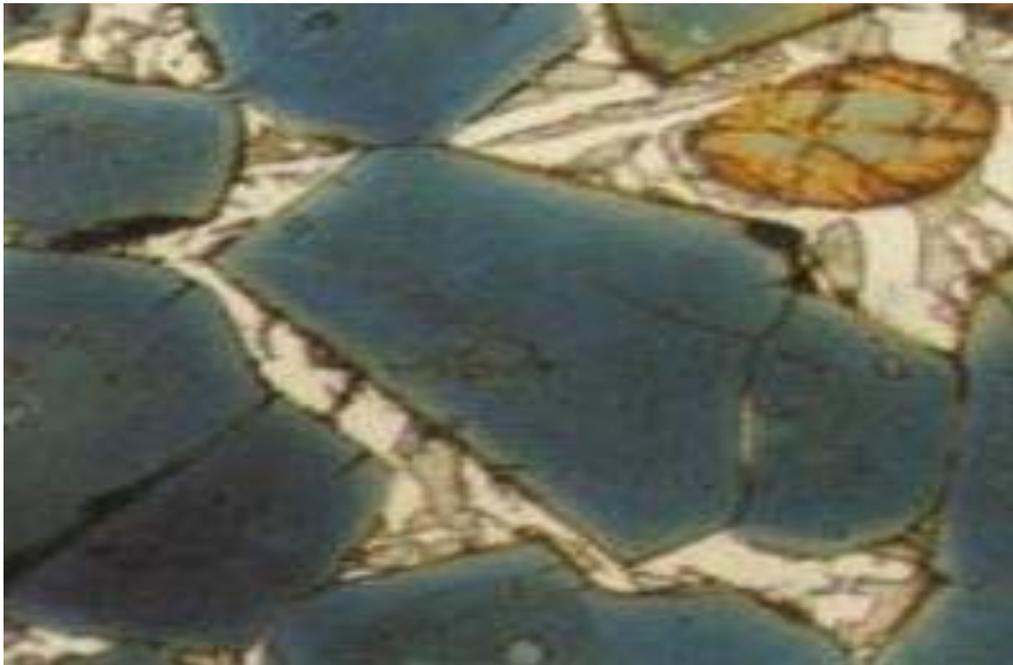
Fonte: Catalogo da fábrica de cimento Cauê

Figura 2.18 - Fábrica de cimento funcionando em 1985 na localidade de Portland, uma ilha Britânica.

No antigo Egito, era utilizado um material feito de gesso calcinado como aglomerante. Entre os gregos e romanos, eram usados solos vulcânicos das proximidades de Pozzuoli ou da ilha de Santorini, que endureciam depois de misturadas com água.

Em 1786 o inglês John Smeaton criou uma mistura resistente através da calcinação de calcários argilosos e moles. Esse é o marco da criação do cimento artificial. Em 1818, o francês Vicat obteve resultados semelhantes aos de Smeaton, pela mistura de componentes argilosos e calcários. Tempos depois, em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. Percebeu que obtinha uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto as pedras empregadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland, que recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland.

Tipos de Cimento Portland



Fonte: Associação Brasileira de cimento Portland (ABCP).

Figura 2.19 - Imagem de microscópio do cimento Portland férrico.

Hoje o cimento Portland é normalizado e existem onze tipos no mercado:

- CP I – cimento Portland comum
- CP I-S – cimento Portland comum com adição
- CP II-E – cimento Portland composto com escória
- CP II-Z – cimento Portland composto com pozolana
- CP II-F – cimento Portland composto com fíler
- CP III – cimento Portland de alto-forno
- CP IV – cimento Portland Pozolânico
- CP V-ARI – cimento Portland de alta resistência inicial
- RS – cimento Portland resistente a sulfatos
- BC – cimento Portland de baixo calor de hidratação
- CPB – cimento Portland branco

• **Cimento Portland comum (CP-I)**

O CP-I, é o tipo mais básico de cimento Portland, indicado para o uso em construções que não requeiram condições especiais e não apresentem ambientes desfavoráveis como exposição à águas subterrâneas, esgotos, à água do mar ou a qualquer outro meio com presença de sulfatos. A única adição presente no CP-I é o gesso (cerca de 3%, que também está presente nos demais tipos de cimento Portland). O gesso atua como um retardador de pega, evitando a reação imediata da hidratação do cimento. A norma brasileira que trata desse tipo de cimento é a NBR 5732.

• **Cimento Portland comum com adição (CP I-S)**

O CP I-S, tem a mesma composição do CP I (clínquer+gesso), porém com adição reduzida de material pozolânico (de 1 a 5% em massa). Esse tipo de cimento tem menor permeabilidade devido à adição de pozolana. A norma brasileira que trata deste tipo de cimento é a NBR 5732.

• **Cimento Portland composto com escória (CP II-E)**

Os cimentos do tipo CP II são ditos compostos, pois apresentam, além da sua composição básica (clínquer+gesso), a adição de outro material. O CP II-E contém adição de escória granulada de alto-forno, o que lhe confere a propriedade de baixo calor de hidratação. O CP II-E é composto de 94% à 56% de clínquer+gesso e 6% à 34% de escória, podendo ou não ter adição de material carbonático no limite máximo de 10% em massa. O CP II-E, é recomendado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento. A norma brasileira que trata desse tipo de cimento é a NBR 11578.

• **Cimento Portland composto com pozolana (CP II-Z)**

O CP II-Z contém adição de material pozolânico que varia de 6% à 14% em massa, o que confere ao cimento menor permeabilidade, sendo ideal para obras subterrâneas, principalmente com presença de água, inclusive marítimas. O cimento CP II-Z, também pode conter adição de material carbonático (fíler) no limite máximo de 10% em massa. A norma brasileira que trata desse tipo de cimento é a NBR 11578.

• **Cimento Portland composto com pozolana (CP II-F)**

O CP II-E é composto de 90% à 94% de clínquer+gesso com adição de 6% à 10% de material carbonático (fíler) em massa. Este tipo de cimento é recomendado desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento, porém não é indicado para aplicação em meios muito agressivos. A norma brasileira que trata desse tipo de cimento é a NBR 11578.

• **Cimento Portland de alto-forno (CP III)**

O cimento Portland de alto-forno contém adição de escória no teor de 35% à 70% em massa, que lhe confere propriedades como; baixo calor de hidratação, maior impermeabilidade e durabilidade, sendo recomendado tanto para obras de grande porte e sujeitas à agressividade (barragens, fundações de máquinas, obras em ambientes agressivos, tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos, esgotos e efluentes industriais, concretos com agregados reativos, obras submersas, pavimentação de estradas, pistas de aeroportos, entre outras) como também para aplicação geral em argamassas de assentamento e revestimento, estruturas de concreto simples, armado ou protendido entre outras. A norma brasileira que trata deste tipo de cimento é a NBR 5735.

• **Cimento Portland Pozolânico (CP IV)**

O cimento Portland pozolânico contém adição de pozolana no teor que varia de 15% a 50% em massa. Esse alto teor de pozolana confere ao cimento uma alta impermeabilidade e conseqüentemente maior durabilidade. O concreto confeccionado com o CP IV apresenta resistência mecânica à compressão superior ao concreto de cimento Portland comum à longo prazo. É especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e a ambientes agressivos. A norma brasileira que trata deste tipo de cimento é a NBR 5736.

• **Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI)**

O CP V-ARI assim como o CP-I não contém adições, porém pode conter até 5% em massa de material carbonático. As características que o diferenciam desse último são processo de dosagem e produção do clínquer. O CP V-ARI é produzido com um

clínquer de dosagem diferenciada de calcário e argila se comparado aos demais tipos de cimento e com moagem mais fina. A diferença de produção confere a esse tipo de cimento uma alta resistência inicial do concreto em suas primeiras idades, podendo atingir 26 MPa de resistência à compressão em apenas 1 dia de idade. É recomendado o seu uso, em obras onde seja necessária a desforma rápida de peças de concreto armado. A norma brasileira que trata desse tipo de cimento é a NBR 5733.

• **Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS)**

Qualquer um dos tipos de cimento Portland anteriormente citados pode ser classificado como resistentes a sulfatos, desde que se enquadrem dentro de uma das características abaixo:

- teor de aluminato tricálcico (C3A) do clínquer e teor de adições carbonáticas de no máximo 8% e 5% em massa, respectivamente;
- cimentos do tipo alto-forno que contiverem entre 60% e 70% de escória granulada de alto-forno, em massa;
- cimentos do tipo pozolânico que contiverem entre 25% e 40% de material pozolânico, em massa;
- cimentos que tiverem antecedentes de resultados de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistência aos sulfatos.

É recomendado para meios agressivos sulfatados, como redes de esgotos de águas servidas ou industriais, água do mar e em alguns tipos de solos.

Tabela 2.5 - Denominação histórica do cimento Portland.

CIMENTO PORTLAND	ANTES DE 1980	1980	1988	A PARTIR DE 1991
COMUM	CP-250	CP-25	CPS-25 CPS-32 CPS-40	CPI-25 CPI-32 CPI-40
	CP-320	CP-32	CPE-25 CPE-32 CPE-40	CP I-S-25 CP I-S-32 CP I-S-40
	CP-400	CP-40	CPZ-25 CPZ-32 CPZ-40	
COMPOSTO				CP II-E-25 CP II-E-32 CP II-E-40
				CP II-Z-25 CP II-Z-32 CP II-Z-40
				CP II-F-25 CP II-F-32 CP II-F-40
ALTO-FORNO	AF-250	AF-25	AF-25	CP III-25
	AF-320	AF-32	AF-32	CP III-32
			AF-40	CP III-40
POZOLÂNICO	POZ-250	POZ-25	POZ-25	CP IV-25
	POZ-320	POZ-32	PAZ-32	CP IV-32
ALTA RESISTÊNCIA INICIAL	ARI	ARI	ARI	CP V-ARI

Fonte: Associação Brasileira de cimento Portland (ABCP).

O cimento é composto de clínquer e de adições que distinguem os diversos tipos existentes, conferindo diferentes propriedades mecânicas e químicas a cada um. As adições também são ou não utilizadas em função de suas distribuições geográficas.

Clínquer

O clínquer é o principal item na composição de cimentos Portland, sendo a fonte de silicato tricálcico $(CaO)_3SiO_2$ e silicato dicálcico $(CaO)_2SiO_2$. Esses compostos trazem acentuada característica de ligante hidráulico e estão diretamente relacionados com a resistência mecânica do material após a hidratação.

A produção do clínquer é o núcleo do processo de fabricação de cimento, sendo a etapa mais complexa e crítica em termos de qualidade e custo. As matéria-primas são

abundantemente encontradas em jazidas de diversas partes do planeta, sendo de 80% a 95% de calcário, 5% a 20% de argila e pequenas quantidades de minério de ferro.

Tabela 2.6 - Principais compostos químicos do clínquer.

<u>Silicato tricálcico</u> $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$	45-75% C_3S (alíta)
<u>Silicato dicálcico</u> $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$	7-35% C_2S (belíta)
<u>Aluminato tricálcico</u> $(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$	0-13% C_3A (celíta)
<u>Ferroaluminato tetracálcico</u> $(\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	0-18% $\text{C}_{4\text{A}}\text{F}$ (felíta)

Fonte: Associação Brasileira de cimento Portland (ABCP).

• **Gesso**

O gesso (ou gipsita) $(\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O})$ é adicionado em quantidades geralmente inferiores a 3% da massa de clínquer. Possui a função de estender o tempo de pega do cimento, ou seja, o tempo para início do endurecimento. Sem essa adição, o tempo de pega do cimento seria de poucos minutos, inviabilizando o seu uso. Devido a esse aspecto, o gesso é uma adição obrigatória, presente desde os primeiros tipos de cimento Portland.

• **Escória siderúrgica**

A escória, de aparência semelhante à areia grossa, é um subproduto de altos-fornos, reatores que produzem o ferro gusa a partir de uma carga composta por minério de ferro, fonte do elemento químico Fe, e por carvão vegetal ou coque, fonte de carbono. Entre diversas impurezas, como outros metais, concentram-se na escória silicatos, que, apesar de rejeitados no processo de metalização, geram características de ligante hidráulico.

Sendo um subproduto, esse material tem menor custo em relação ao clínquer e é utilizado também por elevar a durabilidade do cimento, principalmente em ambientes com presença de sulfatos. Porém, a partir de certo grau de substituição de clínquer a resistência mecânica passa a diminuir.

• Argila pozolânica

As pozolanas ativadas reagem espontaneamente com CaO em fase aquosa, por conterem elevado teor de sílica ativa, SiO₂. Essa característica levou ao uso de pozolanas como ligante hidráulico complementar ao clínquer, com a característica de tornar os concretos mais impermeáveis, o que é útil na construção de barragens, por exemplo.

As pozolanas são, originalmente, argilas, contendo cinzas vulcânicas, encontradas na região de Pozzuoli, Itália. Atualmente, materiais com origens diferentes mas com composições semelhantes também são considerados pozolânicos, tais como as pozolanas ativadas artificialmente e alguns subprodutos industriais como cinzas volantes provenientes da queima de carvão mineral.

O processo de ativação de argilas é amplamente praticado pela própria indústria de cimentos, sendo realizado, geralmente, em fornos rotativos semelhantes àqueles utilizados na fabricação de clínquer ou mesmo em antigos fornos de clínquer adaptados, trabalhando a temperaturas mais baixas (até 900°C) e menor tempo de residência.

Assim como a escória siderúrgica, as pozolanas frequentemente têm menor custo comparadas ao clínquer e só podem substituí-lo até um determinado grau.

• Calcário

O calcário é composto basicamente de carbonato de cálcio (CaCO₃), encontrado abundantemente na natureza. É empregado como elemento de preenchimento, capaz de penetrar nos interstícios das demais partículas e agir como lubrificante, tornando o produto mais plástico e não prejudicando a atuação dos demais elementos. O calcário é também um material de diluição do cimento, utilizado para reduzir o teor de outros componentes de maior custo, desde que não ultrapassando os limites de composição ou reduzindo a resistência mecânica a níveis inferiores ao que estabelece a norma ou especificação. O calcário também alimenta o *blaine* do cimento, tornando o cimento com mais volume.

- **Mineração e processo de produção**

As fábricas de cimento tipicamente instalam-se ao lado de jazidas de calcário e argila de modo a minimizar os custos de transporte. A extração desses materiais realiza-se em geral em lavras de superfície, com auxílio de explosivos. As rochas extraídas são britadas até atingirem tamanhos de aproximadamente 200 mm ou menor e transportadas para a fábrica em transportadores de correia. A seguir, é apresentado um fluxograma, desde a exploração de jazidas, até o produto final entregue ao consumidor, conforme ilustra-se na Figura 2.21, na Figura 2.22, na Figura 2.23 e na Figura 2.24. A Figura 2.25 configura a disposição de estruturas que compõem uma fábrica de cimento.

- **Clínquer**



Fonte: Associação Brasileira de cimento Portland (ABCP).

Figura 2.20 - Fornos rotativos de cimento - Holcim – Bélgica.

A produção de clínquer envolve uma série de processos interdependentes em linha. Há ainda processos de preparação e estocagem de matérias-primas, moagem de cimento e limpeza de gases de exaustão



Figura 2.21 – Fluxograma da exploração do calcário na jazida.

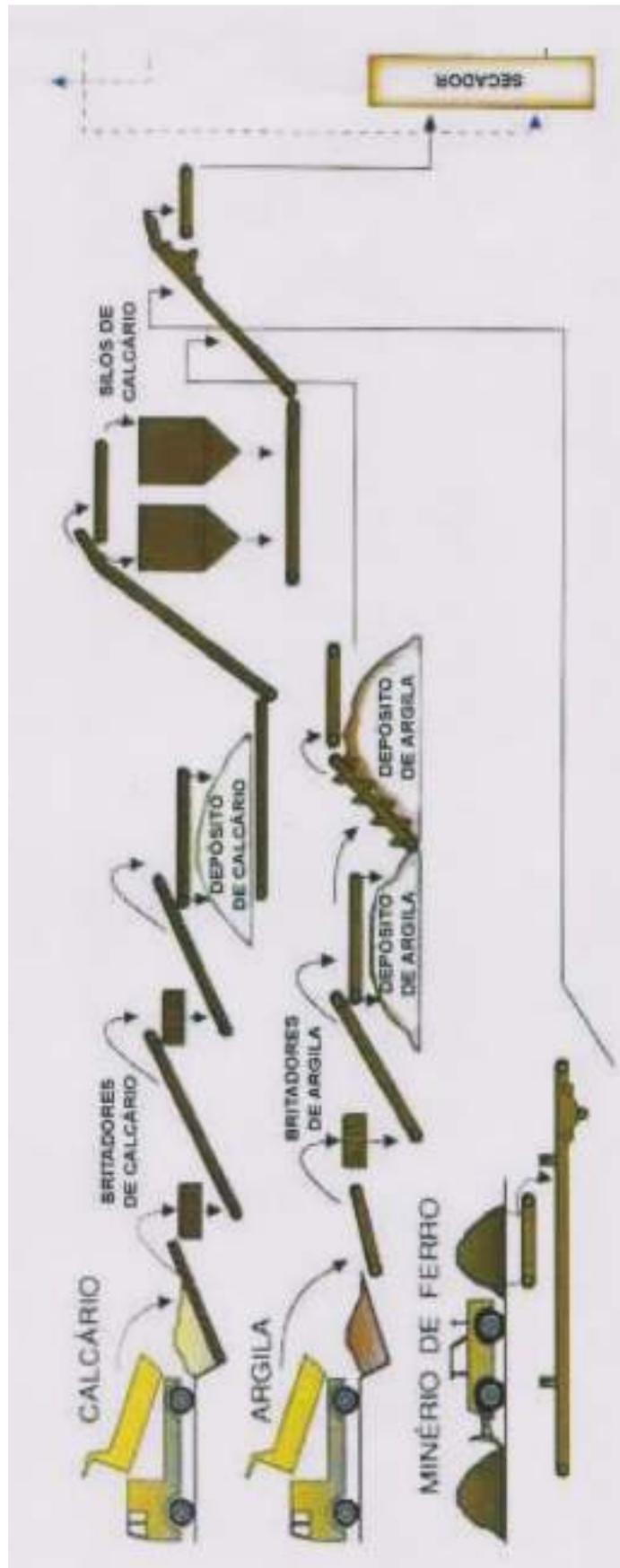
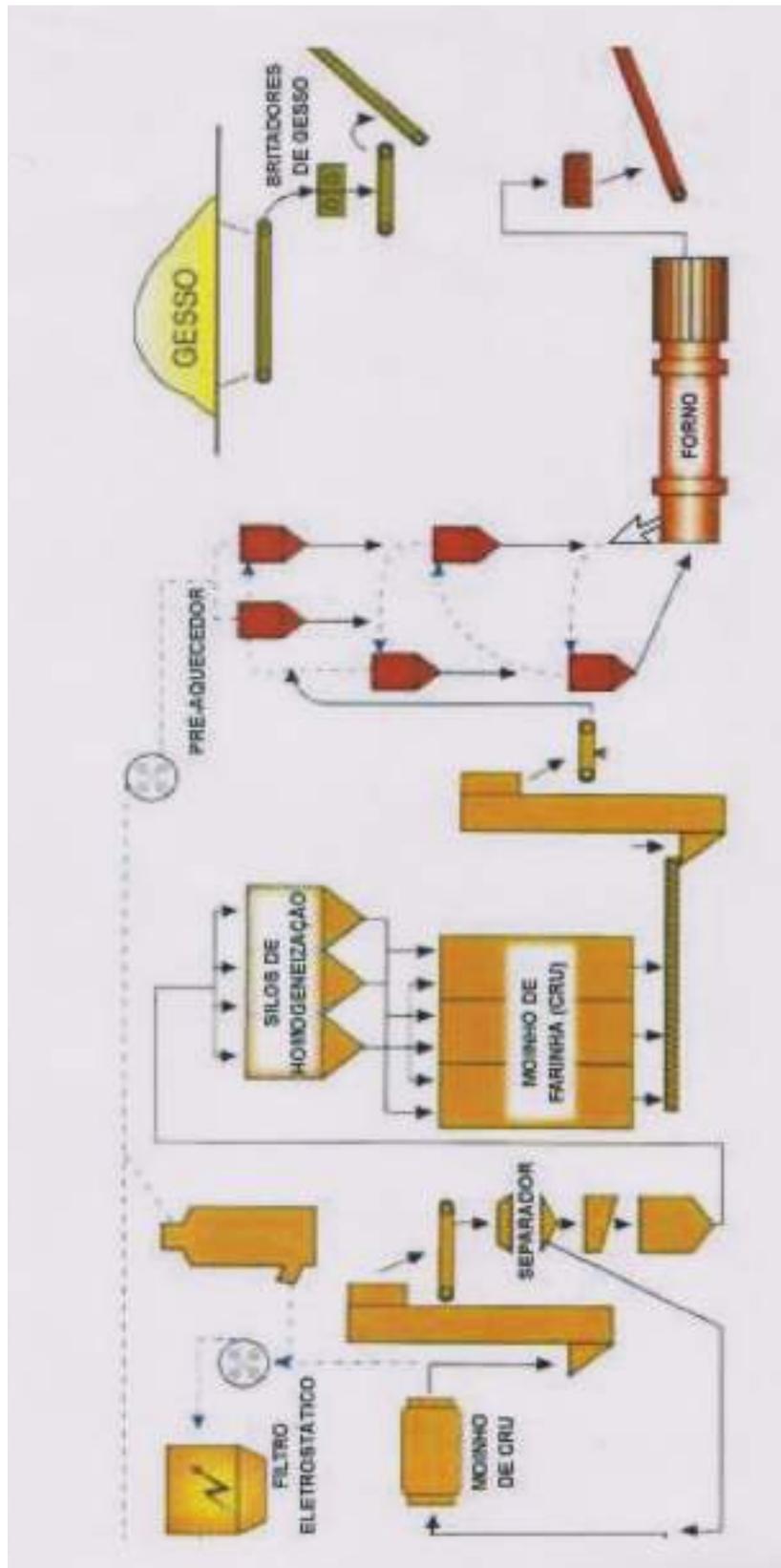
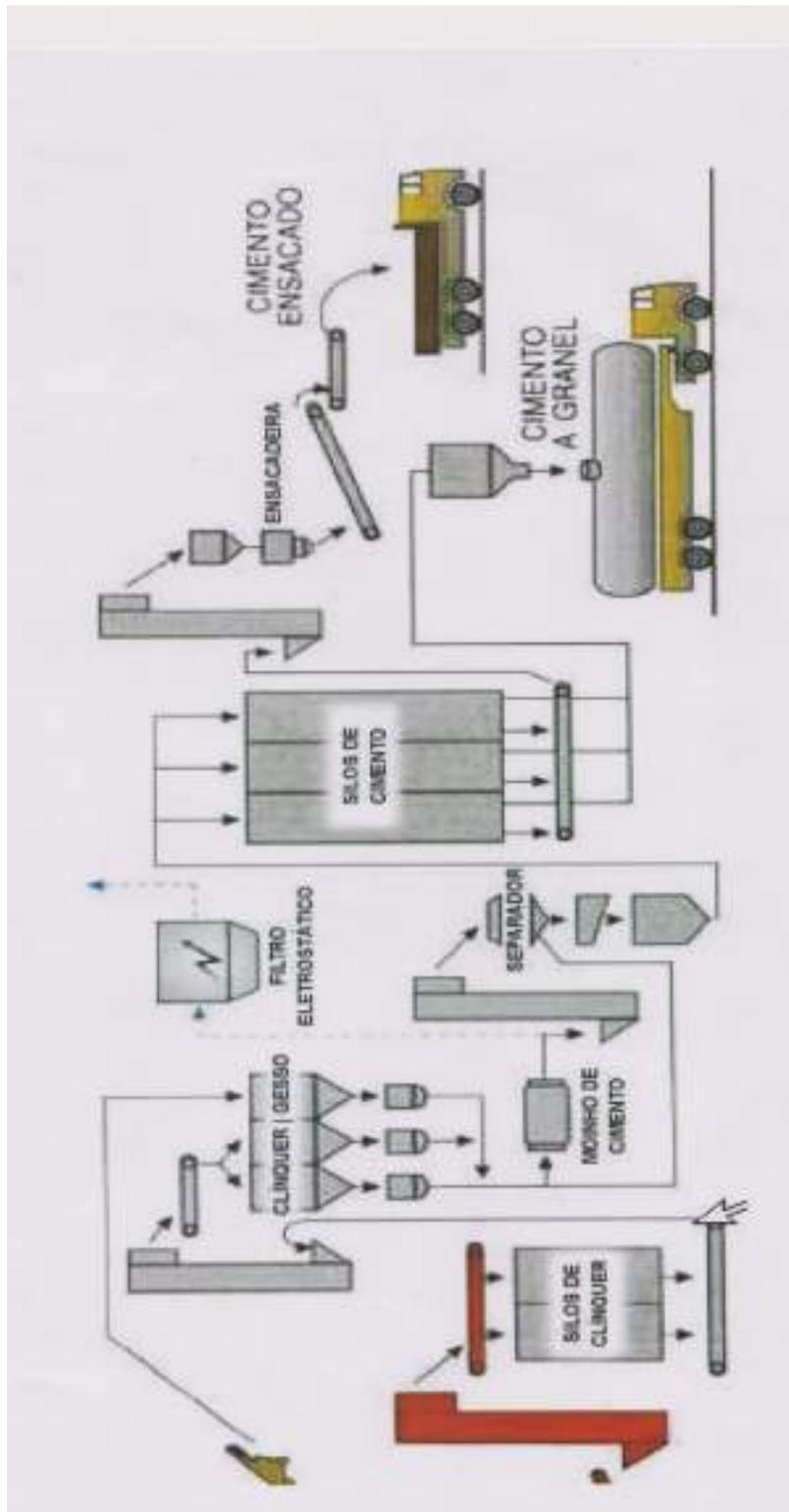


Figura 2.22 - Produção do cimento incluindo todo o processo, até entrega final ao cliente.



Fonte: Associação Brasileira de cimento Portland (ABCP).

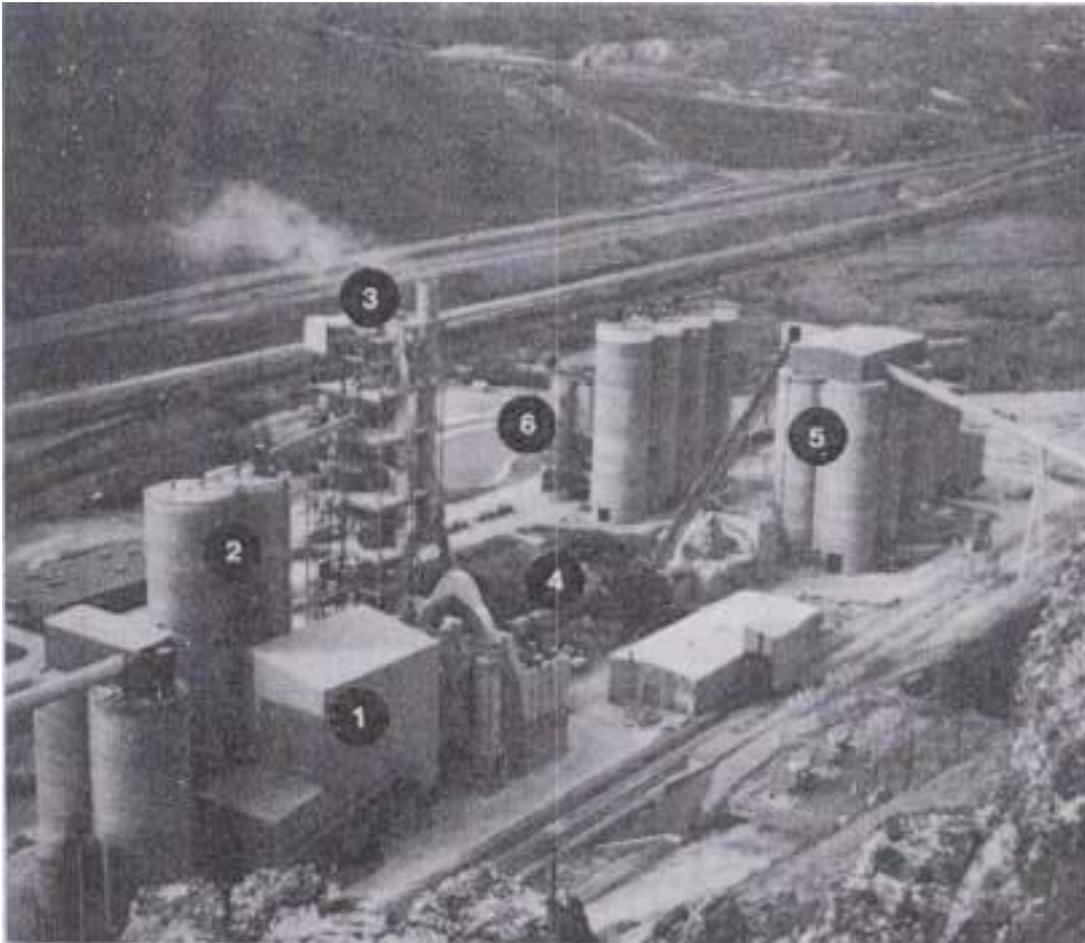
Figura 2.23 - Produção do cimento, incluindo todo o processo, até entrega final ao cliente (continuação)



Fonte: Associação Brasileira de cimento Portland (ABCP).

Figura 2.24 - Produção do cimento, incluindo todo o processo, até entrega final ao cliente (continuação)

Fábrica de Cimento



Fonte: Associação Brasileira de cimento Portland (ABCP).

Figura 2.25 - Vista aérea da fábrica de cimento Portland Ash Grove Cement (na costa oeste dos EUA), em Durkee, Oregon: 1. moagem da matéria-prima; 2. mistura e armazenamento da farinha; 3. pré-aquecedor a suspensão; 4. forno rotativo; 5. armazenamento do clínquer; 6. moagem do cimento (Fotografia por cortesia da “Vagn Johansen, F.L. Smidth, Copenhagen, Denmark”).

• Pré-homogeneização de matérias-primas

As jazidas de calcário e argila apresentam variações de composição ao longo de suas extensões. Por outro lado, a qualidade do produto e a estabilidade do processo de produção requerem materiais quimicamente homogêneos. Para tanto, são empregados sistemas de empilhamento e recarregamento com longas pilhas de material, de modo a criar camadas horizontais provenientes de diferentes lotes, que, posteriormente, são misturadas no próprio processo de recarregamento.

• **Moagem de matérias-primas**

Os materiais provenientes das pilhas de pré-homogeneização são introduzidos em um moinho, ou mais, para que se misturem e atinjam granulometria e umidade adequadas aos processos posteriores. Esse processo, também chamado de, moagem de cru, faz uso de gases quentes residuais do forno de clinquerização, descrito adiante, empregados como fonte de calor para secagem. No jargão da indústria, o produto da moagem é chamado de farinha, de fato, se assemelha-se à farinha de trigo com tom bege. A farinha é armazenada em silos, que também promovem homogeneização e absorvem eventuais assincronias entre o forno e os moinhos de cru.

Os motivos para a redução de tamanho das partículas são a homogeneização e o aumento da superfície exposta, que intensifica reações químicas e trocas de calor entre as partículas e os gases no interior do forno.

• **Pré-aquecimento**

Quase a totalidade dos fornos de cimento atualmente operantes contam com torres de pré-aquecimento, responsáveis por remover a umidade ainda restante no material inferior a 1% e, assim, tem início a descarbonatação do calcário. Os fornos de maior capacidade e mais modernos contam com torres maiores capazes de completar quase totalmente o processo de descarbonatação. Quanto mais eficaz o pré-aquecimento, mais curtos são fornos.

Os pré-aquecedores mais comuns são torres de ciclones. Dispostos em elevadas estruturas, que frequentemente ultrapassam 100 metros de altura, diversos separadores ciclônicos, equipamentos capazes de retirar partículas sólidas de uma corrente de gases, são interligados entre si através de dutos de imersão utilizados para troca térmica que ocorre em torno de 80% entre a farinha alimentada e gases quentes provenientes do forno. Através da seqüência de ciclones fluem os gases quentes provenientes do forno, em contracorrente com a matéria-prima. A medida que essa matéria se mistura com o fluxo de gases, ocorre transferência de calor e transferência de massa. Nos primeiros trechos do processo, elimina-se a umidade superficial, enquanto a temperatura permanece próxima à temperatura de ebulição da água. A partir desse ponto, o material sólido contendo apenas umidade intergranular passa a ser aquecido gradativamente. No fim do processo, o material atinge de 700 °C a 1000 °C, suficiente para a água esteja

eliminada e para se iniciarem decomposições químicas da matéria-prima. Na busca de maior produção e redução de custo, estudos deram origem a mais um estágio no pré-aquecedor conhecido como calcinador responsável por 60% a 95% da calcinação da farinha crua nos fornos rotativos para cimento, baixando a carga térmica na zona de queima, e como consequência, aumentando a vida útil do revestimento refratário.

• Clinquerização

Parte das reações de descarbonatação e a formação de silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio ocorrem no interior do forno de cimento. Os fornos de cimento são na maioria rotativos, cilindros horizontais de até 160 metros de comprimento. Um leve ângulo de inclinação combinado ao lento movimento de rotação, de 0,5 a 4,0 rpm, permite que o material percorra o cilindro à medida que desliza pelas paredes. Internamente, há um revestimento de material refratário que protege a carcaça do forno das altas temperaturas e conserva o calor no seu interior. A matéria-prima permanece no forno por um tempo de aproximadamente 4 horas e atinge temperaturas clinquerização de 1.230°C. Menor temperatura produz cal e maior temperatura apenas aumenta o consumo energético, suficientes para torná-la incandescente e pastosa. A capacidade de produção de um forno médio é de 3.000 a 4.000 toneladas por dia, enquanto os maiores fornos do mundo produzem até 10.000 toneladas por dia

• Resfriamento

Há dois principais tipos de resfriadores empregados atualmente. Um dos tipos corresponde aos fornos mais antigos, ainda operantes, que utilizam resfriadores satélites, cilindros menores solidários ao movimento de rotação do forno, acoplados a sua carcaça. O segundo tipo abrange os fornos que transformam silicato tricálcico, instável à alta temperatura, em silicato dicálcico, o que diminui a resistência do cimento.

Hoje, os resfriadores modernos, além de propiciarem uma ótima troca térmica, também possibilitam a recuperação de gases quentes que são reutilizados no processo de fabricação, que seriam o ar secundário, auxiliar na combustão na zona de queima, o ar terciário, auxiliar na combustão do calcinador, e o ar de excesso, gerados em algumas plantas, na troca de calor do moinho com a matéria-prima. O produto *clínquer*, ainda é moído e diluído em gesso, calcário e/ou escória siderúrgica para se chegar ao produto

final. Construídos a partir da década de 1980, os resfriadores, em geral, dotados de resfriadores de grelha, com ventilação forçada, possibilitando maior taxa de transferência de calor entre o clínquer e o ar entrante. Dessa forma, reduz-se a temperatura de saída do material, recuperando-se parte de sua energia, aumentando a eficiência do sistema.

Além da eficiência energética, os resfriadores têm suma importância na qualidade do produto. O tempo e seu perfil de resfriamento são essenciais para a determinação de suas propriedades químicas finais.

• **Combustíveis**

A produção de cimento consome muito combustível. Geralmente utiliza-se uma combinação de diversos produtos como óleo, coque de petróleo e resíduos industriais. Cerca de 7% das emissões de CO₂ no planeta são decorrentes da produção de cimento, devido à combustão e ao processo de descarbonatação da matéria-prima.

Aproveitam-se as altas temperaturas e o tempo de permanência dos gases no forno para empregar combustíveis de difícil utilização em queimas, como pneus picados. Em outras condições, esse tipo de combustível poderia emitir altas concentrações de substâncias extremamente tóxicas, tais como dioxinas e furanos, devido à queima incompleta. Além disso, o calcário e a cal contidos na mistura, têm a característica de reagir com o enxofre proveniente dos combustíveis, evitando maiores emissões de óxidos de enxofre na atmosfera e prevenindo, por exemplo, a ocorrência de chuva ácida.

• **Coprocessamento**

O coprocessamento é uma técnica já há muito tempo utilizada em países da Europa, Japão e EUA, que consiste em transformar resíduos em combustíveis alternativos e/ou substitutos de matéria prima, reduzindo desta forma, o consumo de combustível fóssil, e assim sendo, contribuindo com o meio ambiente.

2.8 AGREGADOS PARA CONCRETO

A qualidade de um concreto depende, evidentemente, da qualidade de seus componentes. O concreto tem uma mistura de cimento, agregados miúdos e graúdos e água. De forma bastante resumida o concreto é denominado de concreto de cimento Portland ou hidráulico. O cimento foi abordado, especificamente, em item anterior.

Neste ponto, estar-se-a dando ênfase à qualidade e características dos seus componentes, pois chegam a participar com 75 até 85% do peso do concreto. Os agregados são usados no concreto tanto por razões técnicas como econômicas. Suas funções no concreto podem ser assim resumidas, PETRUCCI, (1973):

- 1) contribuir com grãos capazes de resistir aos esforços solicitantes, ao desgaste e à ação das intempéries;
- 2) reduzir as variações de volume provenientes de causas várias; e
- 3) reduzir o custo do concreto.

Considerando que, às vezes, os cimentos de concreto interagem e até reagem com os agregados é importante que se conheça, mesmo de maneira simplificada, a natureza desse aglomerante, conforme COUTINHO, (1974) *in* FRAZÃO, (2002)

Cabe enfatizar que, até mesmo para organizar o raciocínio e de forma resumida, o cimento Portland é um material pulverulento, constituído basicamente de silicatos e aluminatos de cálcio complexos, que, misturados com a água, se hidratam e produzem endurecimento da massa, a qual poderá oferecer elevada resistência mecânica. O cimento Portland resulta de uma moagem de um produto denominado clínquer, obtido do cozimento até fusão incipiente (+ 30% de fase líquida) de uma mistura de calcário e argila convenientemente dosada e homogenizada, de tal forma que a cal resultante se combine com os compostos argilosos sem deixar cal livre em quantidade prejudicial.

É corrente representar os compostos de cimento na forma de óxidos: cal (CaO), sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃), óxido de ferro (Fe₂O₃), magnésio (MgO), álcalis (Na₂O e K₂O) e sulfatos (SO₄).

Os percentuais de ocorrência de cada componente no cimento já foram abordados em item pertinente ao cimento.

Os requisitos destinados a agregados para concreto para que os mesmos possam exercer adequadamente suas funções no concreto devem incluir segundo FRAZÃO & PARAGUASSU, (1998) *in* FRAZÃO, (2002):

- 1) distribuição granulométrica tal que permita uma boa compacidade do concreto, com vistas à obtenção de uma massa com o menor índices de vazios possível, propiciando economia de cimento e água, sem prejudicar uma eficiente ligação entre partículas;
- 2) forma das partículas deve se a mais equidimensional possível, para permitir boa trabalhabilidade, boa compacidade e alta resistências do concreto e esforços solicitantes;
- 3) adequada resistência mecânica, para suportar as solicitações físicas durante a preparação do concreto e resistir e aos esforços solicitantes sobre o concreto endurecido, quando aplicado na obra;
- 4) adequada composição mineralógica, para satisfazer as condições químicas reinantes durante a cura do concreto e suportar ações químicas externas;
- 5) ausência de impurezas que possam empobrecer a qualidade do concreto e interferir no seu desempenho posterior; e
- 6) propriedades térmicas dentro dos limites que não afetem o concreto durante seu endurecimento e não lhe causem anisotropias físicas nefastas.

2.9 PROCESSOS DE INVESTIGAÇÃO

Regulagem da abertura do britador - O britador foi regulado com aberturas alternativas, a saber: 2”, 1 ½ “ e 1” para fornecer a brita número 03, com finura de 25 a 50mm.

Pesquisa do material pétreo – A técnica empregada é consagrada no meio tecnológico e científico e traduzida por três (03) fases no presente estudo:

- investigações diretas referem-se às sondagens manuais e mecânicas;
- investigações manuais referem-se a poços de inspeção, trados manuais e trincheiras;
- investigações mecânicas se referem às sondagens a percussão, roto percussivas e rotativas com recuperação de testemunhos;
- investigações indiretas são os métodos geofísicos terrestres e aeroportados;

- os métodos de investigação terrestres indiretos considerados são a sísmica de refração, a sísmica de reflexão, as sondagens elétricas em suas diferentes modalidades;
- métodos de investigação aeroportados considerados são o de magnometria e de, sensoriamento remoto.

Estabelecido esse referencial, as três fases são:

fase 01 - análise de método indireto na detecção do material pétreo/rochoso, sendo que, no presente estudo realizado foi utilizado o sensoriamento remoto, conforme consta do Capítulo 5.

fase 02 – a) reconhecimento geológico-geotécnico de superfície; b) execução de sondagens indiretas e sísmica de refração, para definição do início da camada/horizonte do material laterizado/petrificado para qualificação e quantificação dos volumes; c) amostragem representativa para fins laboratoriais; nesta fase, merece destaque a técnica adotada na prospecção do material nesta modalidade; no presente caso, foram utilizados poços manuais de inspeção com 1,20 m de diâmetro e compatível com a ocorrência do material ou conglomerado ferruginoso laterizado; a técnica empregada foi considerada suficiente para reconhecimento e interpretação geológico-geotécnica do horizonte laterizado petrificado, onde ocorre o conglomerado ferruginoso laterítico . O material também ocorre em forma de afloramento superficial em face aos processos erosivos anteriores (história geológica); esta fase foi suficiente para reconhecimento e interpretação geológico-geotécnica do horizonte de amostragem do conglomerado ferruginoso laterítico (agregado pétreo);

fase 03 – análise laboratorial específica do material pétreo amostrado na fase 02; reúne os ensaios executados em fases anteriores do estudo e nessa fase do estudo.

Material Natural

Foi usado material pétreo natural, tal como saiu do britador. No caso, o conglomerado ferruginoso laterítico (laterita) foi submetido ao processo de britagem, que ao ser britado, forneceu o agregado graúdo, o médio e o fino, recebendo somente água e cimento somente em função dos traços e fator água cimento definidos. Essa menção aqui reportada é uma das fases mais importantes do presente estudo.

Propriedades Tecnológicas

As rochas apresentam grande diversidade de propriedades. Algumas são relevantes para uso, enquanto outras propriedades serão importantes em outras circunstâncias. Algumas rochas terão propriedades diretas, enquanto outras, propriedades indiretas.

As rochas que interessam à construção civil podem ser classificadas através das propriedades: a) geológicas, químico-mineralógicas, petrográficas, estando e estão estreitamente ligadas à natureza da rocha, ou do material pétreo em foco; as propriedades estão refletidas na composição mineralógica, textura, estrutura, estado e tipo da alterações mineralógicas, além das partículas obtidas na fragmentação; conforme SHESTOPEROV, (1983) *in* FRAZÃO, (2002). b) físicas e físico-mecânicas, que são altamente influenciadas pelas propriedades geológicas; as físicas podem ser resumidas em: densidade, massa específica, porosidade, permeabilidade, capacidade de absorção de água, dureza, calor específico, condutibilidade térmica, dilatação térmica, expansibilidade, contratibilidade, adesividade, resistência à compressão, resistência à tração (direta e indireta), resistência ao cisalhamento, ao impacto, à deformabilidade ou à elasticidade, à britabilidade e à abrasividade.

Por fim, cabe mencionar, que existe uma hierarquização dos diferentes graus de importância do conhecimento das propriedades das rochas, conforme seu tipo de aplicação. No caso aplicado aos concretos hidráulicos são importantes as seguintes propriedades: características petrográficas, índices físicos, velocidade de propagação de ondas longitudinais, coeficientes de dilatação térmica, distribuição granulométrica, forma do agregado, reatividade potencial, alterabilidade, resistência ao desgaste, resistência ao impacto, resistência ao esmagamento, resistência à compressão, resistência à flexão e módulo e deformabilidade.

2.10 PRODUÇÃO DE AGREGADOS (MATERIAL PÉTREO) PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

A produção de pedras (material pétreo), para construção civil envolve diversos fatores: tipo de uso da pedra (revestimento de edificações, agregados para concreto, mistura betuminosa, lastro de ferrovias, calçamentos, entre outros usos, características da jazida (maciços ou matacões), escavação (manual, mecanizada ou semi-mecanizada),

tipo de equipamento (rudimentar ou mecânico, automático ou não), natureza da rocha (propriedades físicas e físico-mecânicas).

Esses fatores, dentre outros, são, em geral, interdependentes e definem o tipo de trabalho a ser adotado em cada caso.

A definição do tipo de trabalho, ou processo de produção, passa previamente por uma análise técnico-econômica do empreendimento, a qual levam em conta o capital a ser investido, a organização do trabalho e o método de exploração.

A instalação de pedreiras para produção de pedra britada apresenta duas finalidades. Uma é somente comercial, para atender a demanda de uma cidade ou de uma região. Outra é para suprimento de material para uma dada obra, ou conjunto de obras. A distância entre a pedreira e o mercado consumidor, no caso uma dada obra, deve se a menor possível, para baratear os custos de transporte. As considerações que se seguem são baseadas em PIZZARO, (1957), IPT, (1986) e CARUSO, (1996) *in* FRAZÃO, (2002).

2.10.1 Escolha do local para uma Pedreira

Para a escolha do local de implantação de uma pedreira, devem ser considerados os condicionantes mencionados a seguir:

a) Situação

Segundo este condicionante, estão envolvidas a localização geográfica, a posição topográfica, a existência de acesso às vias de comunicação com a obra, ou com o centro consumidor, a distância entre estes e a pedreira, a existência de habitações na vizinhança, a disponibilidade de pessoal técnico e braçal na região, bem como o custo dessa mão de obra, o vulto dos trabalhos de preparação da praça de serviços (terraplenagem, drenagens entre outros) e a disponibilidade de água e energia elétrica.

b) Características da lavra

Neste fator estão envolvidos: o volume de material estéril, que eventualmente recubra o maciço rochoso, a quantidade de rocha explotável e a modalidade de estruturação geomecânica do maciço rochoso e a presença de matacões.

c) Característica do material

Neste fator estão envolvidas tanto a natureza da rocha, que compreende sua classificação, estado de alteração, estrutura, textura, presença de minerais prejudiciais, como as propriedades tecnológicas.

d) Utilização

Neste fator, estão inclusos os tipos de uso do material (revestimento, pedra britada, paralelepípedo, guias de sarjeta entre outros) e a previsão de demanda da obra ou da região.

2.10.2 Tipos de lavra

A lavra é geralmente feita a céu aberto. Esta é a mais vantajosa para os materiais por ser mais econômica, mais segura, menos insalubre, mais rápida e mais eficiente. A lavra subterrânea só é vantajosa para materiais nobres, de alto preço no mercado, como é o caso de algumas rochas ornamentais na Europa.

A lavra pode ser do tipo de *desmonte em massa*, para produção de pedra britada, ou *desmonte regular*, para produção de blocos dos quais são extraídas chapas para revestimento e pedras de calçamento.

A lavra pode ser executada por diversos métodos, como por desmonte a frio (sem explosivos), a fogo (com dinamite), com fogacho (com pólvora preta) e misto (a frio e com fogacho). O desmonte a frio ou misto são os mais adotados para produção de pedras para revestimento. O desmonte com dinamite é comumente adotado para produção de pedra britada.

O desmonte a frio é comumente feito por encunhamento, por meio de ferramentas manuais apropriadas, por argamassas expansivas e por corte com fios (helicoidal ou diamantado). O encunhamento é adotado, em geral, para as rochas mais brandas, como nos mármore ou cristalinas com pouco ou sem quartzo. Recentemente, a técnica de corte com fios diamantados está sendo utilizada também para algumas rochas graníticas, com sucesso, nos estados do Espírito Santo e Ceará.

2.10.3 Produção de pedra britada

Para a produção de pedra britada, alguns fatores devem ser atendidos, previamente, tais como:

- a) escolha e compra de equipamentos: que envolve preços, condições de venda, garantia do fabricante, prazo e condição de entrega, assistência técnica e mecânica e disponibilidade de peças de reposição entre outros;
- b) criação de infraestrutura: que inclui o estabelecimento de caminhos de serviço, construção de edificações (escritórios, almoxarifado, alojamentos, paióis, para explosivos e para espoletas);
- c) instalação de sistema de produção, que abrange a montagem dos britadores, do sistema de transporte do material fragmentado para os britadores e deste para o sistema classificador, e para os silos de armazenagem da pedra britada.

Para proceder ao desmonte, deve-se preparar previamente a pedreira executando-se os seguintes trabalhos:

- a) retirar o capeamento estéril (se existir), para se ter acesso ao topo do maciço rochoso;
- b) preparar a frente da pedreira (ou frente de ataque), que deve ter uma largura com o volume de produção previsto;
- c) rebaixar o terreno junto à pedreira para o nível mais baixo possível, porém mais elevado que o nível de base topográfico do local;
- d) arrumar a pedreira para permitir a queda, pelo próprio peso, dos fragmentos na praça de serviço; e
- e) planejar o desmonte por bancadas, preferivelmente paralelas às eventuais discontinuidades naturais do maciço (bandeamentos, fraturas entre outras.)

Na execução do desmonte, adota-se efetuar as perfurações (de preferência mecanizadas) de acordo com o pano de fogo preestabelecido. Os explosivos podem ser do tipo pólvora negra, ou pólvora química (para abertura da frente primária e para amostragens) e dinamite.

A dinamite é o tipo de explosivo mais utilizado modernamente e pode ser de base inerte ou de base ativa. A deflagração da explosão pode ser efetuada por espoletas (simples ou elétrica), estopim ou cordão detonante. A espoleta elétrica é a mais utilizada atualmente devido ao fato de proporcionar maior segurança, maior rendimento e por

permitir detonações uma a uma, de forma simultânea. Essas detonações podem ser feitas, por sua vez, em série, em paralelo ou em semi-paralelo para deflagração das detonações ao mesmo tempo, sequenciadas ou combinadas, respectivamente.

Após a fragmentação, a rocha passará por um processo de cominuição, o qual consiste em reduzir suas dimensões a tamanhos utilizáveis como material de construção.

Para a pedra britada, adota-se a cominuição mecânica, devido a sua alta produção e a maior regularidade de dimensões e fragmentos produzidos.

Para a execução da cominuição, são utilizados os britadores, que podem ser de diversos tipos.

A escolha de um britador é baseada nas características físicas e mecânicas da rocha, na capacidade de produção (qualitativa e quantitativa), nas facilidades de funcionamento, de manutenção, montagem, desmontagem e de substituição de peças.

Os britadores mais comuns são os de mandíbulas. Estes são de movimento alternativo (de simples efeito e de duplo efeito). Outros tipos de britadores apresentam movimento contínuo (giratórios ou de rolos).

Os britadores de mandíbulas fragmentam a pedra seu esmagamento contra uma superfície triturante (mandíbula fixa), devido à ação de outra superfície triturante dotada de movimento alternativo (mandíbula móvel). A pedra fragmentada escoar por um funil a cada alternância da mandíbula móvel. No britador de simples efeito, a parte inferior da mandíbula móvel é fixa a um eixo e a parte superior é ligada a um excêntrico. No britador de duplo efeito, a mandíbula móvel tem sua parte superior fixa e a inferior é movimentada por um excêntrico ligado a duas articulações.

Os britadores giratórios apresentam uma superfície triturante fixa, de formato cônico. A superfície móvel é a parte externa de um pinhão convexo que se aproxima e se afasta da superfície côncava, devido à ação de um eixo excêntrico.

No processo de britagem das rochas, haverá maior ou menor desgaste das mandíbulas, ou elementos triturantes, dos britadores.

Os fatores que influem no desgaste estão ligados à natureza da rocha, tipo de britador e condições operacionais, como descrito a seguir:

- a) Características da rocha – Será maior o desgaste quanto maior for o teor de minerais duros da rocha, quanto mais compacta for sua estrutura, quanto mais

fina a sua textura e quanto menos alterados seus minerais. O desgaste será maior se for alto o teor de quartzo, de feldspato e de acessórios, do tipo zircão e turmalina, por apresentarem dureza maior que 5 (que é a dureza da maioria dos tipos de aço utilizados na fabricação das mandíbulas). Rochas de textura e estrutura compacta, além de serem mais resistentes, expõem um maior número de pontos de contato com a superfície da mandíbula. Por outro lado, quanto mais alterada for a rocha, mais facilmente ela será desagregada. Esses fatores também influem no consumo de energia de britagem. As rochas apresentam a seguinte sequência de abrasividade: calcário < basalto < diabásio < gnaisse < granodiorito < granito < quartzito SIRIANI, (1972) *in* FRAZÃO, (2002).

- b) Tipo de britador - Será maior o desgaste se o britador for de um eixo (de simples efeito), porque sua menor produção leva a um tempo maior de residência dos fragmentos na câmara de britagem. Se a curvatura da mandíbula for muito elevada, haverá desgaste excessivo nas regiões mais proeminentes.
- c) Características operacionais - Será maior o desgaste quanto maior a granulometria de operação, menor a abertura da boca do britador, menor a granulometria requerida para o produto e o maior enchimento do britador. Esses fatores também estão ligados ao tempo maior de residência do material na câmara de britagem. Após a britagem, o material produzido será classificado de acordo com as granulometrias de uso por meio de classificadores, que nada mais são do que peneiras de grandes dimensões. Podem ser cilíndrico-rotativos ou plano vibratórios. Os cilíndricos são constituídos de chapas de aço perfuradas com diferentes dimensões dos orifícios menores para as de orifícios maiores. Com a rotação do cilindro, os fragmentos passam pelos orifícios e caem em depósitos, os quais estão justapostos e são em número igual ao das faixas de diâmetros dos orifícios presentes no cilindro. Os classificadores planos vibratórios são constituídos de várias peneiras planas, de malha quadrada, com diferentes aberturas e sobrepostas na posição sub-horizontal com inclinação de cerca de 15 graus. A alimentação é feita na direção das malhas maiores para as menores. A vibração provoca o peneiramento e os fragmentos retidos escoam pelo plano das malhas e caem nos respectivos depósitos. Nos sistemas de britagem

voltados para a grande produção (caso da maioria das pedreiras comerciais), o material classificado é conduzido diretamente para silos, de onde é recolhido por veículos para transportá-lo até o consumidor.

2.11 CRITÉRIOS PARA AVALIAR A QUALIDADE DAS ROCHAS E MATERIAIS PÉTREOS PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A avaliação da qualidade dos materiais rochosos destinados à construção civil pode ser efetuada com base nos valores limites, máximos e mínimos, especificados para as propriedades por entidades normalizadoras e pela avaliação de desempenho após um conveniente tempo desses materiais em serviço. A primeira conduta mencionada pode ser facilmente seguida por meio de especificações existentes, para uma avaliação preliminar. A segunda depende da participação de profissionais que tenham acumulado suficiente experiência no acompanhamento do desempenho desses materiais em obras, para a qual incide o conhecimento das propriedades das rochas, das particularidades das obras e da interação destes com características macro e micro ambientais inerentes à obra e ao meio envolvente.

Nesses casos, estão abrangidas as condições químicas e físicas intrínsecas aos concretos de cimento Portland. Embora a segunda conduta seja fundamental, esta depende da presença do profissional e de registros de acompanhamento confiáveis. Dessa forma, as especificações emitidas pelas entidades normalizadoras, ou aquelas divulgadas por entidades científicas e profissionais competentes, tem grande serventia para auxiliar a escolha dos materiais rochosos para os diferentes tipos de uso na construção civil.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

3.1 PROGRAMA DE INVESTIGAÇÕES, ENSAIOS REALIZADOS, MÉTODOS E MATERIAIS PÉTREOS

Os objetivos específicos foram elencados à luz da realidade do presente estudo, tais como mapa identificatório das áreas de ocorrência de laterita, análises física, química, mecânica e geológica da laterita, conhecimento detalhado das curvas granulométricas do conglomerado ferruginoso laterítico quando britado em britadores primários e secundários, tendo como base referencial a curva teórica de “FULLER”, moldagem e rompimento de corpos de prova separados, utilizando o conglomerado ferruginoso laterítico e empregando a brita granítica de Rosário no estado do Maranhão e que serviu de base referencial de resistência dos corpos de prova mediante o uso de brita convencional, uma vez que o conglomerado ferruginoso laterítico utilizado neste estudo trata-se de um agregado não convencional.

Esse conjunto de procedimentos levaram e dirigiram o estudo para se obter a valor máximo atingido no sentido de serem avaliadas as condições que possibilitaram a obtenção de altas resistências do concreto quando moldado e rompidos os corpos prova elaborados por meio de traços e fatores água cimento otimizados durante o estudo.

3.2 INVESTIGAÇÕES

As investigações para entendimento de desafios e dúvidas pertinentes ao presente estudo tiveram como apoio as diretrizes expostas na sequência do texto:

- a) Inicialmente, em uma primeira fase, foi executado uma série de reconhecimentos de campo, através de caminhamentos e com auxílio de mapa cartográfico do IBGE na escala 1: 50.000 e fotos aéreas na escala 1: 40.000 da USAF. Nessa fase, já se tinha a idéia do conhecimento teórico do problema que consistia na identificação dos tipos rochosos laterizados existentes na ilha de São Luís (MA), conforme detalhado em fases anteriores do estudo. O contato pessoal com as explorações ou lavras do material pétreo na ilha de São Luís foi fundamental nas primeiras formulações

relacionadas ao conhecimento do problema no sentido de se esboçar um planejamento que pudesse viabilizar o presente estudo.

- b) Seguiu-se uma série escavatória de poços e explorações do material laterítico objetivando identificar os horizontes litológicos laterizados e respectivas amostragens dos tipos rochosos lateríticos para fins de ensaios de laboratório, o que resultou numa hierarquização da qualidade dos tipos rochosos laterizados, sendo concluído que o conglomerado ferruginoso laterítico possui melhor qualidade, conforme demonstrado em estudos anteriores, segundo OLIVEIRA, (2008)
- c) Complementarmente, elaborou-se reconhecimento da região por meio de um trabalho de sensoriamento remoto, cuja procedimento baseou-se no processamento de imagens digitais do sensor TM LANDSAT 5-TM, com suporte, dos aplicativos ENVI 5.0 e ArcGis 9.3, que constituem importante ferramentas na localização de áreas contendo óxidos e hidróxidos de ferro (laterita). Após essa atividade, intenso trabalho de campo foi realizado, por um período de três (03) meses em que foram cadastrados 47 pontos/jazidas/lavras, dos diferentes tipos de agregado laterítico existentes na Ilha de São Luís (MA). Nesse contexto, foram cadastradas áreas de ocorrências, áreas de extrações desativadas e áreas de extrações ativas, conforme indicado nas fichas de campo, numeradas de 1 até 47. Evidência-se que existe, na região, uma constante dinâmica relacionada aos múltiplos e variados requerimentos de áreas de pesquisas referentes as lateritas e as areias de São Luís do Maranhão. Menciona-se aqui o fato de que, num passado recente, a Ilha de São Luís, ter sido palco de requerimento para fins de pesquisas multivariadas referente a minerais de diferentes classes estabelecidas pela Agência Nacional de Mineração (A.N.M), incluindo ouro e bauxita. Segundo notícias e informes recolhidos pessoalmente pelo autor, foi o empresário Eike Batista que, através de suas empresas, provocou uma situação potencialmente bastante complicada junto aos proprietários de terras, os quais exploravam a laterita de forma ilegal. A situação está, neste momento, aparentemente normalizada e pacificada, uma vez que tal empresário desistiu dos processos de requerimentos de pesquisas multivariadas.

3.3 ENSAIOS REALIZADOS

O conglomerado ferruginoso laterítico foi submetido a ensaios geológicos, químicos, físicos e mecânicos, conforme relatados a seguir.

3.3.1 Ensaios geológicos e químicos para determinar a gênese e as características da laterita

- Determinação quantitativa dos elementos químicos através da fluorescência ao raio - X – Ensaio realizado no CETEM – UFRJ;
- Determinação da relação sílica-sesquióxidos através do método DNER–ME-30-73 – Ensaio realizado na CPRM – RJ;
- Análise de difração aos raios-X, usando-se radiações $FeK\alpha$ num difratômetro PHILLIPS através do método ASTM – C295 – ensaio realizado no Departamento de Geologia da UFRJ;
- Análise de lâminas petrográficas luz polarizada através método ABNT-NBR-7389 – Ensaio realizado no Instituto de Geociências da UNESP – SP
- Análises Mev (microscopia atômica de varredura) no CETEM - UFRJ, microtomografia computadorizada de raio X e espectrometria atômica. Ensaios realizados na Escola de Engenharia Metalúrgica da UFRJ.

3.3.2 Ensaios físicos e mecânicos para qualificar tecnologicamente as amostras de agregados

- Determinação da densidade específica aparente Seca g/cm^3 através do método IPT-M-47 – Ensaio realizado no IPT – SP;
- Determinação da massa específica saturada aparente g/cm^3 através do método IPT-M-47 – Ensaio realizado no IPT – SP;
- Determinação da abrasão “Los Angeles” através do método ABNT-MB-170R – modificado – Ensaio realizado no IPT – SP;
- Determinação da granulometria através do método ABNT-MB-7 - Ensaio realizado na FESMA – Federação das Escolas Superiores do Maranhão – MA;

- Ensaio de ciclagem e sanidade através do método DNER-DPT-M-89-64– Ensaio realizado no IPT – SP;
- Ensaio de tenacidade (Impacto Treton) através do método IPT - M-52 - Ensaio realizado no IPT – SP;
- Índice de forma pelo método IPT – M49 – Ensaio realizado no IPT – SP;
- Resistência à compressão Simples por testemunhos de sondagem rotativa, através do método IPT-M-50 – Ensaio realizado no IPT – SP;
- Ensaio de esmagamento (%) através do método IPT-M-53 – Ensaio realizado no IPT – SP;
- Porosidade aparente (%) através do método IPT-M-47 - Ensaio realizado na FESMA – Federação das Escolas Superiores do Maranhão;
- Absorção d'água (em %) através do ensaio realizado IPT-M-47 – Ensaio realizado na FESMA - Federação das Escolas Superiores do Maranhão.

3.3.3 Ensaios mecânicos para qualificar tecnologicamente o concreto laterítico

- Determinação de “*Slump Test*” através do método ABNT–MB-256 - Ensaio realizado no IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica – SP, na ABCP - Associação de Concreto de Cimento Portland e na FESMA – Federação das Escolas Superiores do Maranhão (MA);
- Moldagem dos corpos de prova e rompimento com o conglomerado ferruginoso laterítico (agregado pétreo) através do método ABNT–MB-3 - Ensaio realizado na FESMA – Federação das Escolas Superiores do Maranhão (MA) no IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica – SP e na ABCP - Associação de Concreto de Cimento Portland.

Os corpos de prova para verificação da resistência do concreto foram moldados com o conglomerado ferruginoso laterítico nas proporções 1:4 e 1:6, utilizando-se para cada proporção os fatores água/cimento iguais a 0,45 e 0,50. Decorrido o tempo de 24 horas após a moldagem dos corpos de prova, esses foram desmoldados e colocados em câmara fria em prazos de 3, 7 e 28 dias, após o que foram rompidos à compressão simples para verificação das resistências. Certo que os últimos ensaios foram curados

com 28 dias e ensaiados somente à resistência final máxima alcançada, conforme Tabela 5.23.

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma dos estudos de campo e de laboratório conduzidos ao longo da pesquisa..

FUXOGRAMA METODOLÓGICO GERAL DOS ESTUDOS DE CAMPO E LABORATÓRIO

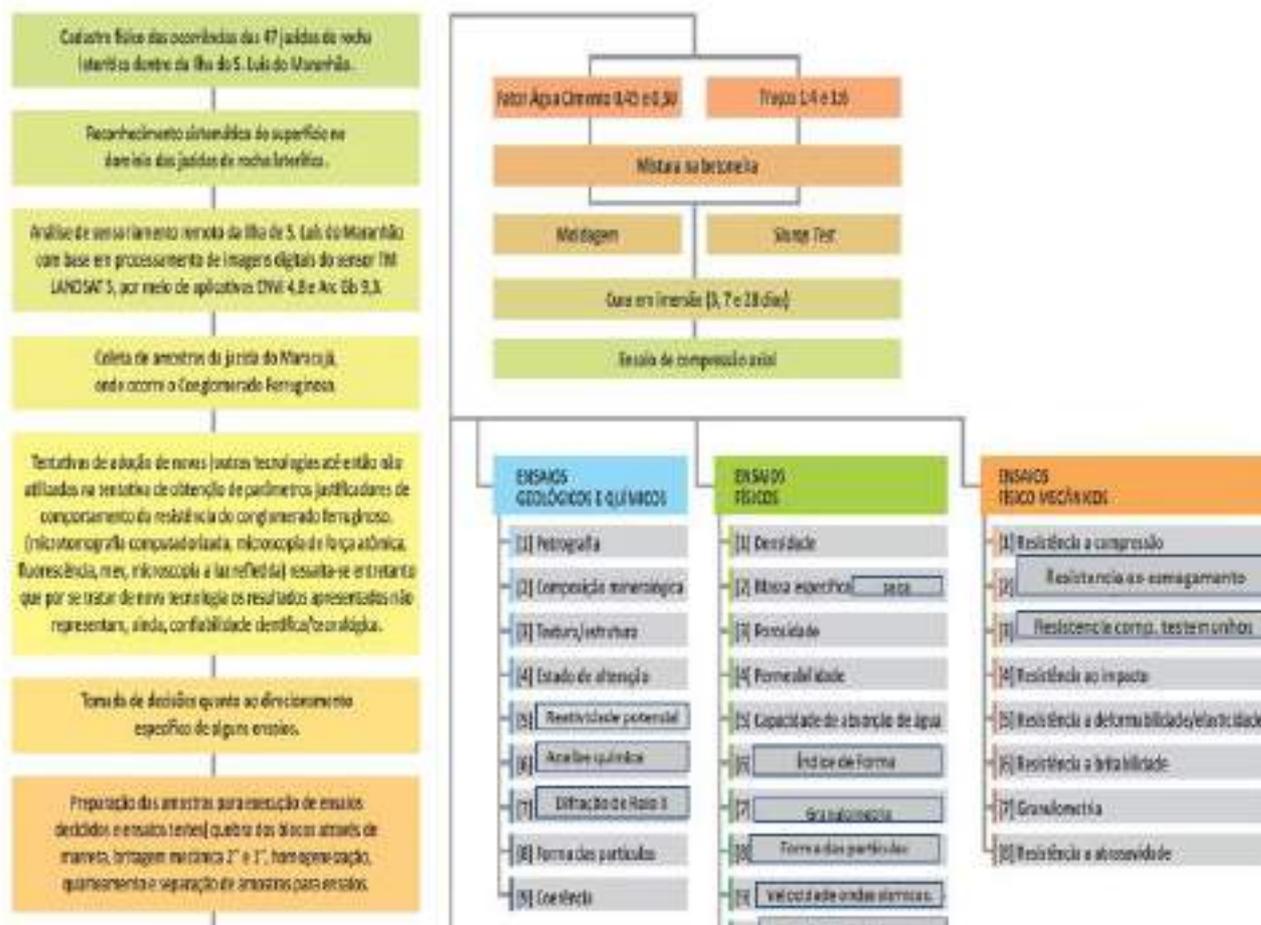


Figura 3.1 - Fluxograma dos estudos de campo e de laboratório.

Os ensaios foram realizados, de forma sucinta, nos laboratórios das seguintes entidades:

- Instituto de Tecnologia da Federação das Escolas Superiores do Maranhão - FESMA (MA)
- Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais – CPRM - RJ
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT - SP
- Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista - Rio Claro - SP

- Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ - RJ
- Centro de Tecnologia Mineral da Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ – RJ
- Escola de Metalurgia da Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ – RJ
- Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia COPPE - UFRJ - RJ
- Associação de Concreto de Cimento Portland – ABCP

3.3.4 Materiais Pétreos

As rochas sedimentares (agregados pétreos) que ocorrem na ilha de São Luís do Maranhão, de uma maneira geral estiveram expostas ao processo de laterização e alteração, salvaguardadas algumas restrições.

A geología da ilha de São.Luís , engloba litologias do Neógeno, as concreções laterizadas, ou não, as rochas sedimentares laterizadas, ou não, do Grupo Itapecuru e Grupo Barreiras, os depósitos quaternários e os depósitos coluvionares, que englobam em sua matriz todos os tipos de rochas laterizadas da Ilha de São Luís.

Certo é que a formações geológicas da ilha de São Luís, pertencem ao Neógeno e Quaternário, estando incluídas no Grupo Itapecuru e no Grupo Barreiras, que além de serem os grandes produtores de lateritas, têm sua extensão com inicio no estado do Espírito Santo e término no estado do Amazonas.

A laterita é uma rocha de coloração amarela avermelhada, rica em ferro e em alumínio, oriunda de enriquecimento supergênico, encontrada no Grupo Itapecuru e no Grupo Barreiras, na Ilha de São. Luís, no estado do Maranhão. Ocorre, geralmente, no topo dos tabuleiros, e nas colinas intensamente dissecadas próximas à áreas de mangues. Destaca-se que as lateritas, do Grupo Barreiras, encontram-se em fase de consolidação, pois sua consistência varia de baixa a dura, sendo encontradas as variedades granulares e placosas.

A exploração minerária de laterita ocorre, em geral, nas porções oeste e a sudeste da Ilha de São Luís do Maranhão, porém sua ocorrência está relacionada a concentrações, sobretudo descontínuas, formando *stone lines*, com destinação como agregado classe II para as obras da construção civil, predominantemente de forma manual, gerando no final da exploração, áreas degradadas com elevado passivo

ambiental, principalmente, no solo e na água, pois promove assoreamento dos rios e igarapés, redução do habitat de variadas espécies, perda da vegetação e modificação das formas do relevo.

Os impactos socioambientais estão relacionados à força de trabalho manual, desprovida de condições seguras de trabalho e com baixos pagamentos das horas trabalhadas PEREIRA, (2017).

A ilha de São Luís no estado do Maranhão possui aparentemente, cinco (05) tipos de laterita, segundo OLIVEIRA, (2008), subdivididos conforme segue:

- 1 - laterita com textura de concreção, que ocorre no Grupo Barreiras, tendo sido denominada de siltito argilito laterizado, popularmente conhecida como Pedra Jacaré.
- 2 - laterita originada pela laterização e que ocorre no Grupo Barreiras, tendo sido denominada de arenito médio ferruginoso, popularmente conhecida como Pedra Preta, dentre outros nomes, denominada como Gran Fina Preta.
- 3 - laterita originada pela laterização e que ocorre no Grupo Barreiras, tendo sido denominada de arenito fino ferruginoso, popularmente conhecida como Gran Fina Marrom. (um tipo de laterita)
- 4 - laterita originada pela laterização e que ocorre também no Grupo Barreiras, tendo sido denominada de conglomerado e arenito grosseiro, sendo popularmente conhecida como Pedra Carço e Couro de Sapo e que, nesse estudo, tratou-se pela denominação de Conglomerado Ferruginoso Laterítico.
- 5 – laterita coluvionar, que engloba o conjunto das lateritas anteriormente definidas e que se depositaram por gravidade em encostas da superfície da ilha de São Luís.

Destaca-se que se concentrou atenção no presente estudo sobre o conglomerado ferruginoso laterítico, com petrografia descrita detalhadamente abaixo, sobre o qual foram elaboradas análises dos tipos, geológica, química, físico e mecânica, cujos resultados estão apresentados no CAPÍTULO 5.

3.3.5 Conglomerado Ferruginoso Laterítico, popularmente designado (“Pedra Caroço ou Couro de Sapo”)

Trata-se do material adotado no presente estudo, localizado no ponto/jazida/lavra 19, conforme Figura. 5.1.

A textura desse tipo de material petrográfico é constituída de grãos e grânulos como valor modal e extremos variando de muito grossa a seixos pequenos contendo muito cascalho e a areia totalizando menos de 5%. Possui na matriz quartzo policristalino, comum e ondulante sendo rara a presença de feldspato potássico. O arredondamento é subangular e subarredondado e de alta esfericidade. O cimento tem composição hematítica e limonítica e coloração variável, notadamente preto acinzentado, marrom escuro até marrom claro em função da hidratação e oxidação do horizonte laterizado.

Objetivando maior detalhamento das características geológicas específicas do conglomerado ferruginoso laterítico referente a estrutura interna e externa dessa rocha foram elaboradas as análises microscópicas, abaixo listadas, oriundas do apoio de diferentes segmentos existentes no meio acadêmico e científico, cujos resultados são apresentados no CAPÍTULO 5, a saber:

- 1 - aspecto macroscópico de amostras dos blocos rocosos;
- 2 - fotomicrografia obtida em microscópio de luz polarizada denotando a interação entre a matriz rochosa e o cimento da rocha;
- 3 - fotomicrografia obtida em microscópio de luz refletida;
- 4 - fotomicrografia obtida em microscópio eletrônico de varredura;
- 5 – fotomicrografia obtida no microscópio de força atômica;
- 6 – fotomicrografia obtido na tomografia micro-computadorizada.

3.3.6 Cimento Portland

Para confecção dos corpos de prova de concreto na primeira fase do estudo foi utilizado o cimento Portland 320, fabricado no município de Codó pela Nassau, no estado do Maranhão, comprovadamente novo e isento dos efeitos da hidratação. As suas propriedades químicas estão evidenciadas na Tabela 3.1.

Na segunda presente fase dos estudos, foram utilizados o cimento Portland CP 320 fabricado pela cimenteira Cauê, o CP II E 320, com características físicas apresentadas na Tabela 5.7. As características químicas do cimento Cauê, não foram fornecidas pelo fabricante.

Tabela 3.1 – Análises químicas do cimento utilizado.

DETERMINAÇÕES	%
Perda ao fogo	2,39
Resíduo Insolúvel	0,86
Sílica (em SiO ₂)	19,74
Óxido férrico (em Fe ₂ O ₃)	3,30
Óxido de alumínio, por diferença (em Al ₂ O ₃)	5,65
Óxido de cálcio total (em CaO)	62,72
Óxido de manganês (em MgO)	1,84
Anidrido sulfúrico (em SO ₃)	3,99
Óxido e hidróxido de cálcio livre (em CaO)	1,69
Óxido de sódio (em Na ₂ O)	0,10
Óxido de potássio (em K ₂ O)	0,60
Óxido de sódio, solúvel em água (em NaO)	0,08
Óxido de potássio, solúvel em água (em K ₂ O)	0,41

3.3.7 Legalidade da Atividade Minerária na Ilha do Maranhão

A título de melhor detalhamento da atividade mineraria, foi realizada uma investigação sobre as substâncias minerais com registro ativo no órgão legislador ANM (Agência Nacional de Mineração), cuja listagem é abaixo apresentada:

A pesquisa contou com o banco de dados disponibilizado através do Cadastro Mineiro/ANM (Agência Nacional de Mineração) em que aponta um total de 47

atividades minerárias na ilha de São Luís e refere-se aos municípios de São Luís, São José de Ribamar e Paço do Lumiar, no período de 2013-2017.

Resumidamente, a região detém os requerimentos de lavra para laterita, além de areia, argila e saibro. O saibro é a mistura de argila e areia grossa, usada no preparo de argamassa. Dessas 47 áreas, 20 encontram-se em fase de autorização de pesquisa, 6 em licenciamento, 8 em requerimento de licenciamento e 13 em requerimento de pesquisa.

Ressalta-se que as empresas responsáveis pelas extrações ampliaram suas produções, em sua maioria, na informalidade. A extração de muitos desses materiais torna-se de difícil controle considerando-se que são vendidos geralmente sem identificação da procedência de fornecedor, PEREIRA, (2017).

Registro de requerimentos na ANM (Agência Nacional de Mineração), em 27/04/2017 para São José de Ribamar e Paço do Lumiar- MA. Processos em São José de Ribamar - Total 4

Processos - Fase atual - Substâncias

806.012/2017 Requerimento de Pesquisa: areia, fosfato, argila, argila bentonita, laterita;

806.106/2015 Requerimento de Licenciamento: laterita;

806.061/2015 Requerimento de Licenciamento cascalho;

806.025/2013 Licenciamento de areia Processos no Paço do Lumiar – Total 1

Processo Fase atual substâncias

806.002/2016 Autorização de Pesquisa areia, fosfato, argila, argila bentonita, laterita

Registro de requerimentos na ANM (Agência Nacional de Mineração), em 27/04/2017 para São Luís – MA. Processos em São Luís – Total 42

Processos Fase atual Substâncias

806.036/2017 Requerimento de Pesquisa areia, laterita

806.035/2017 Requerimento de Pesquisa areia, laterita

806.025/2017 Requerimento de Pesquisa areia

806.012/2017 Requerimento. de Pesquisa

areia, fosfato, argila, laterita, argila bentonita

806.129/2016 Requerimento de Pesquisa areia

806.097/2016 Licenciamento Areia, laterita

806.087/2016 Requerimento de Pesquisa Areia, laterita

806.081/2016 Requerimento. de Pesquisa areia

806.078/2016 Requerimento. de Pesquisa

areia, fosfato, argila, argila bentonita, laterita

806.072/2016 Requerimento de Pesquisa areia, laterita

806.055/2016 Autorização de Pesquisa areia

806.053/2016 Autorização de Pesquisa areia, laterita

806.034/2016 Requerimento de Pesquisa areia, laterita

806.129/2015 Requerimento de Pesquisa areia, argila, laterita

806.111/2015 Requerimento de Pesquisa argila

806.092/2015 Requerimento de Pesquisa areia, fosfato, laterita

806.076/2015 Requerimento de Pesquisa areia, areia, laterita

806.061/2015 Requerimento de Pesquisa cascalho

806.060/2015 Autorização de Pesquisa areia, saibro, argila, laterita
806.036/2015 Autorização de Pesquisa areia
806.008/2015 Autorização de Pesquisa
areia, fosfato, argila, argila bentonita, laterita
806.216/2014 Autorização de Pesquisa cascalho
806.211/2014 Autorização de Pesquisa areia
806.202/2014 Licenciamento areia, cascalho
806.167/2014 Requerimento de Pesquisa areia, cascalho
806.136/2014 Requerimento de Pesquisa
areia, saibro, laterita
806.135/2014 Autorização de Pesquisa areia
806.133/2014 Autorização de Pesquisa areia
806.132/2014 Autorização de Pesquisa areia, fosfato, laterita
806.129/2014 Autorização de Pesquisa
areia, fosfato, argila, argila bentonita, laterita
806.059/2014 Licenciamento areia
806.253/2013 Licenciamento areia, laterita
806.218/2013 Autorização de Pesquisa areia, argila, laterita
806.217/2013 Autorização de Pesquisa areia
806.152/2013 Autorização de Pesquisa areia
806.151/2013 Autorização de Pesquisa areia
806.131/2013 Licenciamento areia, laterita
806.087/2013 Autorização de Pesquisa areia, laterita
806.081/2013 Autorização de Pesquisa areia, argila, laterita
806.079/2013 Autorização de Pesquisa areia, saibro, laterita
806.072/2013 Autorização de Pesquisa areia, saibro, laterita
806.063/2013 Requerimento de Pesquisa areia, saibro, laterita

No entanto é importante salientar que existe a necessidade de execução de um levantamento geral da ilha de São Luís do Maranhão, em que traduza a realidade de campo concernente a exploração da laterita, com a realidade oficial registrada na ANM (Agência Nacional de Mineração). Ainda resta alguns comentários extremamente importantes para que a autoridade máxima do governo estadual, tome algumas providências em face aos seguintes argumentos: 1 – necessidade de desenvolver estudos em que contemple a legalização das extrações da laterita. 2 – existência de lavras ativas e desativadas em jazidas de laterita. 3 - enquadramento necessário dos pequenos produtores em uma espécie de cooperativa. 4 – se existe permissão/concessão de lavra/licença ambiental. 5 – observância sobre a existência de “portaria de lavra” e de “licença ambiental”; caso não haja, as atividades de mineração e de exploração da laterita na ilha de São Luís estarão infringindo a lei, caracterizando, no caso, o que se denominaria de usurpação.

CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 FISIOGRAFIA, CLIMA E VEGETAÇÃO

A ilha de São Luís é delimitada pelas baías de São Marcos ao norte, de São José, ao sul, e é separada do continente pelo canal ou estreito do Mosquito. Apresenta-se com uma topografia de patamares em um nível médio de 35m e chegando a um máximo de pouco mais de 60 m. O trabalho prolongado do mar sobre a costa solapou os sedimentos, formando plataformas de abrasão, onde frequentemente aparecem argilas e arenitos intercalados.

A ilha está situada no recorte do litoral, denominado Golfão Maranhense. A Ilha de São Luís apresenta-se com cinco feições geomorfológicas/topográficas distintas: áreas mais elevadas cujas altitudes são maiores do que 60m, bastante onduladas, muitas vezes provocadas e esculpidas pelos rios que drenam para o litoral e por planícies aluvionares que periodicamente estão inundadas pelo mar. Outros patamares entre 45 e 60m, 30 e 45 m, 15 e 30m e 0 a 1m, ocorrem conforme demonstrado no mapa apresentado na, Figura 4.1.

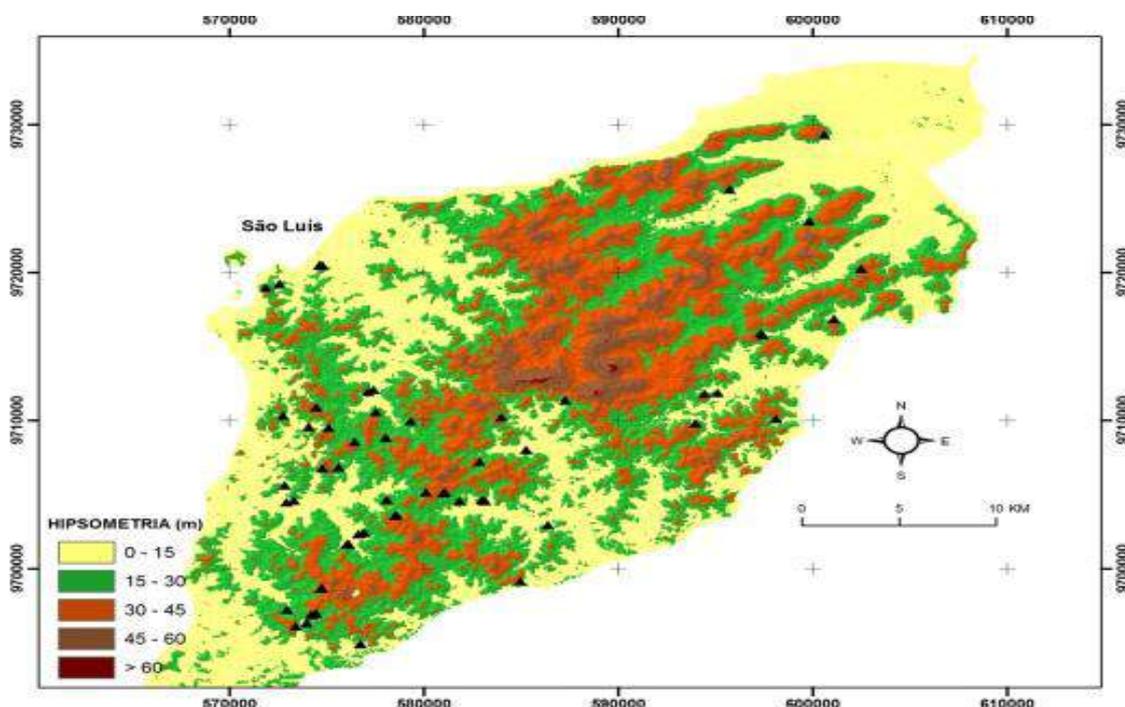


Figura 4.1 - Aspectos da geomorfologia evidenciando o domínio altimétrico (respectivas altitudes terrestres das Formações Geológicas) e as 47 jazidas/lavras, ou pontos/ocorrências de laterita cadastradas na ilha de São. Luís, durante os estudos de campo.

A laterita exerceu certamente forte influência no controle topográfico erosional, tendo esta camada de laterita protegido e mantido o relevo devido à sua inércia química e à resistência física quanto ao processo de erosão SUGUIO & BARBOUR, (1969).

Clima

O clima da ilha de São Luís enquadra-se no tipo “A” da classificação KOEPEN, isto é, clima tropical chuvoso com temperaturas elevadas em torno de 26, 2° C, máximas entre setembro e novembro. Os valores mais baixos ocorrem no período chuvoso de janeiro a julho. A precipitação média atinge 1.953 a 2.083mm por ano.

Medidas de umidade relativa são de 80%. A insolação no Maranhão varia consideravelmente com um máximo perto de São Luís com cerca de 2.800 h/ano. A nebulosidade é maior perto da costa norte diminuindo para o sul do estado, onde os valores de seis (6) são constantes. Para o interior, o índice é 5, podendo ser observado em Carolina (MA).

As velocidades dos ventos em São Luís são as mais elevadas do Estado do Maranhão, cerca de 9 a 12 m/s. A divisão dos ventos em São Luís é constante obedecendo a uma direção principal de nordeste (NE). Em São Luís o índice pluviométrico sempre excede o potencial de evapotranspiração (EP = 1.362mm).

O clima da ilha de São Luís é considerado de transição entre equatorial e tropical. O clima é quente e úmido com precipitações pluviométricas anuais, caracterizando-se duas fases distintas: o clima chuvoso, mais prolongado, que se estabelece de dezembro a julho e ventos alísios que sopram do nordeste e o clima seco. Nos demais meses, o clima está sujeito aos ventos alísios que sopram de sudeste CODEMINAS, (1975).

Vegetação

A vegetação maranhense é caracterizada pela presença de mangue, na costa, pelas gramíneas dos campos secos ou alagados, e zona das matas. Segundo a CODEMINAS, (1975), a região da floresta densa domina nos platôs do Pará-Maranhão com árvores emergentes gigantes com mais de 50 metros, sendo que aí dominam a maçaranduba, a faveira e o angelim, com babaçu aparecendo nos vales.

A região da floresta decídua dominante nos baixos, platôs e áreas dissecadas da região norte do Maranhão é representado pela caneleira, pau Darco, imbaúba, faveira e babaçu, que dominam completamente a região próxima do litoral.

As formações campestres ocorrem nas porções central, sul e sudeste do Maranhão, sendo que essas formações não se apresentam de modo contínuo. Os rios apresentam matas ciliares, e, nos grandes tablados uniformes, ocorrem campos semeados por palmeiras esparsas, enquanto, em territórios ondulados, capões e mata e, por fim, nos chapadões mais altos, campos arenosos de vegetação escassa e alguma caatinga nos vales.

O cerrado, conforme CODEMINAS, (1975), apresenta-se nos altos platôs da bacia do Maranhão e nas áreas dissecadas, principalmente nas bacias do Tocantins e do Parnaíba. Os espécimes que predominam são: paus-terra, samambaia, murici, faveira de bolota, cajuí, mangaba e piqui.

O extrativismo, a agricultura convencional e a pecuária extensiva são os principais responsáveis pela degradação dos recursos nessas áreas. Nessa unidade, característica da vegetação maranhense, desenvolve-se suas formações sedimentares, observando-se variações em decorrência das litologias e das formas dos terrenos.

O cerradão domina na região de chapada, enquanto, nas áreas mais arrasadas, aparecem os campos cerrados e pequenas florestas galerias, com ocorrência de buriti e babaçu.

Na borda da costa ocorre a terrenie, grande formação da vegetação maranhense, o Mangue, que, em certos locais, acompanha o curso dos rios e apresenta-se segundo três tipos que se sucedem a partir da linha baixa do mar para o interior, notadamente sendo o mangue vermelho, o mangue Branco e o mangue Seriba.

4.2 GEOLOGIA LOCAL DA BACIA DE SÃO LUÍS APLICADA AOS ESTUDOS

A evolução dos estudos referentes à geologia e à estratigrafia da Bacia de São Luís tem sido palco de discussões e constantes mudanças e evoluções, tendo sido avaliados ao longo da presente pesquisa.

Desde o tempo da existência da CODEMINAS (Companhia do Desenvolvimento de Minerais do Maranhão) em 1970, a referida entidade

governamental assinalava uma geologia em que, considerada, a formação Itapecuru e não o grupo Itapecuru. Considerava ainda o grupo Barreiras e não, a formação Barreiras, conforme se observar em OLIVEIRA, (2008), onde se indica uma compilação geológica, do que era citado nas edições da CODEMINAS, e que, por sua vez, fazia constantes chamadas para os trabalhos desenvolvidos pela CPRM (Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais), onde foram citados vários autores, evidentemente já ultrapassados em função da evolução dos estudos mais avançados desenvolvidos ao longo deste tempo.

Existe a necessidade de se efetuar um mapa geológico da Iha de São Luís numa escala maior (ou mais detalhada), do tipo 1:20.000. Assim sendo, certamente, muitas dúvidas serão esclarecidas, e um quadro geológico estratigráfico mais satisfatório dessa ilha será desenhado.

No estágio atual deste estudo e dando um salto na evolução dos estudos salienta-se que, atualmente, é adotado o “grupo Itapecuru” e o “grupo Barreiras”. Anteriormente esse último grupo Barreiras foi chamado de formação Barreiras, o que está ultrapassado.

Um perfil geológico altimétrico estratigráfico NE – SW e E – W considerando toda a ilha de São.Luís deve ser elaborado, o que não foi realizado neste estudo, por fugir ao escopo desta tese de doutorado, contudo serão adotados e apresentados alguns perfis geológicos estratigráficos parciais, obtidos a partir de MARTINS, (2017), conforme Figura 4.2 e Figura 4.4.

Torna-se importante citar que a formação Barreiras adotada nesse perfil, no presente momento, está sendo considerada como Grupo Barreiras, em concordância com OLIVEIRA, (2008).

Posto acima um breve histórico, abordando algumas dificuldades encontradas no presente estudo, resolve-se adotar a estratigrafia da ilha de São Luís no Maranhão, nos termos a seguir expostos, conforme MARTINS, (2017).

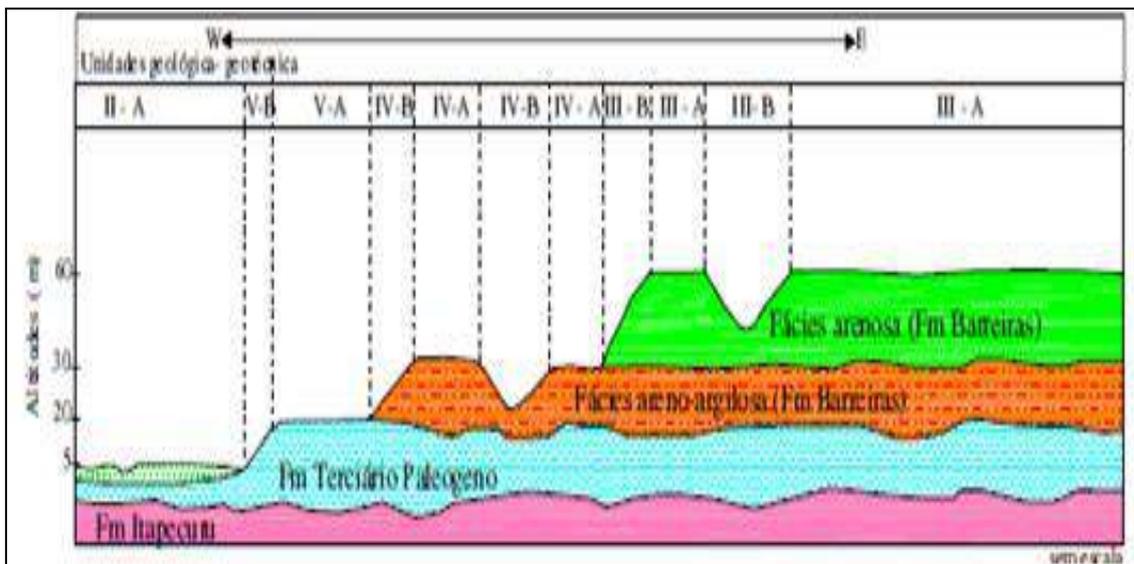
4.2.1 Contexto Geológico

A ilha do Maranhão é parte integrante da bacia costeira de São Luís – Grajaú, a qual foi formada por rifteamento fissural durante o Cretáceo, conforme RODRIGUES, *et al.*, (1994) *apud* MARTINS, (2017).

GÓES e ROSSETI, (2001) reconhecem tal bacia, através de dados de subsuperfície, com perfis de raios gama, conforme também mencionado por CASTRO, (2006), *apud* MARTINS, (2017).

Confronta-se, ao norte, pela plataforma continental, a sul, pelos Altos Estruturais Arco Ferrer - Urbano Santos, disposto aproximadamente E-W, enquanto a leste pelo Horst de Rosário, e, a oeste pelo Arco de Tocantins, de acordo com PEREIRA, (2006), ilustrando-se essa configuração mediante Figura 4.3. Além disso, Rodrigues *et al.* (1994), segundo MARTINS, (2017) destacam que a bacia de São Luís ocupa aproximadamente 33.000 km² da porção continental e possui uma coluna sedimentar de 4.500 m.

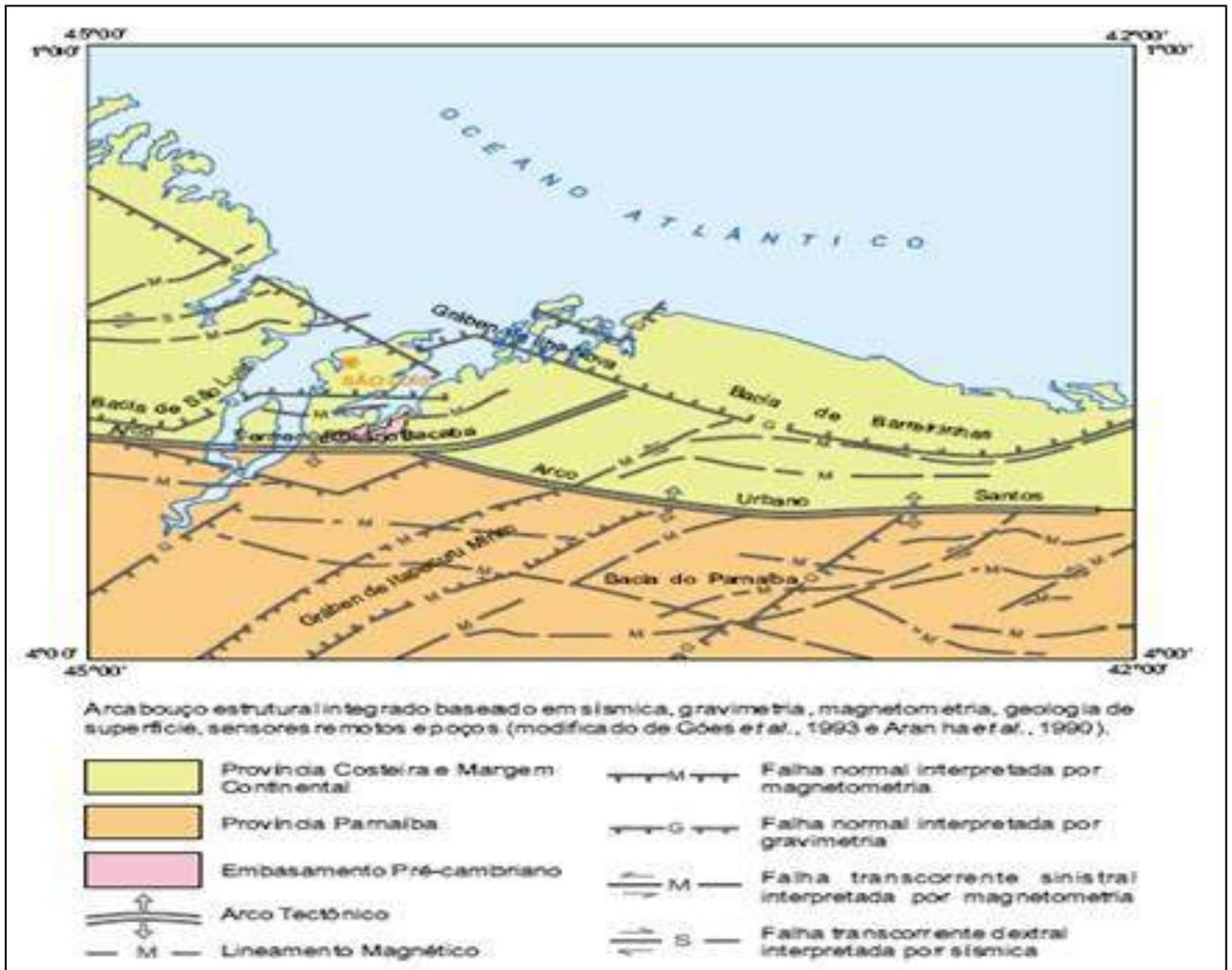
A sedimentação na bacia de São Luís iniciou-se com as rochas do Cretáceo do grupo Itapecuru, constituída pelas formações, Alcântara e Cujupe e uma unidade indiferenciada do Cretáceo e do Neógeno, com os arenitos do grupo Barreiras e, finalmente, pelos depósitos quaternários representados pelos aluvionares, de mangues e eólicos litorâneos (Tabela 4.1).



Fonte: PEREIRA, E.D., (2006).

Figura 4.2 - Seções esquemáticas ilustrando a distribuição espacial das unidades geológicas-geotécnicas (associação do substrato geológico e o relevo). Destaca-se que a numeração II – A até V – A, trata-se de domínios geotécnicos diferentes e mapeados por PEREIRA, (2006)

A estratigrafia é descrita conforme proposta por Sousa et al., (2012); Rossetti, (2001) e Pereira., (2006) *apud* MARTINS, B.N., (2017) indicada na tabela 4.1.



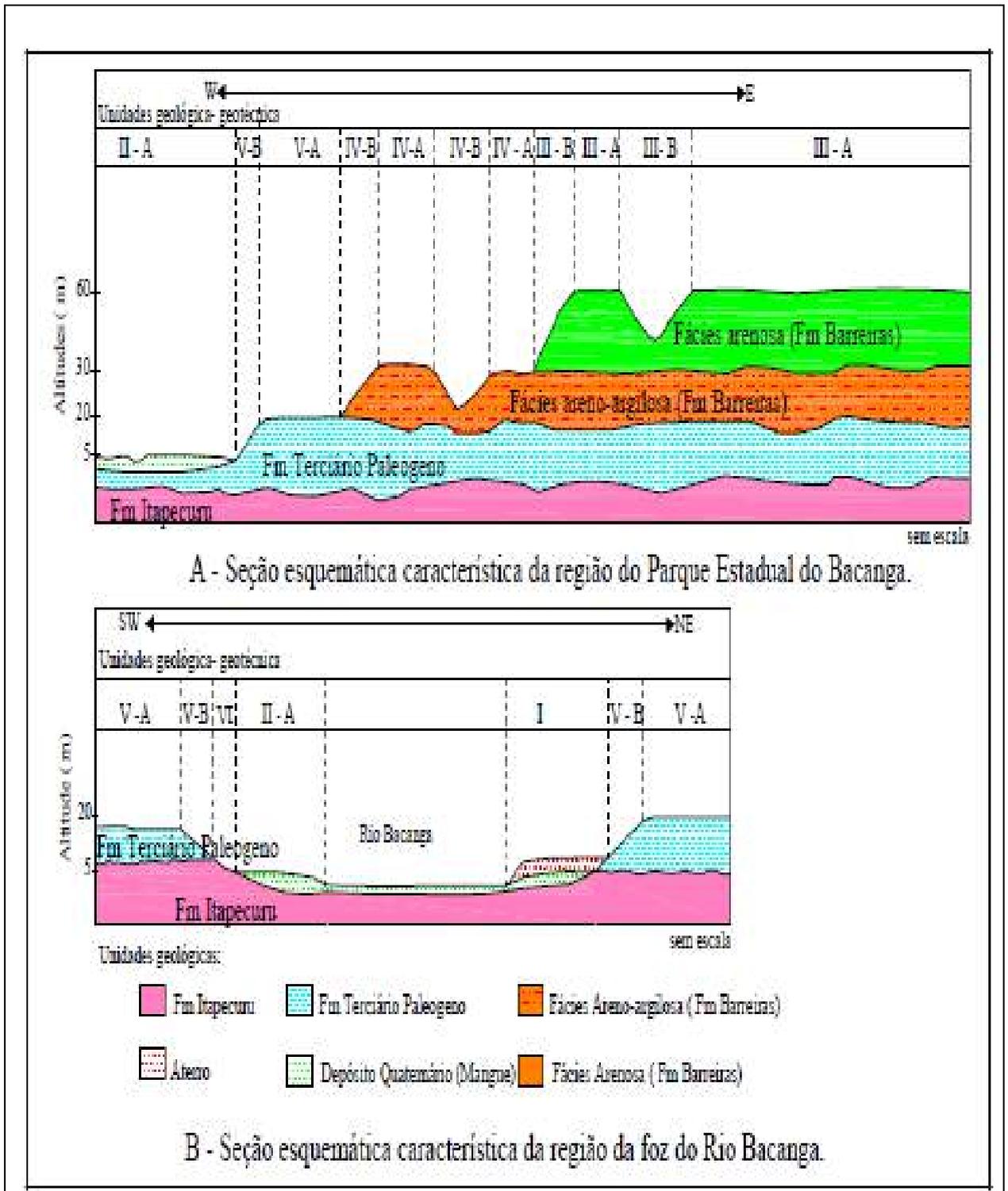
Fonte: GOES *et al.* (1990) e ARANHA *et al.* (1993) *apud* VEIGA JR, (2000) *segundo* (MARTINS, 2017)

Figura 4.3 - Arcabouço estrutural da porção setentrional do Maranhão.

Tabela 4.1 - Coluna estratigráfica da Bacia de São Luís-MA.

Idade		Estratigrafia		
QUATERNÁRIO	Pleistoceno /Holoceno	SUPERFICIAIS	Depósitos Aluvionares Depósitos Mangues Depósitos Eólicos Litorâneos Depósitos Litorâneos	
	Mioceno Plioceno		GRUPO BARREIRAS Formação Pirabas localizada no Pará	
CRETÁCEO	Cenomaniano Mastrichtiano	GRUPO ITAPECURU	Formação Cujupe	
	Albiano		Neo	Formação Alcântara
			Meso	Unidade Indiferenciada
			Eon	
Aptiano	Formações Codó e Grajaú			
Pré-Cambriano e Paleozóico		Embasamento		

Fonte: SOUZA *et al.* (2012); ROSSETI (2001); PEREIRA (2006). Modificado, OLIVEIRA, (2019)



Fonte: PEREIRA, (2006).

Figura 4.4 - Modelo geológico-geotécnico da ilha de São Luís-MA. Destaca-se que a numeração I – A até V – B, trata-se de domínios geotécnicos diferentes e mapeados por PEREIRA, (2006)

4.2.2 Grupo Itapecuru

O Grupo Itapecuru é composto pela Formação Alcântara, Formação Cujupe e uma Unidade Indiferenciada representada por uma espessa sucessão sedimentar, constituída por argilitos e arenitos finos de origens flúvio deltaica e estuarino – lagunar, configuram, respectivamente as sequências deposicionais. Nos trabalhos de RODRIGUES et al. (1994) *segundo* (MARTINS, (2017), o grupo Itapecuru é considerado como formação Itapecuru, o que está superado, *segundo* KLEIN, (2012).

ROSSETI e TRUCKENBROT, (1997); ROSSET, (2001); e COSTA, (2006) *segundo* (MARTINS, 2017), apontam que seus depósitos, de idade incerta (Cretáceo superior-Neógeno inferior), consistem de aproximadamente 25 a 40 m de arenitos caulíníticos, com granulometrias predominantemente fina a muito fina, bem selecionados, com colorações branca ou rósea a amarelada, os quais intercalam-se a argilitos de cores branca e cinza a violácea. Subordinadamente, ocorrem conglomerados intraformacionais (ROSSETTI e TRUCKENBRODT, 1997; ROSSETTI, 2001) *segundo* (MARTINS, (2017).

A exposição desse grupo Itapecuru encontra-se nos paredões de falésias de Alcântara, com espessura de 20 m, onde se encontra sua seção-tipo. Em São Luís ocorre na falésia da praia do Boqueirão, ao lado do Porto de Itaqui e na praia de São Francisco e ao longo da bacia do rio Bacanga.

4.2.3 Grupo Barreiras

Os sedimentos do grupo Barreiras são areno-argilosos de coloração róseo-avermelhada, siltitos maciços de cores amarela a ocre, ferruginizados e, ocasionalmente, conglomeráticos e desorganizados. Apresentam um perfil imaturo, com sedimentos inconsolidados, argilosos, com areias disseminadas, amarelados a avermelhados, com nódulos e blocos de concreções ferruginosas, consoante RODRIGUES *et al*, (1994), *segundo* (MARTINS, (2017).

As sucessões sedimentares estuarinas e os depósitos fluviais é uma consequência da transladação de ambientes deposicionais mais proximais sobre estuarinos durante os estágios finais de período de mar alto. Ainda, como verificado no norte do Brasil, os depósitos estuarino-fluviais do grupo Barreiras são limitados em seu topo por superfície

de descontinuidade, contendo paleossololateríticos onde o nível concrecionário apresenta-se sob forma de colunas verticais que atingem até 4 m de espessura, mas o qual pode apresentar diferentes graus de preservação ao longo das falésias.

O grupo Barreiras aflora, predominantemente, na Ilha de São Luís-MA, nas falésias, colinas, encostas e topos dos tabuleiros. Os sedimentos do grupo Barreiras foram individualizados em três unidades de fácies: conglomerática, arenosa e pelítica, típicas de ambiente continental e que estão intensamente afetadas pelo processo de laterização. A fácies conglomerática forma o pacote que protege a atual superfície de mesas e tabuleiros.

Os litotipos do grupo barreiras, após interação do processo de laterização, resulta o material pétreo. Na Figura 4.5, na sequência abaixo, está representado um detalhe de um afloramento em um corte de estrada localizado no portal de entrada da torre da Embratel, na vila Anjo da Guarda em São Luís-MA, apresentando um solo composto de areia fina esbranquiçada com uma fração de silte argiloso vermelho rica em óxido de ferro (Fe_2O_3 - 46,7%), enquanto a parte esbranquiçada apresenta óxido de alumínio (Al_2O_3 - 16,1%). Após o desenvolvimento do processo de laterização atuando nesse conjunto terroso a fração férrica transforma-se numa concreção e que dará origem ao tipo petrográfico concrecionado (arenito fino silto argiloso), popularmente designado de Pedra Jacaré.



Figura 4.5 - Detalhe de um afloramento em um corte de estrada localizado no portal de entrada da torre da Embratel.

4.2.4 Depósitos Quaternários

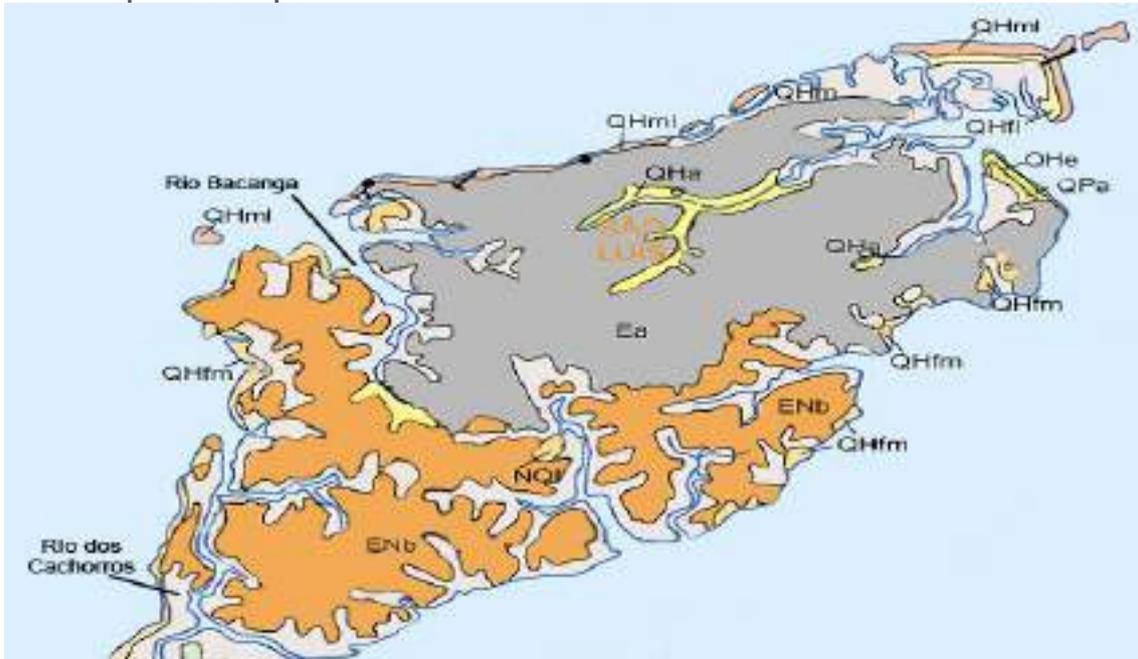
As coberturas quaternárias holocênicas, da área trabalhada, englobam os depósitos diferenciados em: depósitos de mangues, depósitos flúvio-marinhos, depósitos aluvionares e coluvionares. Esses depósitos estão localizados próximos ao litoral, geralmente submetidos à ação das marés e estão associados aos depósitos de cordões litorâneos. São constituídos por lamias arenosas, plásticas, não adensadas, maciças e bioturbadas, areias finas, quartzosas. São originados por processos de tração/suspensão subaquosa, pela ação das marés, representando fácies de intermaré/submaré rasa. Pela migração de dunas de acreção lateral, constituem fácies de canal e barras de canal, conforme, VEIGA, (2000) *apud* (MARTINS, (2017). Os manguezais são típicos e extensos nessas áreas.

Os depósitos quaternários ocorrem em ambientes fluviais, flúvio-marinho e marinhos litorâneos e recobrem todas as demais unidades estratigráficas aflorantes na bacia sedimentar de São Luís.

As formações geológicas supracitadas estão espacializadas no mapa geológico, conforme Figura 4.6.

LEGENDA

- QHfm/QHa/QHfl
- QHm/QHml/QHe
- QPcl/Qpa/Qpe
- Quaternário Formação
- NQI - Laterítica cobertura
- Enb - Barreiras Grupo
- Ea - Itapecuru Grupo



Fonte: CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (2012) escala 1:250. 000

Figura 4.6 - Mapa Geológico das Formações Superficiais da Ilha de S.Luis no estado do Maranhão na escala 1:250.000 - Área (905 km²).

CAPÍTULO 5 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados deste estudo refletem a potencialidade do conglomerado ferruginoso laterítico da ilha de S. Luís (MA) objetivando a sua utilização em concreto de cimento Portland neste local. A busca desta potencialidade foi necessária, uma vez que este tipo de laterita apresentou em estudos anteriores maior resistência a compressão axial simples, quer em testemunhos obtidos através de sonda rotativa, quer quando moldado como agregado em concreto de cimento Portland. Uma intensa caracterização geológica, química e físico-mecânica foi empreendida nesse tipo de material pétreo à luz da tecnologia atualmente presente no meio científico tecnológico.

Destaque especial deve ser dado ao conglomerado ferruginoso laterítico (agregado/material pétreo), objeto do presente estudo, quanto ao comportamento granulométrico desse conglomerado, pois, quando britado, seus componentes apresentam curvas granulométricas satisfatórias. Torn-se mais satisfatórias ainda, quando se produzem correções granulométricas, adicionando-se materiais nas frações faltantes e retirando-se materiais das frações exedentes.

O fato desafiante é que o conglomerado ferruginoso laterítico proposto foi moldado em concreto de cimento Portland, tal como saiu do britador, e, a esse agregado/material pétreo somente foram acrescentados cimento e água nas proporções (traço e fator água cimento) de forma otimizadas. O fato acima indicado evidencia, que ao se utilizar esse tipo de conglomerado ferruginoso laterítico (agregado/material pétreo) acima referido, uma economia razoável é produzida, pois não se faz necessária a busca de areia lavada em jazidas de rios, assim se obtendo um ganho no que tange ao que se revela como passivo ambiental, notadamente, quanto aos cursos das águas (rios), tanto quanto aos locais dos pontos/ jazidas/lavras.

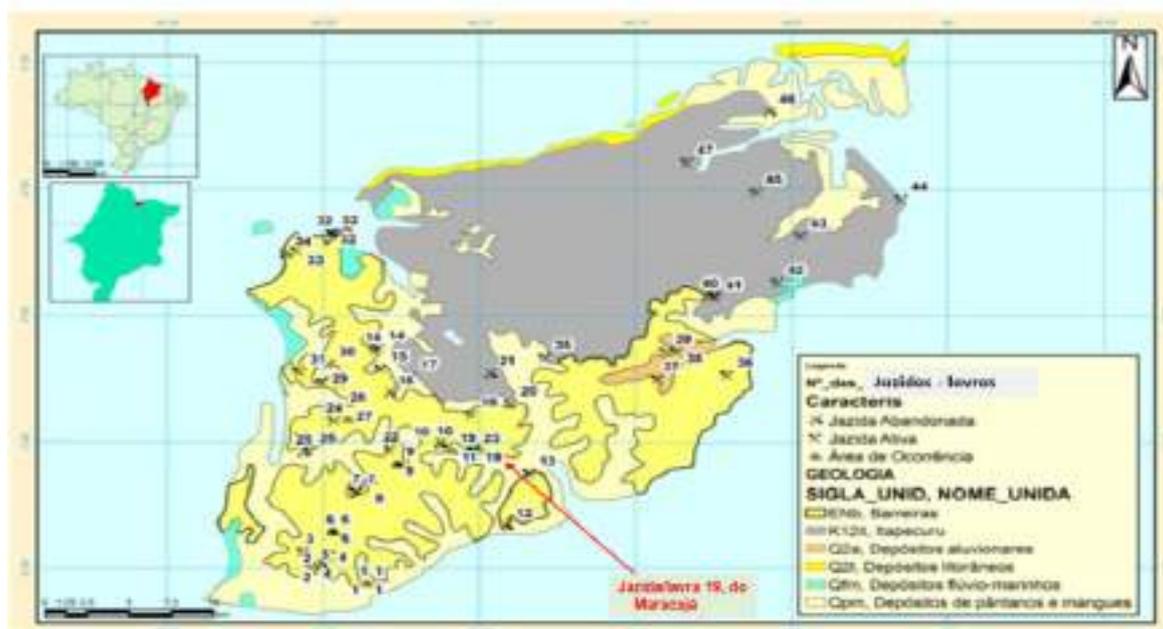
5.1 CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO PARA USO DO SENSORIAMENTO REMOTO

Na ilha de São Luís do Maranhão, com mapa geológico apresentado na Figura 5.1, situada no nordeste do Brasil, face à ausência de materiais pétreos para uso na construção civil, são utilizadas alternativamente lateritas ferruginosas, pois apresentam características geológicas, químicas, físicas e mecânicas adequadas, sendo ainda de fácil extração e de ocorrência generalizada OLIVEIRA, (2008).

As lateritas segundo BEAUVAIS e COLIN (1993) e BIGARELLA *et al* (1996) seriam resultantes de processos de laterização, mediante ao intenso intemperismo químico a partir de qualquer rocha pré-existente, com desenvolvimento em regiões de clima tropical com longa estação seca e precipitação anual entre 1.200 e 1.800 mm. Na ilha de São Luís do Maranhão, as lateritas desenvolveram-se sobre sedimentos de idade pertencente ao neógeno até o quaternário, que compreendem, sobretudo, o grupo Barreiras e o grupo Itapecuru, além de depósitos litorâneos e solos coluvionares, PEREIRA *et al* (2017)

A Figura 5.1, evidencia o mapa geológico da Ilha de São Luis, tendo sido dispostos nesse mapa, os pontos/jazidas/lavras de laterita da referida ilha.

O uso do sensoriamento remoto através de imagens Landsat, com vistas à exploração mineral vem sendo empregado com sucesso por diversos pesquisadores, como por exemplo, KAUFMAN (1988), VARAJÃO *et al* (1988), LOUGHLIN (1991), FRASER (1991), BENNETT *et al.* (1993), CRÓSTA & RABELO (1993), CRÓSTA & SOUZA FILHO (2009) e HARTWIG & CABOCCLO, (2012), entre outros. Nesse sentido, o intuito deste trabalho é o de determinar as áreas com maior potencial de ocorrência de lateritas ferruginosas, a partir do processamento digital de imagens de Landsat-TM. Para tanto, utilizou-se uma técnica baseada em uma variante de transformação por componentes principais (CRÓSTA E MOORE, 1989).



Fonte: Mapa geológico CPRM (2004)

Figura 5.1 – Mapa de localização das áreas das jazidas/lavras na escala 1:250.000

5.1.1 Material e Métodos

Em regiões tropicais e equatoriais a vegetação pode limitar dramaticamente a aplicação de dados de sensores multiespectrais na detecção e mapeamento de minerais, uma vez que obscurece a correspondente a resposta espectral CARRANZA & HALE, (2002); SIEGAL & GOETZ, (1977). Embora a área de estudo seja vegetada, foi profundamente degradada por efeito da ação humana (por exemplo, agricultura, extrativismo, pecuária e expansão urbana), o que aumenta as possibilidades de sucesso quanto ao uso de sensores remotos na prospecção mineral.

Nesse sentido, o procedimento baseou-se no processamento de imagens digitais do sensor LANDSAT 5-TM, por meio dos aplicativos ENVI 5.0 e ArcGis 9.3. A área de estudo é recoberta, principalmente, pela cena com órbita e ponto 220/62 e secundariamente pela cena 221/62, que foram ambas obtidas, respectivamente, em 11-06-2004 e 24-06-2006. A escolha dessas cenas baseou-se na baixa porcentagem de nuvens. Adotou-se, neste trabalho, o sistema de coordenadas cartesianas e o datum horizontal denominado SIRGAS 2000.

A metodologia adotada compreendeu duas etapas: pré-processamento e processamento das imagens. A primeira etapa constituiu-se da correção geométrica das imagens a partir do mosaico Geocover, e do recorte da área de estudo. O processamento das imagens enfocou a reflectância no intervalo 350-1.500 μm do espectro eletromagnético, associado aos minerais do grupo dos óxidos de ferro presentes nas lateritas, conforme Figura 5.2, HUNT & SALISBURY, (1970). Aplicou-se individualmente ao conjunto de imagens de cada cena, CRÓSTA e MOORE, (1989), uma variante da transformação por principais componentes MINGOTI, (2007). O procedimento que visa remover a redundância de informações contidas nas imagens originais, tendo sido utilizada com sucesso por vários pesquisadores LOUGHLIN, (1991); CRÓSTA & RABELLO, (1993); DAVIDSON *et al.*, (1993); RUIZ-ARMANTA e Prol-Ledesma, (1998); SOUZA FILHO e DRURY, (1998); SABINE, (1999); TAGESTANI e MOORE, (2002); CARRANZA e HALE, (2002); RANJBAR *et al.*, (2004). A técnica baseia-se no conhecimento prévio da assinatura espectral de alvos específicos nas bandas espectrais, a fim de definir e selecionar as principais componentes que contenham a informação desejada. Um aspecto importante dessa técnica é que ela indica, com base nos sinais e na magnitude das contribuições de cada imagem original, se o alvo de interesse será destacado nas imagens das componentes principais como píxeis claros ou escuros. No presente trabalho, a técnica foi aplicada a um

número reduzido de bandas TM 1-3-4-5, uma vez que esta proposição tem se mostrado eficiente na exploração mineral regional, por exemplo, LOUGHLIN, (1991); CRÓSTA e SOUZA FILHO, (2009); HARTWIG, M.E. & CABOCLO, F.D.G. (2012); entre outros.

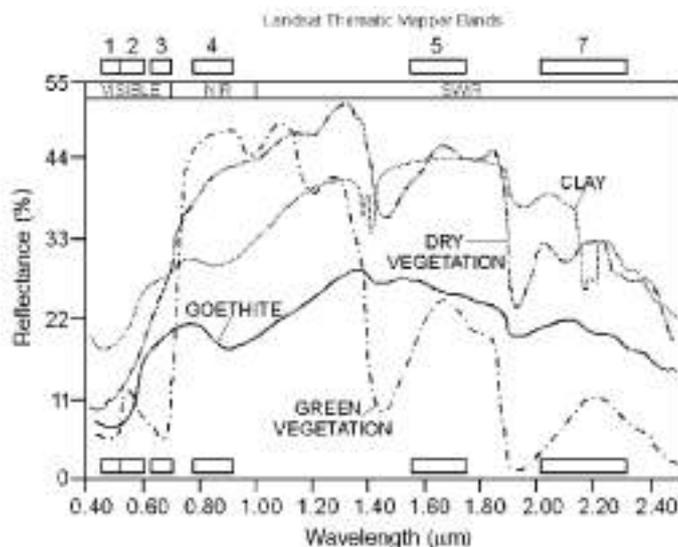


Figura 5.2 - Assinaturas espectrais de óxido de ferro (goethita), vegetação e argila. Extraído de Carranza e Hale, (2002). Notar que a goethita (ou a hematita) mostra baixa resposta nos canais 1, 2 e 4, e alta resposta nos canais TM 3, 5 e 7 do LANDSAT5-TM.

5.1.2 Análise e Processamento das Imagens

A Figura 5.3 é uma composição colorida R7G4B3 comumente utilizada em geologia, que tem o intuito de subsidiar a interpretação das componentes principais. Nela é possível observar as seguintes feições: a) vegetação em verde, principalmente próximos aos cursos de água; b) corpos de água em azul ou preto; c) solo exposto e áreas urbanas em magenta ou em tons avermelhados; e d) áreas agrícolas ou pastagens em tons amarelados. Com base no método usado neste trabalho, as áreas mais propícias à identificação de lateritas seriam aquelas onde a cobertura vegetal é ausente ou incipiente. Essas áreas ocorrem, preferencialmente, nas proximidades de São Luís e, de forma generalizada, como pequenas áreas descontínuas.

A Figura 5.4 corresponde ao mapa hipsométrico da Ilha de São Luís do Maranhão gerado a partir de dados de relevo SRTM-90m. A análise do relevo permite fazer as seguintes observações: a) as cotas máximas estão concentradas na porção central da Ilha; b) a dissecação é mais proeminente na porção sul, onde há a maior área de exposição dos sedimentos do grupo Barreiras; e c) as ocorrências e jazidas de lateritas cadastradas

concentram-se na porção sul, no intervalo altimétrico de cerca de 15 a 30 m acima do nível do mar. Portanto, os dados indicam que, em princípio, há algum controle litológico e topográfico na distribuição espacial das lateritas.

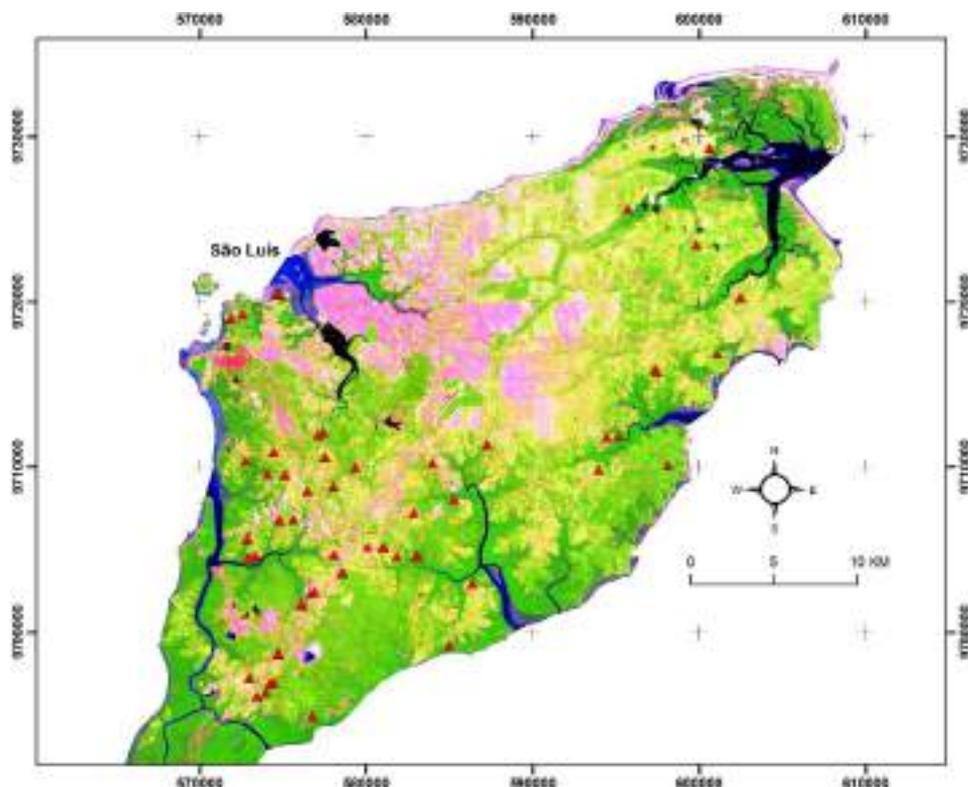


Figura 5.3 - Composição colorida 7R4G3B realçada, com indicação das jazidas e áreas de ocorrência de lateritas ferruginosas (triângulos vermelhos).

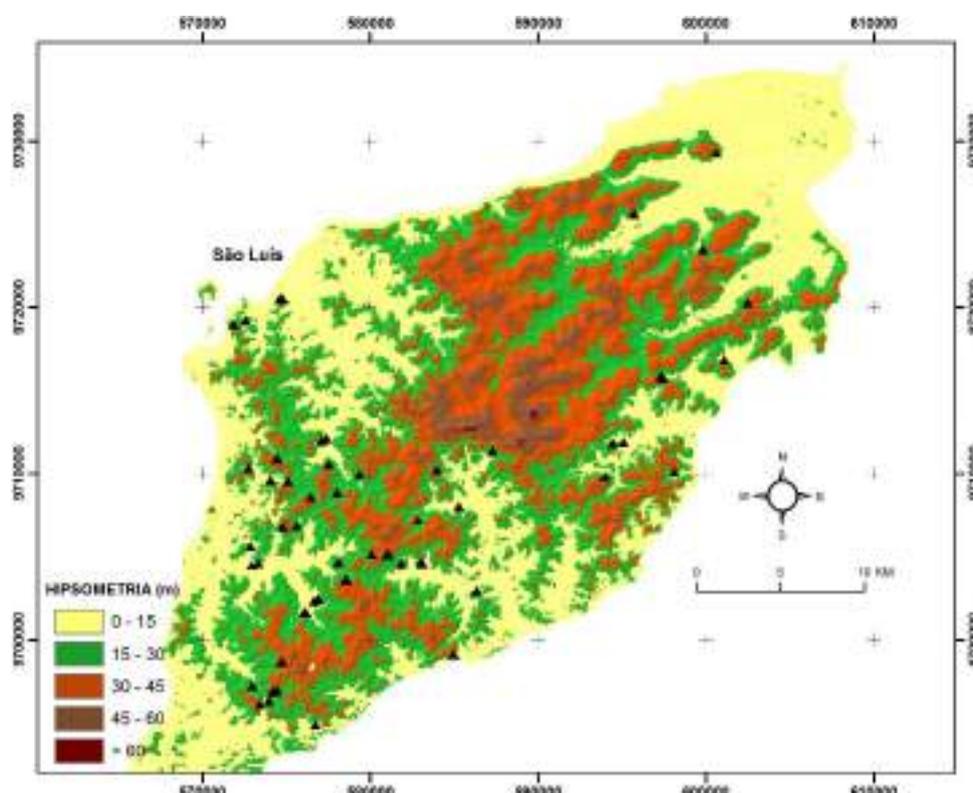


Figura 5.4 - Mapa hipsométrico da área de estudo com indicação das jazidas e áreas de ocorrência de lateritas ferruginosas (triângulos pretos).

As Tabelas 5.1 e 5.2 trazem as matrizes de autovetores da transformação por principais componentes, aplicada às bandas TM 1-3-4-5 das cenas órbita/ponto 220/62 e 221/62. As duas primeiras principais componentes podem ser descartadas como possíveis candidatas a conterem informação espectral relacionada aos óxidos de ferro: a PC1 pode ser interpretada como albedo e sombreamento, uma vez que existe contribuição positiva de todas as bandas espectrais, e a PC2 como vegetação, pois mostra alta contribuição negativa da banda TM4. Na Tabela 5.1, a informação espectral referente aos minerais de óxido de ferro está contida na PC3 e na PC4, que, juntas, correspondem a apenas 5,25% da variância total das cenas. Na PC3 os minerais de óxido de ferro serão mapeados como pixels claros, pois mostram altas contribuições de sinais opostos nas bandas TM1 (-31%), TM3 (21,17%) e TM5 (23,31%). Por outro lado, na PC4 os minerais de óxido de ferro serão mapeados como pixels escuros, pois mostram altas contribuições de sinais opostos nas bandas TM1 (41,21%) e TM3 (-46,36%). Na Tabela 5.2, a PC3 apresenta contribuição em proporção equilibrada na maioria das bandas originais, podendo ser descartada para fins de mapeamento mineral. A informação espectral referente aos minerais de óxido de ferro está contida na PC4, que representa apenas 0,63% da variância total das cenas. Na PC4, os minerais de óxido de ferro também serão mapeados, como pixels escuros, pois mostram altas contribuições de sinais opostos nas bandas TM1 (46,08%), TM3 (-43,96%).

A Figura 5.5 reproduz as imagens das principais componentes PC1 a PC4. Na PC3 muitas das áreas potenciais de ocorrência de óxidos de ferro mapeadas, correspondem aos telhados cerâmicos de construções, e possivelmente, a superfícies de concreto, que possuem comportamento espectral similar ao dos óxidos de ferro no infravermelho refletido. Alguns corpos de água também foram mapeados em cores claras devido à presença de sedimento em suspensão. Quanto a PC4, cabe mencionar que apesar de conter a informação espectral de interesse, é a componente que contém ruídos, prejudicando sua interpretação. Ao se comparar as ocorrências e jazidas de lateritas, nota-se uma melhor correlação com relação a PC3.

Tabela 5.1 - Matriz de autovetores a partir das bandas TM 1-3-4-5 da cena 220/62, para mapeamento de minerais de óxido de ferro. As células em negrito indicam a PC que contém a informação referente aos minerais de óxido de ferro.

Autovetores	TM1	TM3	TM4	TM5	Autovalor (%)
PC1	0,228	0,308	0,280	0,879	70,12
	13,45%	18,20%	16,55%	51,81%	
PC2	0,372	0,426	-0,823	0,016	24,64
	22,74%	26,00%	-50,24%	1,02%	
PC3	-0,613	0,418	0,485	0,461	4,73
	-31,0%	21,17%	24,51%	23,31%	
PC4	0,657	-0,739	-0,082	0,115	0,52
	41,21%	-46,36%	-5,19%	7,24%	

Tabela 5.2 - Matriz de autovetores a partir das bandas TM 1-3-4-5 da cena 221/62, para mapeamento de minerais de óxido de ferro. As células em negrito indicam a PC que contém a informação referente aos minerais de óxido de ferro.

Autovetores	TM1	TM3	TM4	TM5	Autovalor (%)
PC1	0,221	0,328	0,149	0,905	68,33
	13,78%	20,47%	9,31%	56,43%	
PC2	0,396	0,477	-0,771	-0,142	25,24
	22,16%	26,70%	-43,17%	-7,97%	
PC3	-0,526	-0,440	-0,614	0,389	5,80
	-26,71%	-22,34%	-31,18%	19,77%	
PC4	0,719	-0,686	-0,070	0,084	0,63
	46,08%	-43,96%	-4,53%	5,44%	

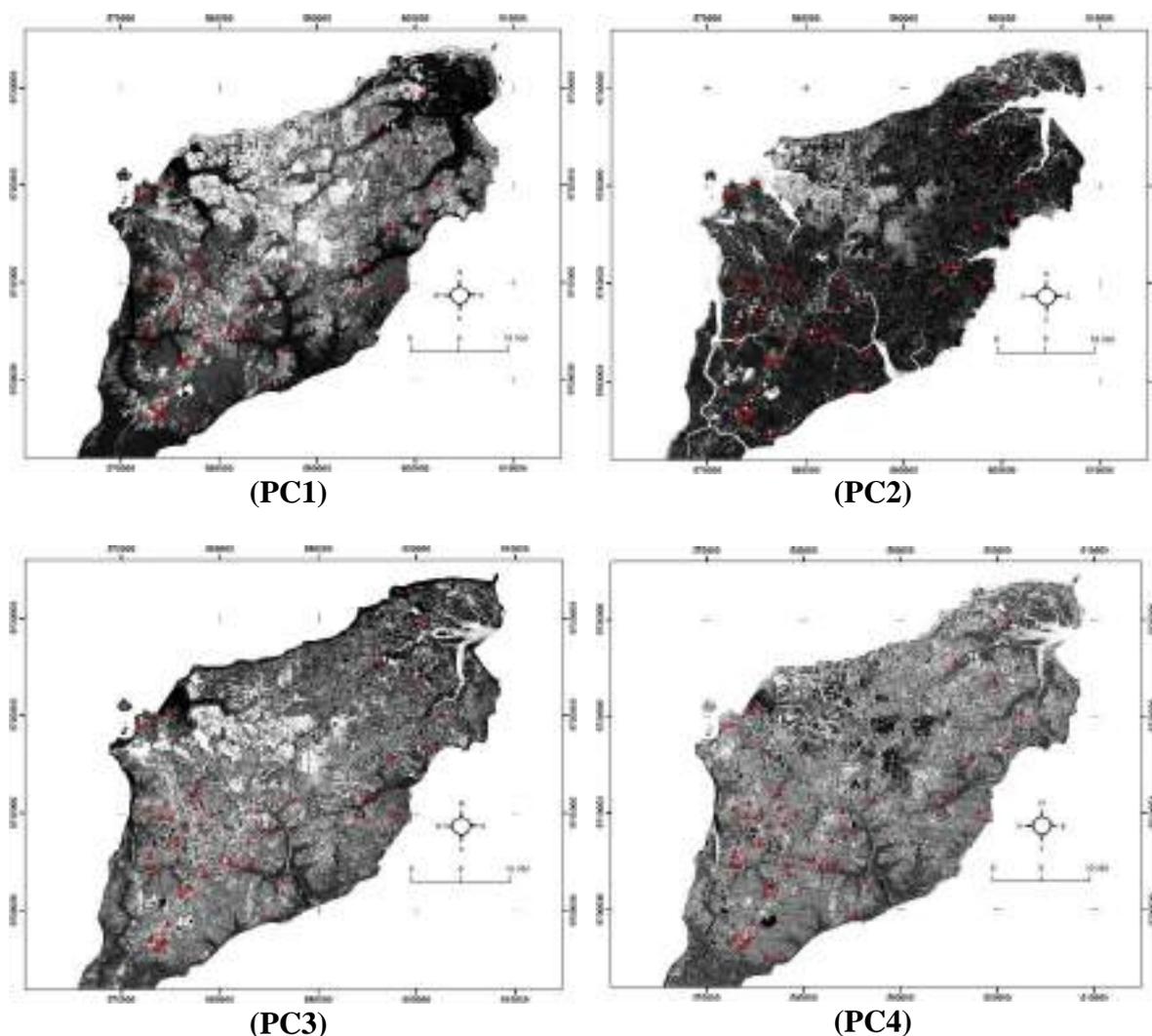


Figura 5.5 - Mosaico das principais componentes das cenas 220/62 e 221/62 geradas a partir dos canais originais TM 1-3-4-5. Minerais do grupo do óxido de ferro estão destacados como regiões claras na PC3 e como regiões escuras na PC4. Triângulos vermelhos correspondem às jazidas e ocorrências cadastradas

5.1.3 Considerações Finais

Os resultados obtidos permitem tecer os seguintes comentários:

- os minerais do grupo dos óxidos de ferro foram mapeados como píxeis claros na PC3 e como píxeis escuros na PC4;
- a PC3 apresentou maior correlação com as áreas de ocorrência e jazidas de lateritas cadastradas, não obstante, o fato de que algumas áreas mapeadas como óxidos de ferro, tratam-se, na realidade, de superfícies construídas (telhado cerâmico e concreto) e sedimentos em suspensão em corpos de água;

- A PC4 apesar de conter a informação espectral referente aos óxidos de ferro contém ruídos, o que dificulta a interpretação visual dos resultados;
- Os dados hipsométricos indicam que há algum controle litológico e topográfico na distribuição espacial das lateritas, devendo ser verificada em futuros trabalhos de campo.

5.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E QUÍMICAS DO CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO

5.2.1 Análise de lâminas petrográficas luz polarizada

A análise petrográfica microscópica da rocha sedimentar, conglomerado ferruginoso laterítico indica as seguintes características:

- a. fábrica: homogênea.
- b. textura: grânulos como valor modal, extremos: muito grossa a seixos pequenos, contém muito cascalho, areia e finos ocorrem em fração menor do que 5%.
- c. arredondamento: sub angular e sub arredondado.
- d. esfericidade: alta.
- e. composição: quartzo policristalino, quartzo comum e quartzo ondulante, sendo rara a presença de feldspato potássico e fragmentos de granito, sendo o cimento marrom claro a marrom escuro do tipo hematita limonita.

A Figura 5.6 apresenta a textura do conglomerado ferruginoso laterítico, onde está evidenciada a interação entre o cimento e a matriz composta por grãos de quartzo microfraturados.

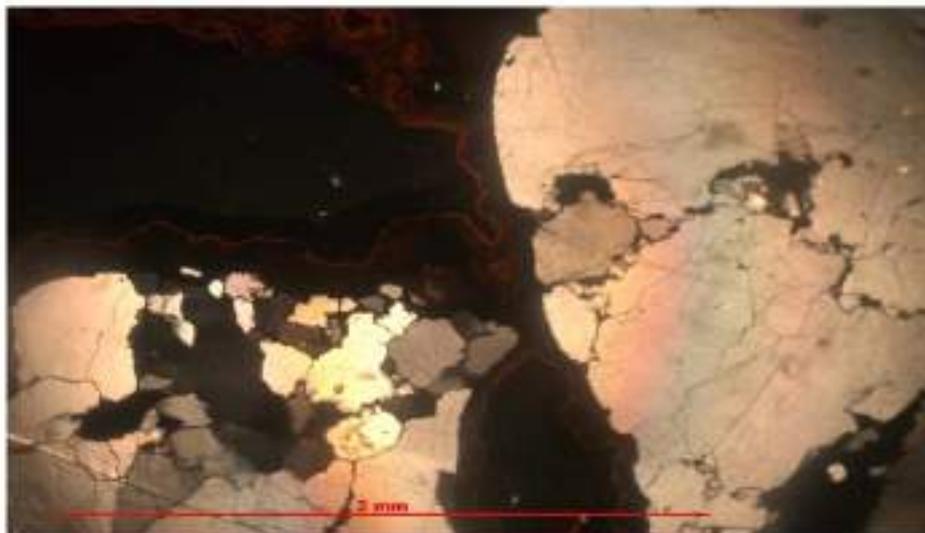


Figura 5.6 Foto com micrografia da luz polarizada do conglomerado ferruginoso laterítico constituído e grãos quartzo policristalino, quartzo comum e quartzo ondulado com frações de grânulos como valor modal, extremos muito grossos e seixos pequenos e contendo muito cascalho, enquanto a areia representa menos que 5%. A matriz rochosa é subangular e subarredondada, alta esfericidade com cimento marrom claro a marrom escuro tipo hematita e limonita, sendo rara a presença de feldspato potássico e fragmentos de granito. O cimento ocorre em alguns pontos como goethita botroidal evoluindo em alguns pontos para cristalização da hematita. Observar, também, que os grãos de quartzo maiores estão microfraturados, o que revela a susceptibilidade do grão a ser reduzido a uma granulometria inferior, quando submetido às forças da mandíbula do britador e revelando, conseqüentemente, a facilidade na redução da granulometria.

5.2.2 Determinação da relação sílica-sesquióxidos

Conforme as especificações do DNER, no Brasil a definição de solo laterítico e da laterita é baseada substancialmente na relação sílica /sesquióxidos e que foi originalmente proposta por WINTERKORN & CHANDRASEKHNRON *apud*, (1976).

A diferença entre solo laterítico e laterita em termos quantitativos de Kr (índice de identificação) foi proposta por MEDINA (1974) e consiste no raio molecular.

$$Kr = \frac{\%SiO_2/60}{\%Al_2O_3/102 + \%Fe_2O_3/160}$$

Sendo:

$K_r > 2$; solo não;

laterítico $K_r < 2$: solo;

laterítico

$K_r < 1,33$: laterita.

Conforme a Tabela 5.3, o K_r é baseado na relação sílica - sesquióxido e válido para frações coloidais.

Tabela 5.3 - Resultado da análise de determinação da relação sílica sesquióxido conforme norma DNER-ME-30-72.

ELEMENTOS	TIPO LITOLÓGICO	CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO
%Al ₂ O ₃		2.0
%Fe ₂ O ₃		46.0
%SiO ₂		2.5
Ki		2.15
Kr		0.13

Portanto, o conglomerado ferruginoso laterítico é considerado laterita.

5.2.3 Análise Químico Quantitativa de sete (7) elementos químicos na via úmida

A análise química apresentada refere-se ao conglomerado ferruginoso laterítico utilizado na primeira fase da pesquisa. O conglomerado apresenta-se sem alteração, ou com muita pouca alteração, tanto o cimento ferruginoso, como os grãos de quartzo.

O óxido de ferro apresenta-se com teor de 75,6 %, enquanto a sílica cristalina (grãos de quartzo), também dotada de sanidade, apresenta-se com teor de 8,8%. Esse tipo de conglomerado ferruginoso se apresentou-se mais resistente, tanto no que concerne à resistência individual do conglomerado ferruginoso laterítico alcançando, 40,1 MPa, como quando moldado em corpos de prova em concreto de cimento Portland, com valor do concreto atingindo 34,28 MPa, com traço 1:6 e 0,45 de fator água cimento.

Tabela 5.4 - Resultado da análise química quantitativa de oito (08) elementos químicos na via úmida

TIPO PETROLÓGICO- PETROGRÁFICO ELEMENTOS	CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO
%Al ₂ O ₃	2,6
%MnO ₂	< 0,05
%Fe ₂ O ₃	75,6
%FeO	0,08
%SiO ₂	8,8
%CaO	< 0,05
%MgO	< 0,05
%PPC	11,1

5.2.4 Reatividade Potencial e Análise Difratométrica do Conglomerado Ferruginoso Laterítico

Aspecto que merece destaque são os constituintes mineralógicos principais. No caso, o quartzo apresenta-se em forma de grãos originados de quartzo cristalino totalizando um teor de 8,8%. O cimento ferruginoso, um óxido de ferro totaliza, por sua vez, um teor de 75,6%. Ambos conjuntos mineralógicos não se apresentam como reativos ao álcalis do cimento, sendo, portanto, inócuos, permitindo o uso desse agregado sem qualquer restrição, conforme Tabela 5.5, onde é apresentado o resultado do ensaio químico.

Outro destaque, pelo menos no que diz respeito à amostra analisada, é o fato desse agregado não apresentar qualquer variedade criptocristalina, o que seria uma inconveniência, face à reatividade potencial que esse mineral apresenta aos álcalis do cimento.

Tabela 5.5 - Representação da reatividade química aos álcalis do cimento.

CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO	
Redução da Alcalinidade (milimoles de Na OH/l)	205
Sílica Dissolvida (milimoles de SiO ₂ /l)	14
Natureza Tecnológica	Inócuo

5.2.5 Análise Difratométrica do Conglomerado Ferruginoso Laterítico

A interpretação do resultado do diagrama de difração (X) do conglomerado ferruginoso laterítico está apresentada no Quadro 5.1, na pág. 132, onde é apresentado uma avaliação qualitativa e quantitativa. O diagrama obtido de difração (X) deste tipo litológico/petrográfico está apresentado na Figura 5.7, na página 131 a seguir.

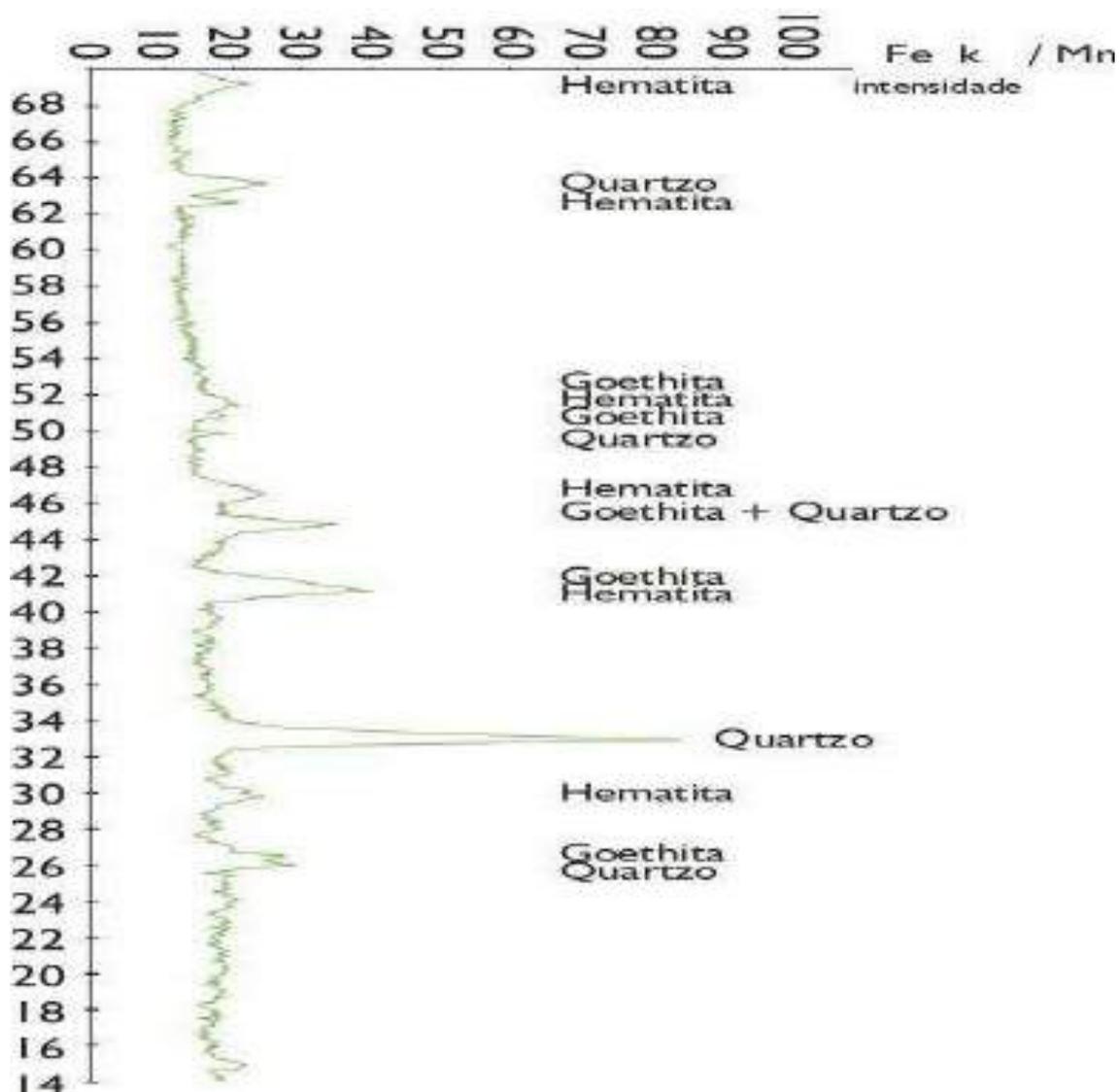


Figura 5.7 - Espectro da análise de difração de raios-X do conglomerado ferruginoso laterítico.

Foram executados com uma radiação FeK num difratômetro PHILLIPS. A identificação das fases cristalizadas presentes foi feita por comparação com amostras registradas no fichário ASTM (comparação entre os valores dos espaçamentos interplanares d_{hkl} e das respectivas intensidades).

Uma avaliação quantitativa e qualitativa é apresentada no Quadro 5.1 a seguir:

Tabela 5.6 - Avaliação dos resultados da análise da difratometria de raios-X.

Quantidade e Qualidade dos Elementos	Quartzo	Hematita	Goethita	Kaolinita
Tipo Litológico				
Conglomerado ferruginoso laterítico	Muito	Pouco	Muito pouco	-

Na análise mineralógica apenas da fração fina, cuja separação foi feita por sedimentação em meio aquoso, após duas horas de repouso da suspensão, não foram identificados minerais do grupo da kaolinita no conglomerado ferruginoso laterítico.

5.2.6 Definição de Lateritas de São Luís (MA) elaboradas/formuladas a partir das análises geológico-geoquímicas, físico-mecânicas e investigações de campo

Laterita de São Luís no estado do Maranhão é um material natural, pisolítico individualizado ou constituindo um maciço, composto essencialmente de óxido de ferro e de alumínio, de magnésio e outros, com ou sem quartzo ou pedaços de rocha mecanicamente envolvidos; os seus minerais argilosos são do tipo caulínicos, dureza variável, mas usualmente fácil de fragmentar sob ação incisiva da pancada de um martelo. Aparece, quando fragmentada, com aspecto matizado, em regra com cores variando do amarelo ao vermelho mais ou menos escuro, e mesmo ao negro.

Pela maior exposição às intempéries na superfície, há evaporação mais rápida da água ascendente e precipitação do ferro que passa a não encontrar condições favoráveis para aglutinação de grandes blocos.

A região é chuvosa, e, assim sendo, tem-se aglutinação maior de nódulos na superfície. Todavia, a rápida perda de umidade devido aos ventos alísios faz com que o processo de aglutinação se passe em profundidade. A química de solução, mobilização, precipitação e utilização do ferro, alumina e sílica está fundamentada na Tabela 2.1. Quadro 2.1.

5.2.7 Análises químicas quantitativas com base no método de ensaio utilizando a fluorescência de raio X e no método via úmida

Comparando os resultados quantitativos de substâncias químicas encontradas entre o método de ensaio (fluorescência de raio X) e do método de ensaio (via úmida), observa-se que o conglomerado ferruginoso laterítico (agregado/material pétreo) utilizado na primeira fase de estudo, muito embora possuindo gênese e aspectos texturais iguais, diferem quanto aos teores dos quantitativos de SiO_2 e Fe_2O_3 , conforme pode ser verificado ao se comparar os resultados expostos nas Tabelas 5.4 e 5.6, referentes ao conglomerado ferruginoso laterítico utilizado nessa fase de estudo.

O conglomerado ferruginoso laterítico utilizado na primeira fase apresentou 8,8% de SiO_2 e 75,6% de Fe_2O_3 , conforme Tabela 5.4, enquanto o conglomerado ferruginoso laterítico de segunda fase apresentou 70,2% de SiO_2 e 23,8% de Fe_2O_3 , segundo Tabela 5.7.

Essa diferença de teores entre os minerais principais, ou compostos químicos, que compõem os conglomerados de primeira e segunda fase do estudo evidentemente tem reflexo na resistência físico-mecânica destes conglomerados quando misturados na massa de concreto.

O conglomerado ferruginoso laterítico de primeira fase apresentou 40,1 MPa de resistência média à compressão axial simples. No entanto, este conglomerado, apresentou resistência máxima de 47 MPa e resistência mínima de 22,9 MPa

O conglomerado de segunda fase apresentou uma média de 35,2 MPa de resistência média a compressão axial simples. Por outro lado, apresentou resistência máxima de 42,3MPa e resistência mínima de 29,1 MPa.

Por haver muita discrepância entre o valor máximo e o valor mínimo, foram adotados o valor médio de referência, 40,1 Mpa e 35,2 Mpa, primeira fase e segunda fase, respectivamente, e, portanto, uma diferença de 12,21% de resistência menor quando comparados.

Essa situação remete a um entendimento no sentido que é muito difícil se conseguir, na natureza, um conjunto de conglomerados ferruginosos lateríticos em que predomine uma resistência constante.

Nesse ponto fica claro que o intemperismo diferencial com distribuição errática não garante homogeneidade de resultados referente a resistência da rocha/conglomerado, quer quando avaliados isoladamente nos ensaios dos corpos de prova da rocha/conglomerado, quer quando ensaiados quando usados e misturados em corpos de prova de concreto de cimento Portland.

O intemperismo diferencial distribuído e incidindo erraticamente no domínio da rocha não garante homogeneidade de resistência da rocha/conglomerado ferruginoso da jazida do Maracujá, o que foi comprovado nesta segunda fase de estudo, onde foi observado que, na medida em que se diminuía a abertura da mandíbula do britador, mais material fino era disponibilizado e visualizado ao final do processo de britagem, comprovando o estado de alteração da rocha conglomerática ferruginosa.

O conglomerado ferruginoso laterítico desta chamada segunda fase de estudo e pertencente à jazida do Maracujá, atingiu 35,7 MPa de resistência média individual da rocha. Quando britado e transformado em agregado e adicionado no concreto de cimento Portland, atingiu valor de resistência de 31,7 MPa, com traço 1:4 e 0,45 de fator água cimento.

O conglomerado ferruginoso laterítico da primeira fase localizado nas proximidades da torre da Embratel, na ilha de São Luís no estado do Maranhão, atingiu 40,1 MPa de resistência média individual da rocha. Quando britado e transformado em agregado e adicionado no concreto de cimento Portland, atingiu valor de resistência de 33,97 MPa, com traço 1:4 e 0,45 de fator a/c (água cimento).

Comparando-se as duas resistências, observa-se uma diferença de 6,48% de resistência, o que revela uma coerência de resultados. A diferença de resistência poderia ter sido maior, mas não o foi, porque, na primeira fase dos estudos, não se corrigiu a granulometria, enquanto, na segunda fase, a granulometria foi corrigida.

Elementos	Tipo Petroológico- Petrográfico	Conglomerado Ferruginoso Laterítico
%Al ₂ O ₃		2,3
%SiO ₂		70,2
%SiO ₃		0,17
%TiO ₂		0,12
%V ₂ O ₅		0,16
%Fe ₂ O ₃		23,8
%WO ₃		0,17
%PPC		2,8

Tabela 5.7 - Resultado da análise química quantitativa de 8 elementos químicos via fluorescência de raio X referente ao conglomerado ferruginoso laterítico da segunda fase da pesquisa.

5.2.8 Classificação macroscópica e microscópica com luz polarizada, microscopia com luz refletida, microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectrometria atômica e microtomografia computadorizada com raio X do Conglomerado ferruginoso laterítico

O tipo petrográfico, aqui denominado de conglomerado ferruginoso laterítico possui uma matriz com textura constituída de grãos e de grânulos muito grossos a seixos pequenos contendo muito cascalho e ainda areia fina e média, totalizando menos de 5%. A matriz referida é essencialmente composta de vários tipos de quartzo e sendo rara a presença de feldspato potássico. O arredondamento é subangular e subarredondado e de alta esfericidade. O cimento tem composição hematítica e limonítica e coloração variável, preto acinzentado, marrom escuro até marrom claro em função da hidratação e oxidação do horizonte laterizado.

A Figura 5.8 evidencia o aspecto macroscópico de amostras de mão conseguidas nos blocos rochosos na frente de exploração (lavra) com dimensões superiores a 1,20 m de diâmetro.



Figura 5.8 - Detalhe da estrutura interna do conglomerado ferruginoso laterítico da jazida do Maracujá, tendo a caneta como escala e assim dando ideia da proporcionalidade entre a matriz quartzosa, o cimento ferruginoso e a alteração diferencial a que foi acometida a rocha face ao intemperismo físico-químico diferencial.

A Figura 5.9 apresenta uma fotomicrografia obtida em microscópio de luz polarizada denotando a interação entre a matriz rochosa e o cimento da rocha. Aspecto que denota atenção é a ocorrência de finíssimos grãos de quartzo facetados imersos no cimento que certamente esteve envolto em argilas siltosas que foram submetidas e absorvidas pela laterização preservando os finíssimos grãos de quartzo. Tem se nesta amostra duas situações de contato entre diferentes materiais. A primeira situação é a zona de contacto do óxido de ferro com as partículas finíssimas dos grãos de quartzo. A segunda situação é a zona de contacto do óxido de ferro com os grãos maiores de quartzo.

Na Figura 5.10 pode ser observada as dimensões quantificadas na escala, dois (2) tipos de grãos de quartzo acima abordados.

Ao se comparar as Figuras 5.9 e 5.10 pode-se afirmar que existe, no conglomerado ferruginoso, quatro (4) tipos de porosidade teórica, a seguir discriminadas:

- 1 – porosidade no contacto entre todos os grãos de quartzo e o cimento ferruginoso, tanto entre os grãos menores de quartzo e o cimento, tanto quanto os grãos maiores de quartzo e o cimento ferruginoso;
- 2 – porosidade do próprio óxido de ferro;
- 3 – porosidade dos grãos de quartzo, menores e maiores, que se encontram microfraturados;

4 – Porosidade resultante do somatório das porosidades acima sinalizadas, tendo em consequência a porosidade total do conglomerado ferruginoso laterítico.

A esta complexidade de poros existentes nas amostras dos agregados resultou em ensaios de laboratório apresentando uma porosidade aparente de 9,4% e absorção de água de 3,6%, segundo o método de ensaio empregado, (IPT – M 47). Esses resultados têm reflexos na dosagem da água no cimento, compondo o fator água cimento. A quantidade de água que é adicionado ao concreto laterítico interfere nas propriedades de trabalhabilidade, homogeneização, compactação, exsudação. Essas propriedades, por fim, acabam por interferir na resistência final do concreto.



Figura 5.9 - Microfotografia com luz polarizada do conglomerado ferruginoso laterítico evidenciando a interação entre os óxidos cimentícios com a matriz quartzosa. Observar que o cimento ferruginoso engloba partículas muito finas de frações quartzosas com aspectos microscópicos obtidos através de lâmina petrográfica segundo luz polarizada.

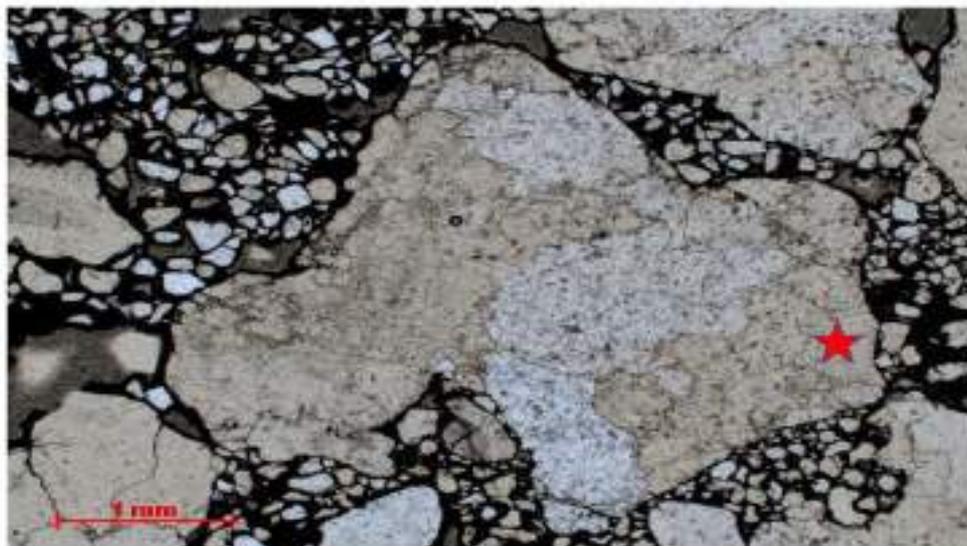


Figura 5.10 - Microfotografia com luz polarizada de detalhe do conglomerado ferruginoso laterítico, onde pode ser observado que o cimento engloba partículas muito finas de frações quartzosas, e assim estabelecendo uma maior área de contato entre diferentes materiais, no caso, cimento e grãos da matriz, gerando assim maior área de microdescontinuidades e consequente maior microporosidade, com reflexos nos índices físicos da rocha.

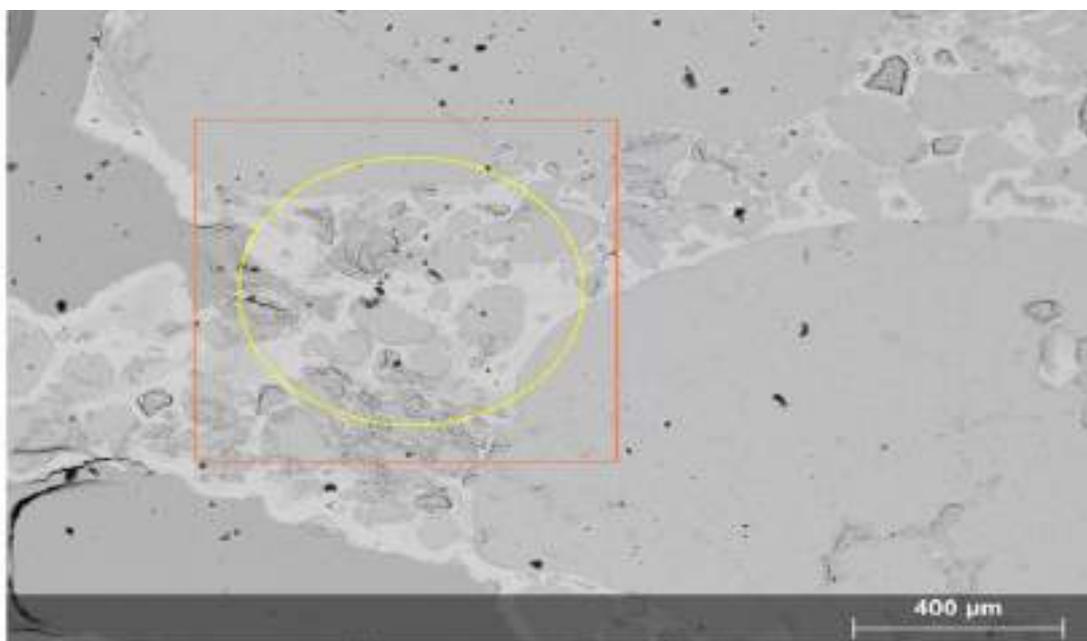


Figura 5.11– Fotomicrografia microscópica eletrônica de varredura (MEV). Aspectos delimitados da área dentro do quadrado onde foi executado a varredura, com os resultados químicos apresentado na figura 5.12. A fotomicrografia apresenta o conjunto amostral denotando o cimento constituído de óxidos ferruginosos (hematita, goetita), sendo a fração mais esbranquiçada. A matriz é composta de quartzo, sendo representada como a fração mais escura. Nesta figura 400 micrômetros é equivalente a 0,4 mm. Parei aqui

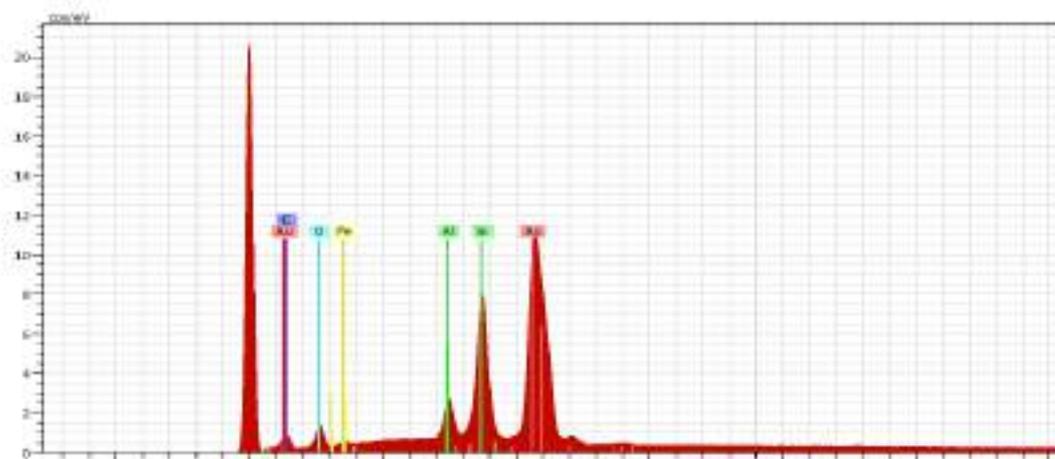


Figura 5.12 – Apresentação da energia de dispersão com detector do raio X (EDS), destacando-se os constituintes minerais da amostra da Figura 5.11

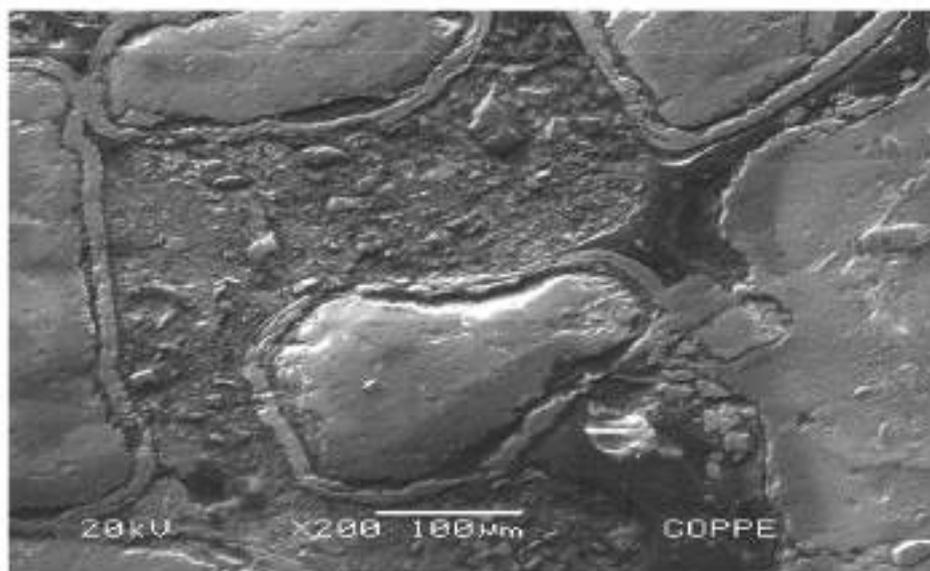


Figura 5.13 - Fotomicrografia MEV evidenciando em plano mais marcante os grãos de quartzo maiores envolvidos por uma fração/película de óxido ferruginoso. Entre um grão e outro, pode ser observado o cimento ferruginoso, no qual ocorrem disseminados finíssimos grãos de quartzo.

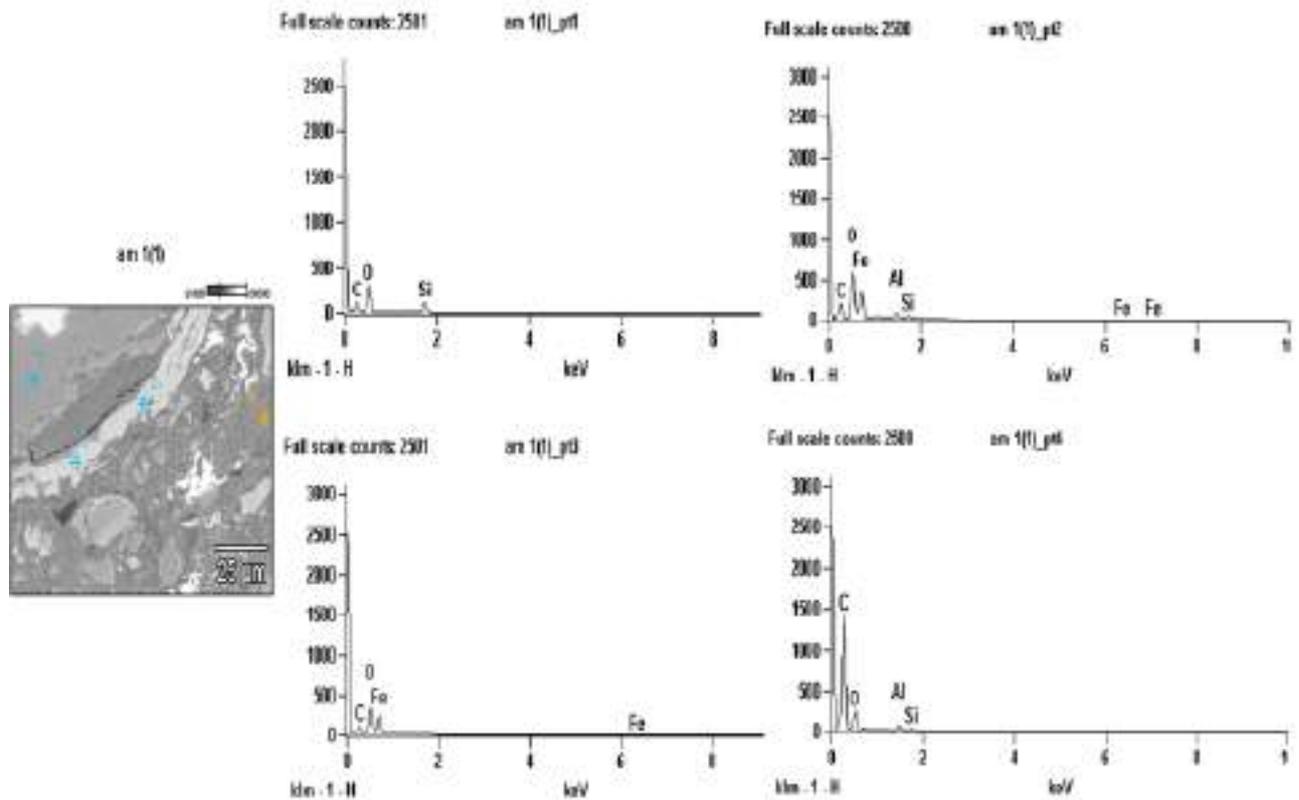


Figura 5.14 - Perfil pelos pontos 1,2,3 e 4 com os respectivos elementos químicos presentes: **am 1** = C, O e Si = quartzo - **am 2** = C, O, Fe, Al e Si = óxido de ferro + quartzo - **am3** = C, O e Fe = óxido de ferro puro - **am4** = C, O, Al e Si = óxido de alumínio.

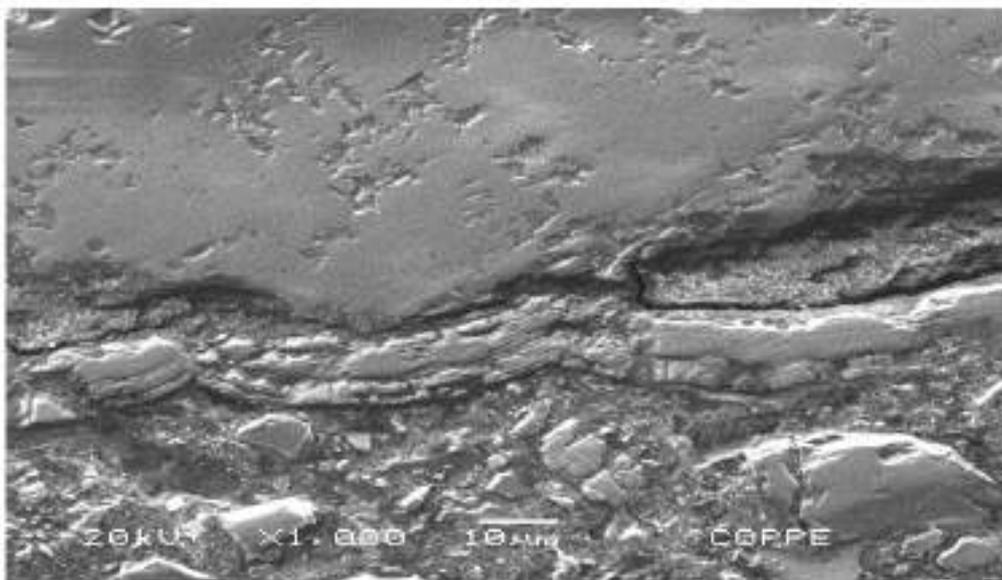


Figura 5.15 – Detalhe da foto, Figura 5.14 mostrando o contraste divisório entre o quartzo e o cimento ferruginoso.

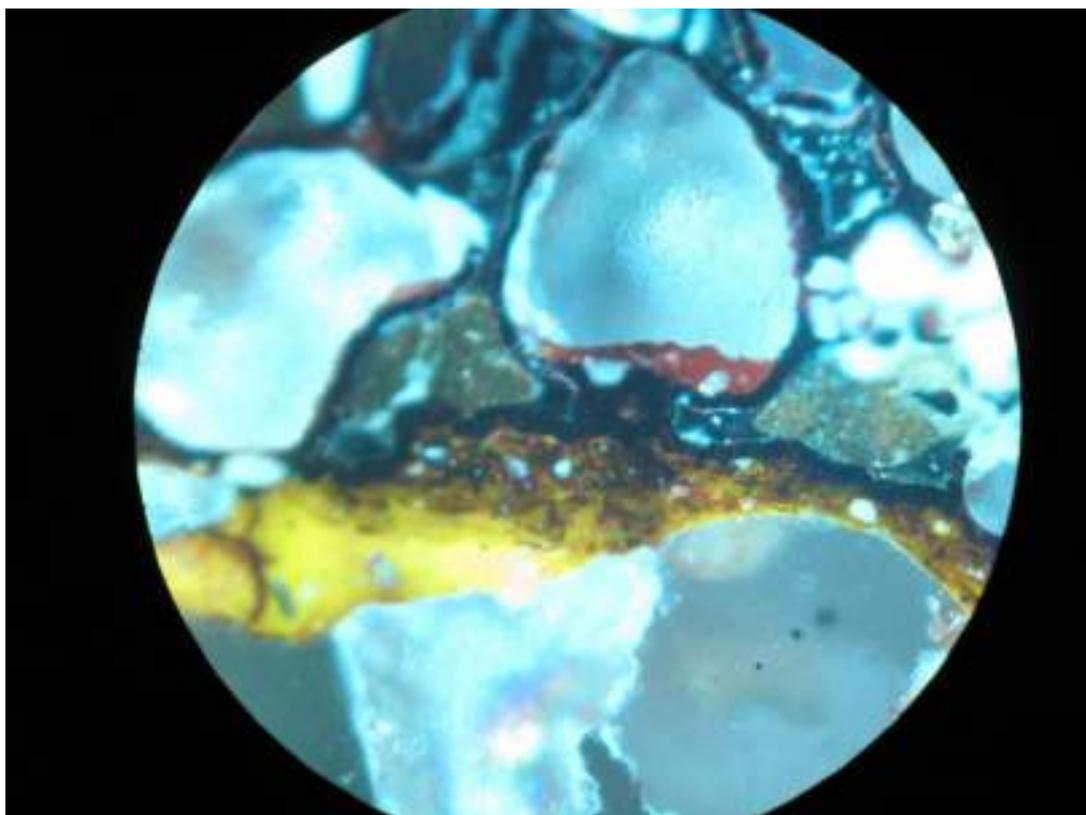


Figura 5.16 – Microfotografia com a luz refletida do conglomerado ferruginoso laterítico denotando a gohetita representada pela cor amarela, a hematita representada pela cor marron e o quartzo representado pela cor branco.

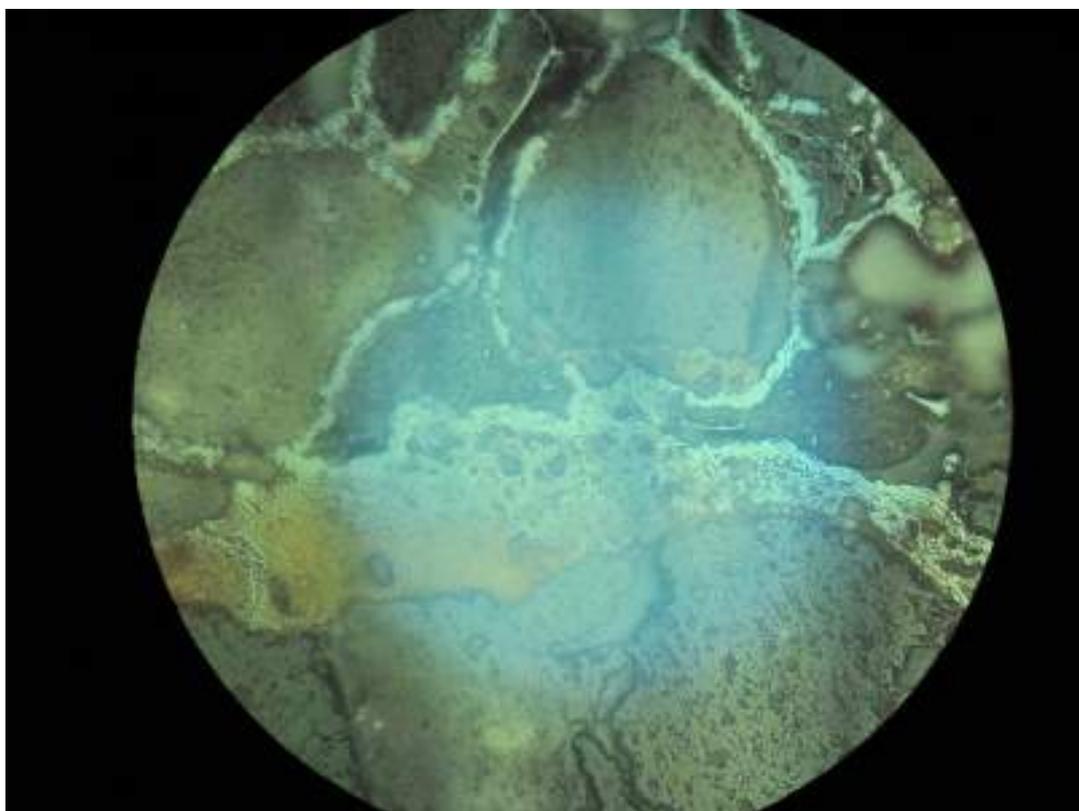


Figura 5.17 – Microfotografia com luz refletida do conglomerado ferruginoso laterítico semelhante à tomada da Figura 5.16, porém com os nicóis cruzados.

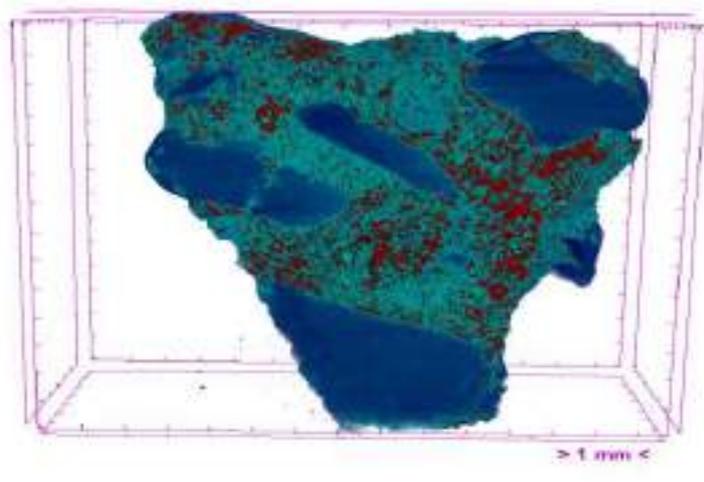


Figura 5.18 - Microtomografia computadorizada com raio X, análise da porosidade, espessura e distribuição com vista 3D.

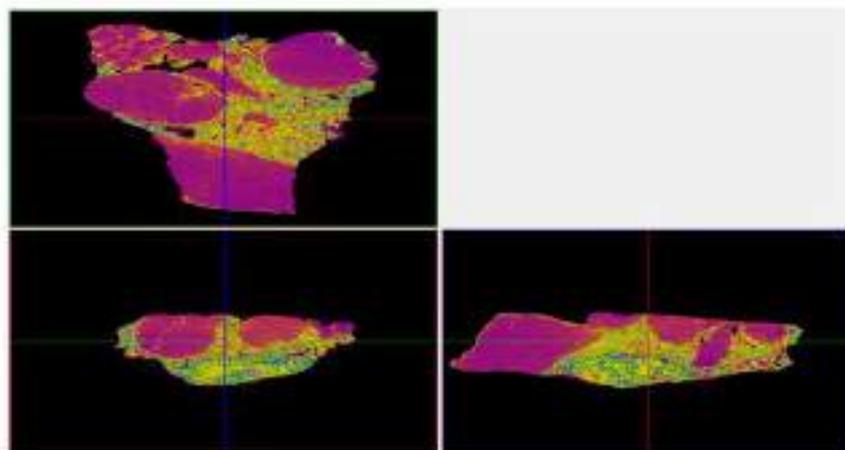


Figura 5.19 – Microtomografia computadorizada ao raio X - vista bidimensional com distribuição dos poros.

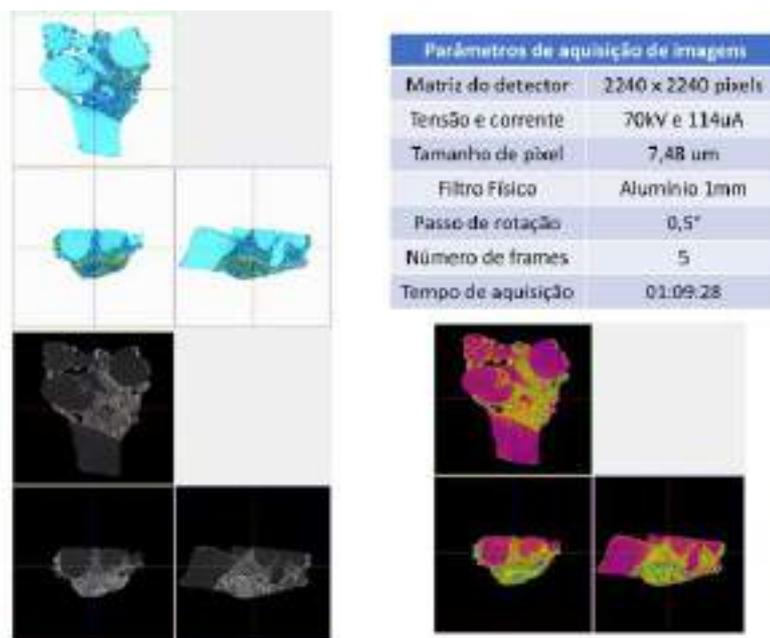


Figura 5.20 – Parâmetros de aquisição de imagens.

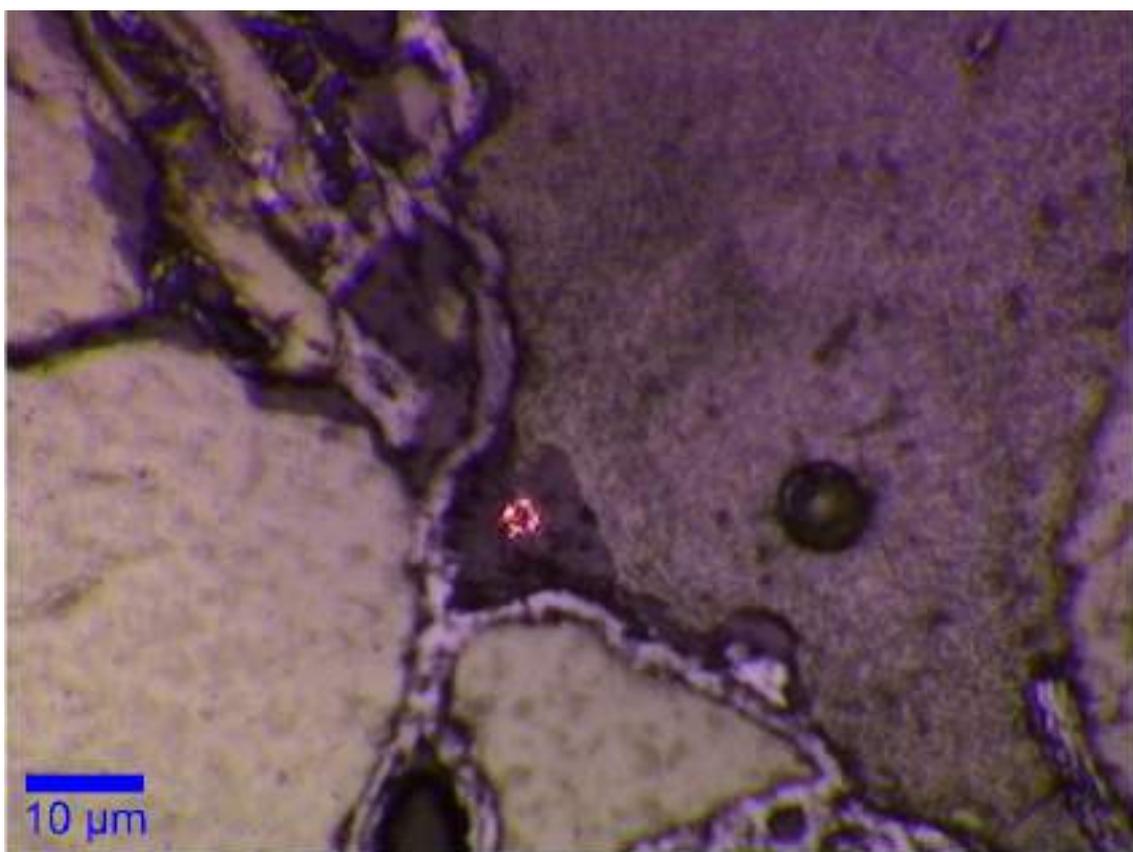


Figura 5.21 – Aspecto microscópico do conglomerado ferruginoso laterítico no microscópio de força atômica.



Figura 5.22 - Espectrometria atômica, evidenciando detalhe da cristalização da Hematita.

5.2.9 Classificação tecnológica da laterita como agregado segundo normas brasileiras

São três os requisitos para escolha de um agregado para concreto: economia do concreto, resistência do concreto endurecido e durabilidade do concreto. Como o agregado ocupa 70 a 75% do volume do concreto, a sua seleção e proporcionamento devem merecer o maior cuidado para garantir a qualidade final do concreto.

Uma das principais vantagens do uso em grandes proporções dos agregados é a de apresentar custo muito inferior ao do cimento. Do ponto de vista técnico, os agregados influenciam certas propriedades do concreto, beneficiando o concreto, principalmente na redução da retração que é alta na pasta de cimento (cimento + água) e na melhoria da resistência ao desgaste.

Uma importante propriedade do agregado é a sua granulometria. Neste estudo, foi dado uma ênfase especial na avaliação da distribuição granulométrica do conglomerado ferruginoso laterítico em relação à curva de “FULLER”, como se depreende da leitura do texto. O ensaio de granulometria consiste em separar por quantidades e tamanhos os grãos

do agregado, isto é, a quantidade de agregado graúdo e agregado fino. Pelo ensaio em questão, os seguintes elementos podem ser obtidos:

- 1 - o quadro de composição granulométrica
- 2 - a dimensão máxima e mínima do agregado
- 3 - o módulo de finura.

Uma granulometria adequada é importante para se conseguir concreto fresco trabalhável, próprio para a finalidade a que se destina e possível de ser adensado de modo a ser atingido o máximo de compacidade para o concreto endurecido.

Essa granulometria é determinada caso a caso, mas de um modo geral, o agregado deve apresentar granulometria descontínua, isto é, que os grãos tenham tamanho diferenciado desde os mais finos, até os mais graúdos como acontece com o conglomerado ferruginoso laterítico de São Luís, no estado do Maranhão.

A granulometria tem influência sobre a economia e a resistência do concreto, além de ser um fator regulador da consistência com dito previamente, uma vez que, quanto mais agregado puder ser contido num determinado volume de concreto, mais econômico ele o será. Por outro lado, o consumo de pasta diminuirá, e, via de conseqüência, a quantidade de água necessária para o amassamento também será menor.

São as seguintes normas técnicas (NBR) e, métodos de ensaio para caracterização de um agregado, categoria em que também se insere o conglomerado ferruginoso laterítico, a saber:.

- 5734/88 - Peneiras para ensaio;
- 6465/84 - Determinação da abrasão Los “Angeles” de agregados - método de Ensaio 7211/83 - Agregado para concreto – especificação;
- 7216/87 - Amostragem de agregados e respectivo procedimento;
- 7217/87 - Determinação da composição granulométrica;
- 7218/87 - Determinação do teor de argila nos agregados;
- 7219/87 - Determinação do teor e pulverulentos- método e ensaio;
- 7220/87 - Avaliação das impurezas orgânicas das areias para concreto;
- 7221/87 - Agregados - Ensaio de qualidade de agregado miúdo;
- 7251/82 - Agregado em estado solto;

- 7389/82 - Avaliação petrográfica de agregados;
- 7390/82 - Análise petrográfica de rochas;
- 7809/83 - Agregado graúdo, índice de forma;
- 7810/83 - Agregado determinação da massa unitária;
- 9775/87 - Agregados, determinação da humidade - método de ensaio;
- 9776/87 - Agregados, determinação da massa específica;
- 9941/87 - Redução de amostra de agregados para laboratório.

As normas brasileiras contemplam os ensaios necessários para caracterização de um material pétreo e não fazem referência específica ao tipo de agregado pétreo quanto a sua gênese, portanto o que se quer dizer é que o conglomerado ferruginoso laterítico não está especificamente contemplado. Nesse sentido, importam os parâmetros alcançados.

Preferencialmente, buscam-se agregados cristalinos, mas, na ausência destes, outros materiais disponíveis nas cercanias são aproveitados, mesmo os não convencionais, como é o caso do conglomerado ferruginoso laterítico. No caso da construção do Aeroporto Internacional de Manaus foi utilizado com sucesso um arenito silicificado da região que pertence à formação Manaus. No caso da construção das estruturas de concreto da barragem de Curuá Una no estado do Pará, foi utilizado, também com sucesso, um determinado tipo de arenito/conglomerado ferruginoso, no caso específico, cimentado por óxidos de ferro e que também foi denominado de laterita.

Na região de influência e ocorrência geológica do arenito da formação Botucatu, no estado de São Paulo e cercanias, aquele arenito silicificado também é utilizado com sucesso para as mais diversas finalidades na engenharia civil.

Esses comentários postos, pode-se afirmar que esses materiais agregados pétreos, embora tendo diferentes características genéticas, foram ensaiados e caracterizados dentro do padrão da norma brasileira. Então, para utilização e aprovação para uso dos agregados para as mais diversas finalidades, o material pétreo precisa se enquadrar nos padrões técnicos especificados pelas normas e que, não custa repetir, não faz referência à classe de rocha específica.

Os seguintes ensaios são aqui mencionados para conhecimento das características tecnológicas do agregado pétreo sem, contudo, também, especificar o tipo genético, quer cristalino (granítico/gnássico) quer sedimentar cimentado, quer por sílica, quer por

óxidos, quer por carbonatos:

- formação de amostras de agregados - ABNT-MB-6-39;
- ensaio de “Abrasão Los Angeles”- DNER-DPTM-35-64;
- densidade do agregado graúdo - ABNT MB-29-45 e ABNT-C 127-42;
- análise Granulométrica de agregados – ABNT-MB-7-39;
- avaliação da durabilidade de agregados pelo emprego de soluções de sulfato de sódio; ou de magnésio – DNER-DPT-M 89-64;
- índice de forma de agregado – DNER-DPT-M 86-64.

Portanto, a classificação física do agregado não é feita com base no tipo específico de rocha (granítica, metamórfica e sedimentar) e sim com base em padrões de qualidade dos materiais.

5.2.10 Qualidade tecnológica do concreto hidráulico de São Luís e casos históricos referentes ao uso de agregados não convencionais

Na primeira fase deste estudo foram utilizados nos corpos de prova do concreto, o aglomerante (cimento) hidráulico de São Luís, no estado do Maranhão (MA), que é quimicamente ativo, onde o endurecimento se processa sob influência exclusiva da água. Possui pega lenta (entre 30 minutos a 6 horas), sendo denominado cimento Portland, cujo produto é obtido pela moagem do clínquer, com nódulos de 5 a 24 mm de diâmetro de um material sinterizado e constituído, essencialmente, de silicatos e aluminatos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio. Em São Luís do Maranhão usa-se o cimento Portland 320, fabricado no município de Codó, no estado do Maranhão, cuja análise química esta contida na Tabela 3.1 e está de acordo com NBR 5732. Trata-se do mesmo cimento utilizado no presente estudo, o CP 32, fabricado pela cimenteira Cauê, o CP II E 320, com características físicas apresentadas na Tabela 5.7. As características químicas do cimento CAUÊ, não foram fornecidas pelo fabricante.

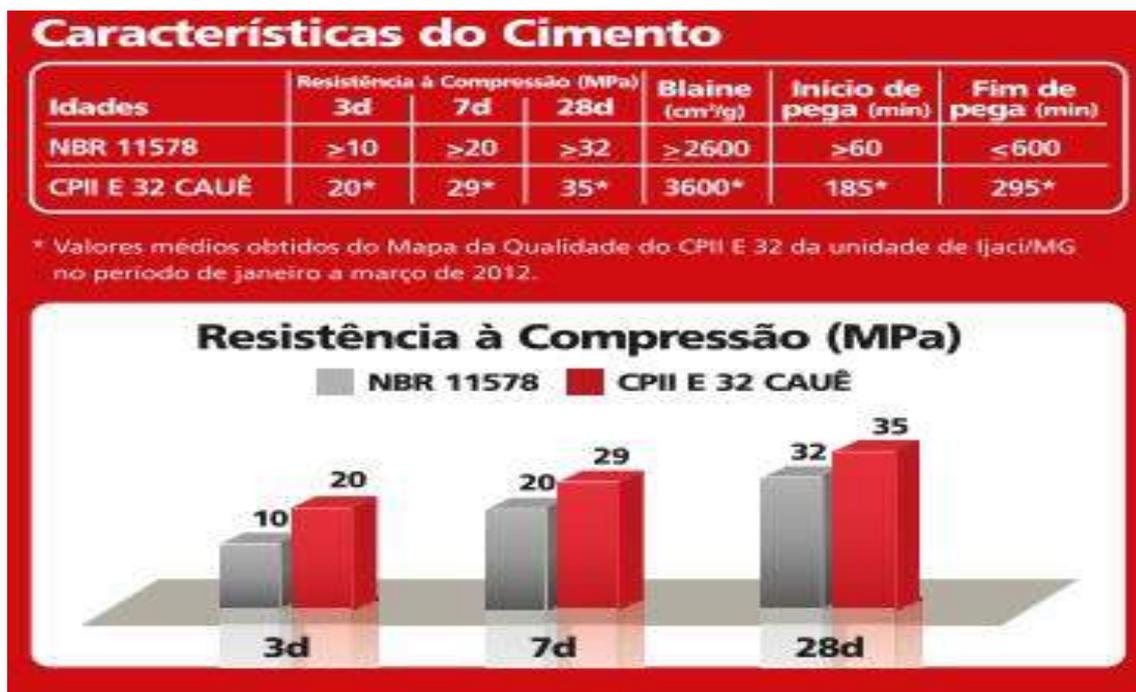


Tabela 5.8 – Características físicas do Cimento Cauê – CP E II.

A qualidade tecnológica do concreto de São Luís, no estado do Maranhão obedece aos padrões preconizados nas normas brasileiras. Tem-se e se tem conhecimento que várias empresas de controle de qualidade tecnológica do concreto têm atuado em São Luís (MA) em obras privadas, estaduais e federais.

O atual estudo desenvolvido é sobre um concreto hidráulico utilizando o conglomerado ferruginoso laterítico (laterita) como material pétreo (agregado), ao passo que em outros concretos hidráulicos tradicionais e com resistência consagrada são utilizados a brita granítica vinda do município de Rosário, distante 70 km de São Luís. A areia lavada é obtida dos rios da região, conforme se verifica nas cercanias da referida ilha de São Luís.

Então pode-se distinguir dois (2) tipos de concreto hidráulico na capital do estado do Maranhão, São Luís. Um primeiro concreto refere-se àquele constituído com base em brita granítica, enquanto um segundo concreto é constituído à base de laterita, com os mais variados tipos de laterita e usados de maneira desordenada, porque não se adota uma escala de preferência de uso por ordem de qualidade da laterita da referida ilha, conforme mostrado em estudos anteriores.

O aproveitamento da laterita é feito de forma empírica e inadequada explorando a laterita como sendo aquela chamada de “pedra preta”, uma vez que as autoridades de governo, não tem possivelmente dado atenção, quanto às qualidades técnicas de engenharia no que concerne aos diferentes tipos de laterita da ilha de São Luís. O

conhecimento da tendência de comportamento tecnológico dos diferentes tipos de laterita existente na referida ilha foi estabelecido por OLIVEIRA, (2008).

Em recente controle de qualidade construtiva do concreto hidráulico efetuado na recuperação da ponte de Estiva no Estreito dos Mosquitos em São Luís do Maranhão, na BR 135, foi utilizado um concreto convencional, com cimento de Codó, areia lavada de rio e agregado (brita) do município de Rosário, que aos 28 dias de cura atingiu 32,1 MPa de resistência à compressão axial simples, sem uso de aditivo. Com o uso de aditivo foi obtida uma resistência de 42,5 Mpa, referindo-se ao concreto da laje de apoios, lado direito e esquerdo. A recuperação da referida ponte foi efetuada pela construtora Jatobetom Engenharia Ltda., sendo que o concreto foi fornecido pela Polimix de São Luís do Maranhão, cujo controle de qualidade da obra foi feito pela empresa IT- Engenharia e Consultoria Ltda. A qualidade tecnológica do concreto hidráulico de São Luís esta dentro dos critérios preconizados pelas normas da ABNT.

5.2.11 Orientação da exploração racional dos tipos lateríticos antecedente ao levantamento por imagens de satélite

O presente estudo, que se refere ao conglomerado ferruginoso laterítico da ilha de São Luís, no estado do Maranhão, veio aclarar a potencialidade do uso do referido material, a partir do momento em que foi entendido o comportamento granulométrico desse material, quando britado com abertura das mandíbulas do britador em 2", 1 ½" e 1", oferecendo diferentes curvas granulométricas.

A exploração da laterita na ilha de São Luís poderá se dar de forma racional a partir do momento, em que, de início, se tenham individualizados os corpos rochosos das jazidas de forma sistemática e concordante com as diretrizes e regras ambientais da referida ilha.

Antecede, a qualquer exploração, um levantamento por imagens de satélite, de forma semelhante com o procedimento efetuado neste estudo, em que se delimitam as zonas potenciais de ocorrência da laterita. Outros tipos de imagens, ou produtos satelitais, como, por exemplo, é o caso do ASTER (*Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection*), podem vir a ser testados no sentido de verificar a melhor eficiência e a maior acurácia no nível de resolução espacial das imagens com vistas a prover melhor identificação de corpos lateríticos.

O levantamento para consequente indicação de exploração mineral deve ser compatibilizado dentro dos critérios ambientais preconizados em concordância com o planejamento territorial e urbano da zona metropolitana (plano diretor) no domínio da ilha de São Luís do Maranhão.

No passado, quando da construção e do asfaltamento da estrada Belém – Brasília, a laterita foi detectada com base em imagens de satélite Landsat – TM, com expressivo sucesso.

Para um estudo de agregados a serem usados nos assentamentos fundiários de Rondônia, o departamento de estradas de rodagem daquele estado, contratou os serviços de consultoria em geologia e geotecnia da empresa Transplan S/A em que foram contemplados, através de um levantamento de imagens de satélite da plataforma Landsat, a identificação e o cadastramento dos corpos lateríticos para uso nas estradas vicinais daquele assentamento. Assim veio atender as necessidades da infraestrutura e, conseqüentemente, permitindo, com êxito, o escoamento da safra agrícola.

No caso da barragem de Flores no estado do Maranhão, cujo interessado foi o Departamento Nacional de Obras e Saneamento – DNOS, foi também utilizada a técnica de imageamento digital no sentido de se identificar e explorar jazidas de laterita.

Portanto, a exploração racional foi possível com base em um levantamento geológico identificatório de ocorrências de laterita, empregando-se técnicas de processamento de dados digitais de imagens Landsat-TM (*thematic mapper*) de sensoriamento remoto e sistemas de informações georeferenciadas, que constituem importantes ferramentas na localização de áreas contendo óxidos e hidróxidos de ferro (laterita), cuja resolução do processo já foi amplamente utilizado no Brasil, conforme os exemplos acima citados.

5.3 RESULTADOS QUE INDICAM A QUALIDADE TECNOLÓGICA DO AGREGADO (CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO)

5.3.1 Determinação dos Índices Físicos

Os resultados dos ensaios de determinação da massa específica aparente/saturada em g/cm^3 e da porosidade/absorção de água em percentual (%), consoante apresentados na Tabela 5.9, demonstra-se que o conglomerado ferruginoso laterítico possui alta densidade e um alto índice de vazios, evidenciando simultaneamente alta porosidade e alta absorção de água. A elevada porosidade e absorção traduzem perda de peso, principalmente, quando não há precipitação de óxido de ferro nos vazios. Os valores apresentados para absorção de água e porosidade justificam alto consumo de cimento. Caso não houvesse vazios, a densidade seria maior, com absorção de água menor, em consequência, menor porosidade.

Desde este ponto, já se pode identificar que os valores de vazios, porosidade e consequente absorção de água passarão a ter forte influência na resistência à compressão axial desse material.

Tabela 5.9 – Ensaios de índices físicos (IPT-M-47).

TIPO LITOLÓGICO				CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERTICO PEDRA CAROÇO			
C.P.	Peso Seco (g)	Peso Sat. (g)	Peso Sub. (g)	Y Seco (g/cm^3)	Y Sat. (g/cm^3)	Porosidade Apar. (%)	Absorção Apar. (%)
1	95,45	100,22	61,18	2,44	2,57	12,22	5,00
2	93,25	99,95	61,19	2,68	2,76	7,77	2,90
3	107,73	111,15	70,83	2,67	2,76	8,48	3,17
4	94,84	98,40	61,16	2,55	2,64	9,56	3,75
5	93,32	96,40	61,51	2,67	2,76	8,83	3,30
6	92,05	96,00	57,86	2,41	2,52	10,36	4,29
7	93,30	97,80	58,77	2,39	2,51	11,53	4,82
8	90,08	92,67	58,94	2,67	2,75	7,68	2,88
9	138,22	142,86	90,76	2,65	2,74	8,94	3,37
10	88,30	91,28	56,86	2,57	2,65	8,66	3,37
Valores médios				2,57	2,67	9,40	3,69

5.3.2 Abrasão “Los Angeles” - Ensaio de Resistência ao Impacto Treton – Ensaio de Esmagamento

Os resultados dos ensaios de Abrasão “Los Angeles” são apresentados na Tabela 5.10. Os resultados do ensaio de Impacto Treton, são apresentados na Tabela 5.11. Os resultados dos ensaios de esmagamento são mostrados na Tabela 5.12.

O conglomerado ferruginoso laterítico, quando submetidos à solicitação de cargas crescentes, acusa 80%, (abrasão los angeles), 64,96 % (impacto treton) e 49%(esmagamento). Estes resultados são a primeira vista desanimadores, porém quando estes materiais são submetidos a britagem, o conjunto granulométrico obtido passa a superar estes baixos resultados, porque passa a prevalecer o arranjo espacial oferecido por um conjunto de grãos e quando moldados no corpo de prova, o quartzo predomina como o elo forte da corrente. Estes ensaios acima indicados são mais representativos quando se trata de rochas cristalinas, muito diferente da rocha sedimentar, uma vez que estas últimas estão internacionalmente classificadas pela IAEG (International Association of Engineering Geology), como pertencentes ao domínio das rochas brandas.

Tabela 5.10 - Ensaio de abrasão “Los Angeles” (MB 170-R-modificado).

CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO				
TIPO LITOLÓGICO			PEDRA CAROÇO	
CORPO DE PROVA	PENEIRAMENTO		Brita Graduação A	Peso retido na peneira 1,68 mm Lavado e Seco
	Passa (mm)	Retido (mm)		
	38,1	25,4	1.250	
	25,4	10,1	1.250	
	19,1	12,7	1.250	
	12,7	9,52	1.250	
	Massas Totais em Gramas		5.000	961,0
Perda = 80%				

Tabela 5.11 – Ensaio impacto treton (IPT-M52).

CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO							
TIPO LITOLÓGICO							
PEDRA CAROÇO							
CORPO DE	Nº	Dimensão	Nº de Fragmentos	Peso (g)	Peso retido Pen. 1,68 mm Lav. e Seco	PI-P retido x 100	Observ.
	1	15,9	20	157,5	55,5	64,76	64,96%
	2	15,9	20	157,0	49,0	68,79	
3	15,9	20	159,0	61,5	61,32		

Tabela 5.12 – Resumo dos ensaios tecnológicos dos agregados.

TIPO LITOLÓGICO	CONGLOMERADO FERRUGINOSO	MÉTODO
TIPOS DE ENSAIOS	VALORES MÉDIOS DOS RESULTADOS	
Massa específica seca aparente g/cm ³	2,57	IPT-M-47
Massa específica saturada aparente g/cm ³	2,67	IPT-M-47
Porosidade aparente %	9,4	IPT-M-47
Absorção d'água em %	3,6	IPT-M-47
Tenacidade (impacto Treton) %	64	IPT-M-52
Ensaio de esmagamento %	49	IPT-M-53
Abrasão Los Angeles %	80	ABNT-MB-170
Compressão axial simples-tensão de ruptura kgf/cm ²	400	IPT-M-50
Forma dos fragmentos	Cúbico	IPT-M-49
Sanidade: peneiras (1", 3/4" e 1/2", 3,8")	2,53 e 7,46	DNER-DPT-M-89-64

Os resultados dos índices físicos, densidade e porosidade, permite entender que os vazios, onde não houve o processo de mineralização, mineralizados influí fundamentalmente na resistência axial simples do conglomerado ferruginoso laterítico, quando submetido ao impacto de sucessivas cargas crescentes. Pode ser observado pela fotomicrografia, Figura 5.10, a existência de um espesso cimento composto por óxidos de ferro, mas, entre o cimento e a matriz, existe vazios que passam influir na queda de resistência do material, ou seja, a porosidade é o elo de fraqueza da corrente forte, que, no caso, seria representado pelo conjunto contínuo do cimento ferruginoso (óxidos), mas não

o é face à presença de vazios detectados na medição quantitativa desses índices físicos, que resultou em valor de de 3,6% de absorção de água. Na interpretação do modelo de absorção de água há que se considerar, ainda, que existe porosidade interna dos grãos, (seixos e pedregulhos), que constituem a fração quartzosa e que poderia ser quantitativamente medida por um método referente à nanotecnologia, o que está fora do escopo deste estudo.

A porosidade promove a desagregação da fração aglutinada do conglomerado ferruginoso laterítico, quer na fração cimento (óxidos), quer na fração da matriz (quartzo), contribuindo para a desaglutinação do conglomerado ferruginoso laterítico (agregado), com reflexos na perda da resistência da massa rochosa. A esses dois (2) fatos físicos acima mencionados, porosidade dos óxidos e dos grãos de quartzo (seixos e pedregulhos), há que se considerar, também, o grau de alteração diferencial do cimento da rocha e do conjunto, matriz e cimento, com reflexos comprovados, quando se efetua a britagem do conglomerado ferruginoso laterítico e se efetua a comparação entre as curvas granulométricas obtidas nessa britagem, em que foram consideradas os três (3) tipos de abertura das mandíbulas do britador. Ainda existe um outro tipo de granulometria. Quando o material britado fica afogado dentro do britador, diminui a disponibilidade do material a ser triturado pelas mandíbulas encontrarem resistência por estarem aparentemente travados, entre si, no instante da britagem.

5.3.3 Ciclagem Sanidade

Os resultados abaixo apresentados na Tabela 5.13 demonstra que o conglomerado ferruginoso oferece uma susceptibilidade à penetração da solução química (sulfatos), nas frações, onde impera a porosidade. Portanto, ao facilitar a penetração do sulfato de sódio devido a uma força de expansão, conseqüentemente, a amostra sofre uma partição, reduzindo, desta forma, a granulometria.

Tabela 5.13 – Ensaio de Ciclagem Sanidade-DNER-DPT-M-89-64.

TIPO LITOLÓGICO		CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO		
PEDRA CAROÇO				
Peneira Retida	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Perda	Perda Média
1”	1.000	968,5	3,15%	2,53%
3/4”	500	490,5	1,90%	
1/2”	670	631,0	5,82%	7,46%
3/8”	330	300,0	9,09%	

5.3.4 Ensaio de Mecânica de Rocha do tipo resistência à compressão uniaxial simples por testemunhos de rotativa e resistência à compressão puntiforme do conglomerado ferruginoso laterítico

Com base na Tabela 5.14, conforme os resultados realizados numa primeira etapa, fica demonstrado que o conglomerado ferruginoso laterítico apresenta um valor máximo de 51,1 MPa de resistência à compressão uniaxial simples, valor mínimo de 22,9 MPa e valor médio de 40,1 MPa. Essa resistência refere-se ao conglomerado ferruginoso laterítico de composição química evidenciado na Tabela 5.4.

Numa segunda etapa conforme Tabela 5.15, o valor máximo atingiu 42,3 MPa de Resistência uniaxial simples e o valor mais baixo atingiu 27,8 MPa e valor médio 35,26 MPa. Esta resistência se refere ao Conglomerado Ferruginoso Laterítico de composição química evidenciado na Tabela 5.7.

Os valores de resistência mais altos não são controlados pela cimentação mais espessa, mas sim pelo grau de alteração provocado pelo intemperismo diferencial no referido cimento.

Os valores de resistência mais baixos, não são controlados pela cimentação menos espessa, mas sim pela presença de frações alteradas.

A alteração presente em uma rocha, a torna conseqüentemente mais porosa e com resistência concordante diminuída.

Toda a complexidade resultante do processo de intemperismo diferencial influencia a partição do conglomerado ferruginoso laterítico quando britado.

Tabela 5.14 – Ensaio de Compressão Simples Axial testemunho 9x3,5 cm (IPT-M50).

CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERITICO						
TIPO LITOLÓGICO						
Corpo de Prova	Dimensões (cm) Ø	Área de Carga (cm ²)	Carga de Ruptura (kg)	Tensão de Ruptura (kg/cm ²)	Tensão Média de Ruptura (kg/cm ²)	
S E C O	1	3.50x9,32	9,62	4.520	470	401 Ou 40,1 Mpa
	2	3,50x9,02	9,62	3.880	403	
	3	3,50x9,18	9,62	4.920	511	
	4	3,50x8,93	9,62	2.200	229	
	5	3,50x9,22	9,62	3.740	389	
	6	3,50x9,18	9,62	3.900	405	

Tabela 5.15 – Ensaio de Compressão Simples Axial 14,1 x 5,59 cm – Conglomerado Ferruginoso Laterítico (IPT-M50).

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

AMOSTRA		CORPO DE PROVA											
LITOTIPO	IDENTIFICAÇÃO / FURO Nº	DIÂMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	MASSA (kg)	V _{pr} * (m/s)	FORÇA DE RUPTURA (kN)	TENSÃO DE RUPTURA σ _c (MPa)	MÓDULO DE DEFORM., E		COEF. DE POISSON, ν		
									SECANTE (GPa)	TANGENTE (GPa)	SECANTE	TANGENTE	
conglomerado ferruginoso (laterite)	Bloco 1 – Am2	3007	5,59	14,1	24,563	0,849	3251	103,8	42,3	25,1	24,6	0,29	0,41
	Bloco 3 – Am2	3008	5,59	14,1	24,551	2171	68,4	27,8	11,3	13,9	0,24	0,35	
	Bloco 3 – Am4	3009	5,59	14,9	24,528	2372	81,4	33,2	20,7	22,1	0,29	0,38	
	Bloco 3 – Am5	3010	5,59	14,1	24,560	3092	92,0	37,5	19,8	21,6	0,16	0,30	
	Bloco 3 – Am6	3011	5,59	14,4	24,562	3120	102,3	41,7	22,7	28,1	0,32	0,44	
	Bloco 4 – Am7	3012	5,59	14,5	24,499	2636	71,4	29,1	12,9	15,2	-	-	
									TENSÃO MÉDIA DE RUPTURA (kg/cm ²)	35,2			

* Velocidade de propagação das ondas compressivas.

O ensaio de compressão Simples axial consistiu em extrair 13 corpos de prova em quatro blocos de rocha e selecionados como representativos para os ensaios de compressão uniaxial simples conforme pode ser observado, a seguir, nas Figuras 5.23 até 5.30, entre as páginas 159 a 162

Constam, adicionalmente, da Tabela 5.15, informações referentes à identificação (número do corpo de prova – cp), dimensões geométricas, massa e a velocidade de propagação das ondas compressivas.

A Tabela 5.16, contém também a descrição do tipo de ruptura para cada corpo de prova, após a ruptura.

Tabela 5.16 – Tipos de ruptura dos corpos de prova com testemunho - 5,50 cmx14,1cm.

ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL

AMOSTRA		CORPO DE PROVA		
LITOTIPO	FURO / IDENTIFICAÇÃO	ACAMAMENTO*	No	TIPO DE RUPTURA
conglomerado ferruginoso (laterite)	bloco 1 – Am2	perpendicular	3007	cisalhamento em superfície irregular
	bloco 3 – Am2	perpendicular	3008	cisalhamento em superfície irregular
	bloco 3 – Am4	paralelo	3009	cone
	bloco 3 – Am5	paralelo	3010	cisalhamento em superfície irregular
	bloco 3 – Am6	paralelo	3011	cisalhamento axial com cone na base
	bloco 4 – Am7	paralelo	3012	cisalhamento em superfície irregular

Nas ilustrações que constam da Figura 5.31 até 5.36, são apresentados entre os diagramas, para cada ensaio, de tensão axial versus deformação específica (radial e axial). A interpretação dos resultados do ensaio de compressão uniaxial do conglomerado ferruginoso laterítico foi elaborada a partir da análise dos valores de tensão de ruptura do conglomerado e do diagrama de tensão *versus* deformação obtido durante o ensaio. Além desse diagrama e devido às heterogeneidades e as anisotropias próprias dos materiais rochosos, nas interpretações, considera-se muitas vezes, o modo de ruptura do material.

Os principais parâmetros mecânicos obtidos desses ensaios são a Resistência à compressão uniaxial, o módulo de deformabilidade e o coeficiente de Poisson. Não foi observada diferença de comportamento entre amostras ensaiadas com grânulos acamados perpendicular e paralelamente ao acamamento. O módulo de deformabilidade é obtido de duas maneiras: tangente e secante.

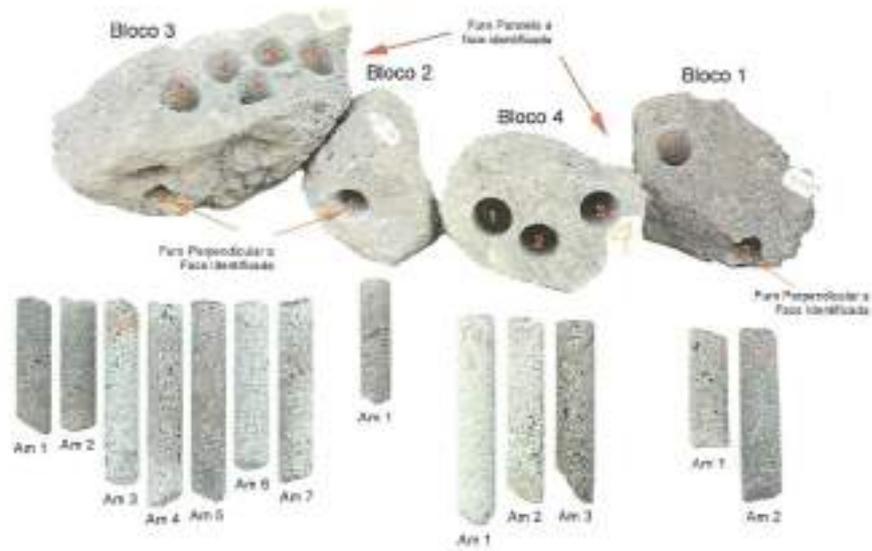


Figura 5.23 - Blocos de rocha 1 a 4 e as 13 (treze) amostras retiradas no Laboratório de Mecânica das Rochas. Litotipo: conglomerado ferruginoso (laterita).

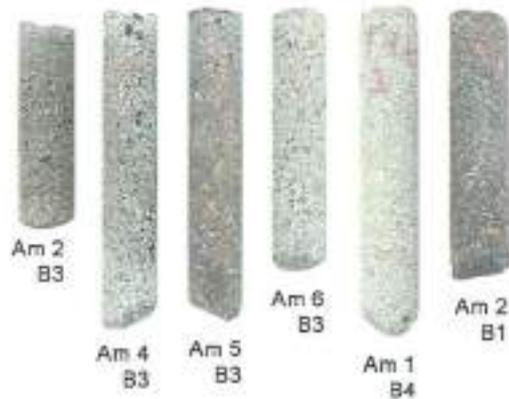


Figura 5.24 - Amostras adequadas para os ensaios de compressão. Litotipo: conglomerado ferruginoso (laterita).



Figura 5.25 - CP 3007 antes e após o ensaio de compressão uniaxial.

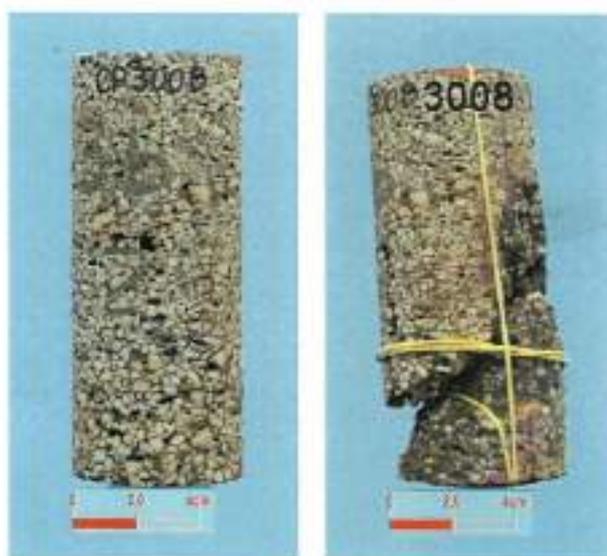


Figura 5.26 - CP 3008 antes e após o ensaio de compressão uniaxial.



Figura 5.27 - CP 3009 antes e após o ensaio de compressão uniaxial.



Figura 5.28 - CP 3010 antes e após o ensaio de compressão uniaxial.



Figura 5.29 - CP 3011 antes e após o ensaio de compressão uniaxial.

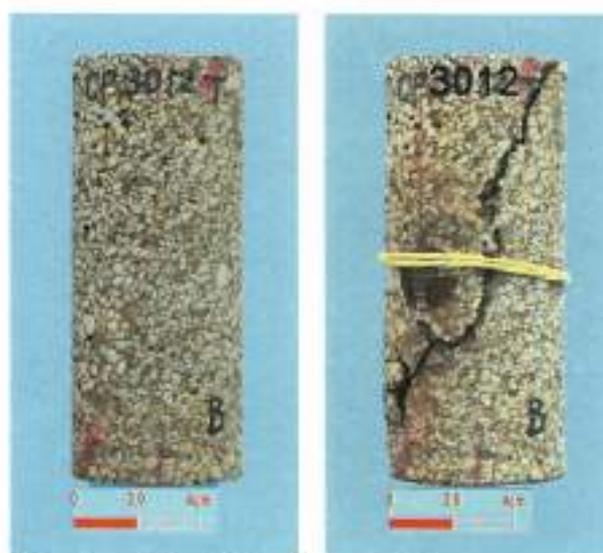


Figura 5.30 - CP 3012 antes e após o ensaio de compressão uniaxial.

O primeiro é determinado considerando o trecho linear da curva, preferencialmente, entre 40 e 60% da tensão de ruptura. De forma análoga, é determinado o coeficiente de Poisson tangente e secante. Nesse caso pode ser observada a linearidade tanto da deformação axial, como da deformação radial (circunferencial).

No corpo de prova cp 3009, o trecho linear da curva foi obtido com 30% e 48% da tensão de ruptura, enquanto, para o cp 3011 esse valor ficou entre 24% a 48% da tensão de ruptura. Nos demais, foram mantidos os valores entre 40% e 60% da tensão de ruptura do corpo de prova.

Os valores para a tensão de ruptura variaram entre um mínimo de 27,8 MPa (cp 3008) e um máximo de 42,3 MPa (cp 3007). O modelo ou tipo de ruptura predominante é o de cisalhamento em superfície irregular, exceto no caso dos corpos de prova cp 3009, caracterizado por modelo ou modo em cone, e o cp 3011, com ruptura num modelo ou modo, tipo fendilhamento axial com cone na base.

Os valores do módulo de deformabilidade (módulo de Young) secante variaram entre um mínimo de 11,3 GPa (cp 3008) a um máximo de 25,1 GPa (cp 3007), enquanto o módulo tangente variou de 13,9 GPa (cp 3008) a 28,1 GPa (cp 3011).

Os valores para o coeficiente de Poisson secante variaram entre um mínimo de 0,18 (cp 3010) a um máximo de 0,32 (cp 3011), enquanto, para o coeficiente de Poisson tangente, houve variação entre um valor mínimo de 0,30 (cp 3010) a um máximo de 0,44 (cp 3011). O corpo de prova (cp 3012) não apresentou, para as deformações radiais (circunferenciais), comportamento linear adequado, o que impediu a determinação do seu coeficiente de Poisson.

Foi adotado um sistema de obtenção de amostras perpendiculares e paralelas ao acamamento/estratificação. No entanto, esperavam-se resultados diferentes, porém a ideia foi frustrada, uma vez que os resultados mostraram valores bastante aproximados um do outro. Para o bloco 1 – Am2 e perpendicular ao acamamento foi obtido uma tensão de ruptura no valor 42,3 Mpa. Para o bloco 3 – Am 6 e paralelo ao acamamento, foi obtida uma tensão de ruptura de 41,7 Mpa, diferença praticamente insignificante.

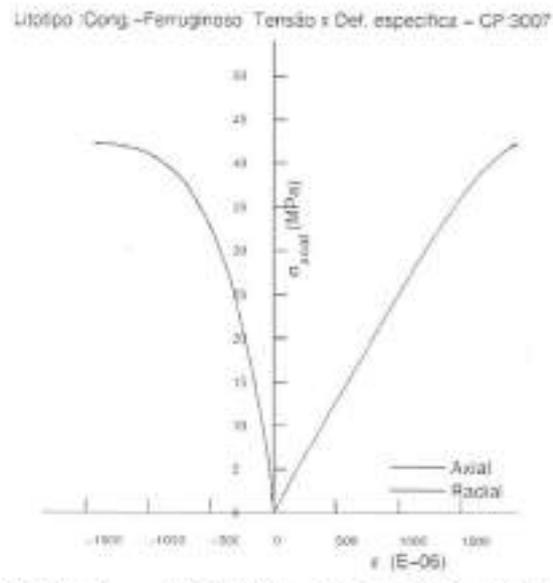


Figura 5.31 - Diagrama tensão axial *versus* deformação específica axial e radial do corpo de prova 3007.

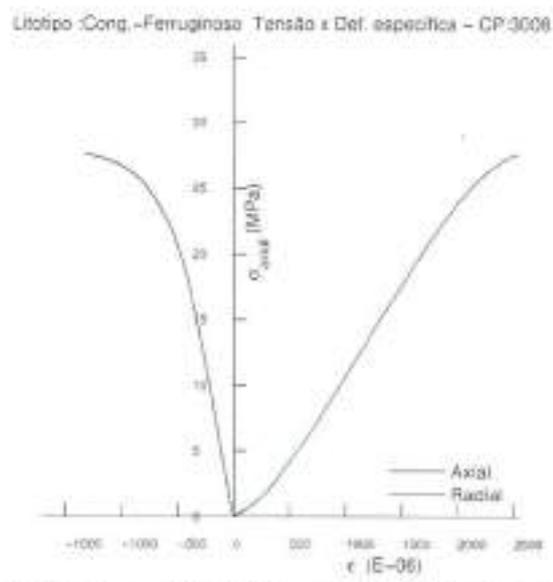


Figura 5.32 - Diagrama tensão axial *versus* deformação específica axial e radial do corpo de prova 3008.

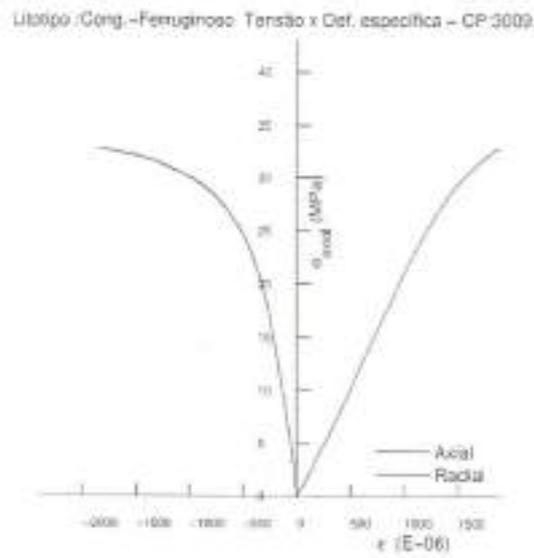


Figura 5.33 - Diagrama tensão axial *versus* deformação específica axial e radial do corpo de prova 3009.

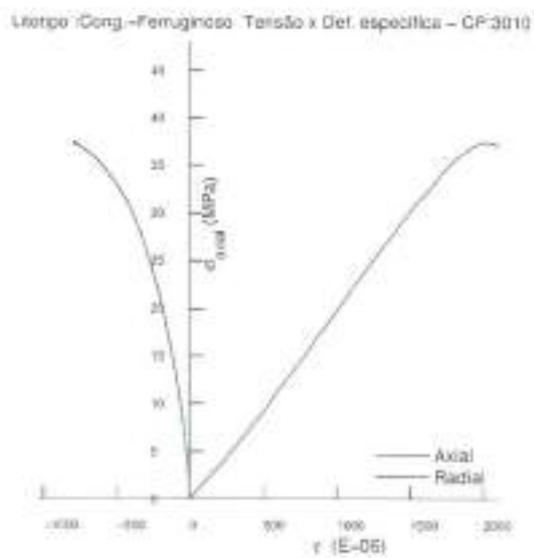


Figura 5.34 - Diagrama tensão axial *versus* deformação específica axial e radial do corpo de prova 3010.

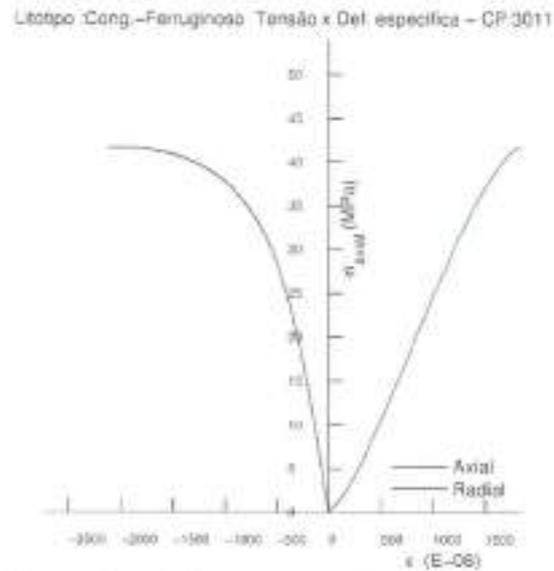


Figura 5.35 - Diagrama tensão axial *versus* deformação específica axial e radial do corpo de prova 3011.

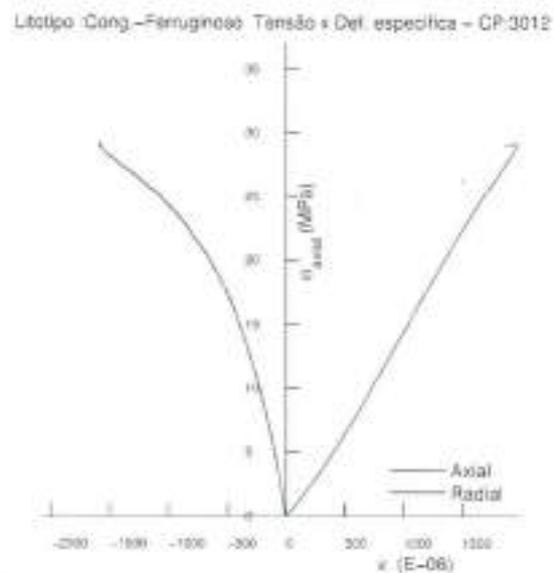


Figura 5.36 - Diagrama tensão axial *versus* deformação específica axial e radial do corpo de prova 3012.

Foi observado que os parâmetros obtidos na escala de laboratório, constituem-se em aproximações do comportamento real. A existência de descontinuidades, tanto na escala microscópica (microfissuras) como macroscópica, bem como de heterogeneidades, tem como consequência variações no comportamento e no valor das propriedades mecânicas do conglomerado ferruginoso laterítico. Da mesma forma, deve ser observado que os parâmetros avaliados são originalmente definidos para materiais elásticos, lineares e isotrópicos, o que nem sempre ocorre nos casos reais com rochas.

Os resultados apresentados têm validade apenas para as amostras e corpos de prova ensaiados.

A heterogeneidade ou anisotropia interna do conglomerado ferruginoso laterítico tem forte componente lastreado no grau de alteração diferencial da rocha, tendo como agente principal o intemperismo físico químico diferencial, a que foi submetido a rocha ao longo da sua história.

Por fim, cabe dizer que, não só a variação do grau de alteração promove maior porosidade e conseqüente enfraquecimento da rocha, mas também as fissuras associadas, espessura do cimento, geometria e coesão dos múltiplos contatos entre partículas diferentes, somam-se e ditam o resultado final da resistência da rocha.

5.3.5 Resistência à compressão puntiforme

Apresenta-se, a seguir, dados dos ensaios de compressão puntiforme tais como, força de ruptura, índice de resistência e suas correções. Na Figura 5.37, apresenta-se as amostras extraídas no laboratório, na Figura 5.38, apresenta-se o esquema de ensaio puntiforme e nas Figuras sequenciais, 5.39, 5.40, 5.41, 5.42 e 5.43 são apresentados os corpos de prova ensaiados antes e após a ruptura. Na Tabela 5.17, são apresentados os dados referentes às amostras e corpos de prova ensaiados.

Fotos das amostras, esquema de ensaio e corpos de prova antes e após a ruptura.



Figura 5.37 - Amostras extraídas de blocos de rocha no Laboratório de Mecânica das Rochas (LMR), no ano de 2016, correspondentes aos blocos 1 e 2, sendo AM1 e AM2 do bloco 1e AM1 do bloco 2.



Figura 5.38 - Corpo de prova ajustado entre os pratos da máquina universal de ensaios para realização de ensaio de compressão puntiforme na direção axial.



Figura 5.39 - Vista dos corpos de prova cp3180 e cp3181 antes e após ensaio de compressão puntiforme na direção axial. Bloco 01 AM 01 e litotipo conglomerado ferruginoso.



Figura 5.40 - Vista dos corpos de prova cp3182 e cp3183 antes e após ensaio de compressão puntiforme na direção axial. Bloco 01 AM 01 e litotipo conglomerado ferruginoso.

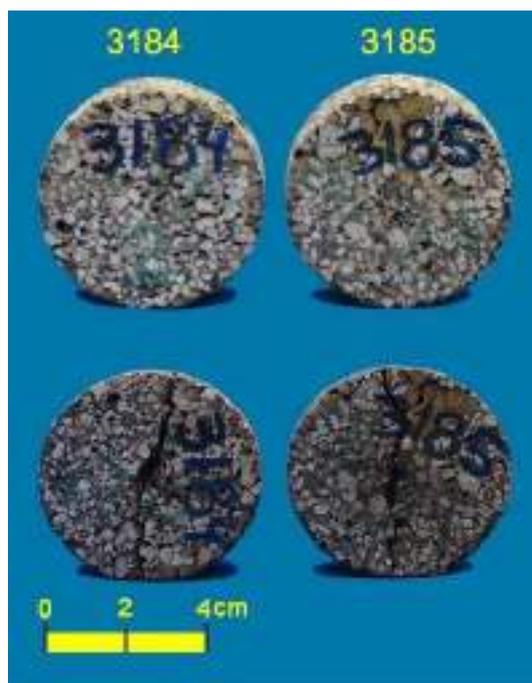


Figura 5.41 - Vista dos corpos de prova cp3184 e cp3185 antes e após ensaio de compressão puntiforme na direção axial. Bloco 01 AM 02 e litotipo conglomerado ferruginoso.

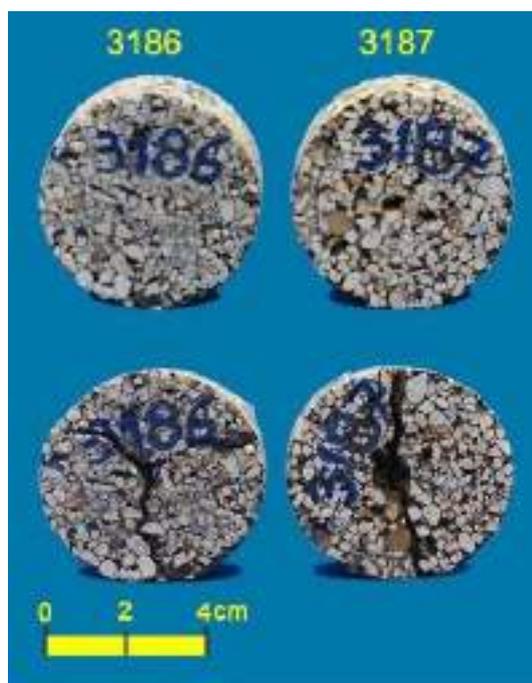


Figura 5.42 - Vista dos corpos de prova cp3186 e cp3187 antes e após ensaio de compressão puntiforme na direção axial. Bloco 02 AM 01 e litotipo conglomerado ferruginoso.

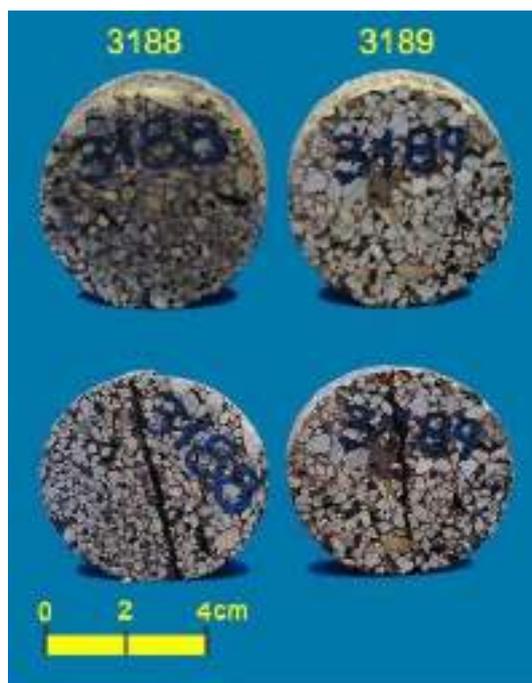


Figura 5.43 - Vista dos corpos de prova cp3188 e cp3189 antes e após ensaio de compressão puntiforme na direção axial. Bloco 02 AM 01 e litotipo conglomerado ferruginoso.

Tabela 5.17 – Resultados dos ensaios de compressão puntiforme – Litotipo conglomerado ferruginoso laterítico (laterita).

ENSAIO DE COMPRESSÃO PUNTIFORME (PLT)

AMOSTRA		Nº	PROFUNDIDADE*		TIPO DE ENSAIO	PLANO DE ANISOTROPIA	DIÂMETRO W (cm)	ALTURA D (cm)	FORÇA DE RUPTURA (kN)	NÚMERO DE FRAGMENTOS POS RUPTURA	Is (MPa)	FATOR DE CORREÇÃO F	Isca (MPa)
			TOPO (m)	BASE (m)									
LITOTIPO	conglomerado ferruginoso (laterito)	3180	-	-	axial	perpendicular	5,60	2,88	4,58	2	2,23	103,8	2,14
		3181	-	-	axial	perpendicular	5,59	2,82	2,62	2	1,41	88,4	1,32
		3182	-	-	axial	perpendicular	5,60	2,95	3,32	2	1,58	81,4	1,52
		3183	-	-	axial	perpendicular	5,60	2,78	3,65	2	1,84	92,0	1,75
		3184	-	-	axial	perpendicular	5,59	2,85	2,15	2	1,06	102,3	1,01
		3185	-	-	axial	perpendicular	5,59	2,56	3,05	2	1,67	71,4	1,56
		3186	-	-	axial	perpendicular	5,60	2,78	4,60	2	2,32		2,20
		3187	-	-	axial	perpendicular	5,59	2,80	3,00	2	1,51		1,43
		3188	-	-	axial	perpendicular	5,59	2,85	4,41	2	2,17		2,07
3189	-	-	axial	perpendicular	5,59	2,66	3,45	2	1,62		1,71		

5.3.6 Granulometria

Os resultados obtidos após a britagem mecânica do conglomerado ferruginoso laterítico num britador contendo mandíbulas dimensionadas para diâmetros de abertura quantificados em 1", 1 ½" e 2" resultaram na elaboração de quatro (4) curvas granulométricas e que foram comparadas à curva teórica de "FULLER". Na resultando Figura 3.39, dispõem-se 04 curvas granulométricas e uma quinta curva representando à curva teórica de "FULLER" sendo:

3 curvas granulométricas referente ao agregado britado com 1"

1 curva granulométrica referente ao agregado britado com 1 ½"

1 curva granulométrica referente ao agregado britado com 2"

1 curva granulométrica teórica de "FULLER"

Pela observação das curvas granulométricas dos conglomerados ferruginosos lateríticos, podem ser verificados que os materiais britados, segundo as aberturas das mandíbulas acima especificadas, apresentam curvas granulométricas dentro de uma faixa de limites bastante próximas da curva teórica de "FULLER".

Essa situação ocorre devido do fato das amostras possuírem, em sua constituição, frações que vão de areias finas a grossas e ainda seixos pequenos. Portanto, as areias grossas que aparecem nessas curvas provêm de fragmentos inicialmente aglutinados e que simplesmente se desagregam no instante da britagem e que, repete-se, estavam aglutinados pelo cimento constituído por óxido de ferro.

Do exposto pode-se entender que, mesmo mantendo a faixa granulométrica intacta, após a britagem, ou seja, sem adicionar ou retirar qualquer fração granulométrica, é possível entender e verificar que o conglomerado ferruginoso laterítico, com agregado pétreo permite melhor compactação do concreto, resultando em um corpo de prova de concreto mais compacto, ou minimização de índices de vazios, em função do arranjo espacial provocado por aquelas granulometrias resultantes da britagem. Conforme se verifica, na Figura 5.44, a curvas granulométricas resultantes, apresentam uma relativa proporcionalidade favorável quando comparada à curva teórica de "FULLER". Além da desaglutinação do grão do cimento ferruginoso, esse grão parte-se em frações menores, devido aos microfissuramentos existentes nos grãos de quartzo, conforme se pode observar na Figura 5.6 e 5.10.

Cabe salientar que o conglomerado ferruginoso laterítico foi moldado em corpo de prova de concreto, tal como saiu do britador, e, a esse conglomerado, somente foram adicionados cimento e água nas proporções definidas conforme experiências anteriores, OLIVEIRA, (2008).

A Tabela 5.18, abaixo, apresenta os valores adotados para elaboração das curvas granulométricas evidenciada na Figura 5.44. As Tabelas 5.19 a 5.23 apresentam os resultados de ensaios de granulometria realizados.

Tabela 5.18 - Determinação da composição granulométrica NBR-MN 248/03.

Peneiras Designação	Abertura Malha	% Material que passa					
		F	DT	IPT	IPT	IPT	IPT
2 in	50,0	100	99	-	-	-	-
1 ½	37,5	88	93,4	86	100	100	100
1 ¼	31,5	78	-	72	96	95	97
1	25	69	69	51	82	76	82
¾	25	64	55,4	39	67	54	60
½	12,5	49	-	32	42	40	54
3/8	9,5	44	40,4	29	38	36	39
¼	6,3	34	-	25	33	31	32
n 04	4,8	32	34,5	22	29	24	28
n 08	2,4	21	27,8	14	19	16	16
n 16	1,2	15	18,4	9	12	11	9
n 30	0,6	12	11,9	5	8	8	5
n 50	0,3	7	6,3	3	5	6	2
n 100	0,15	4	3,3	1	3	4	0
		F	DT	IPT	IPT	IPT	IPT

F = Parâmetros teóricos da curva de “FULLER”

DT = dissertação de mestrado – Laboratório da FESMA – Federação da Escolas Superiores do Maranhão

IPT = Laboratório do IPT em São Paulo–SP

Por fim, cabe mencionar que o conglomerado ferruginoso laterítico apresenta quantitativos de pulverulentos insignificantes, ou mesmo permitido pelas normas que regem o tema.

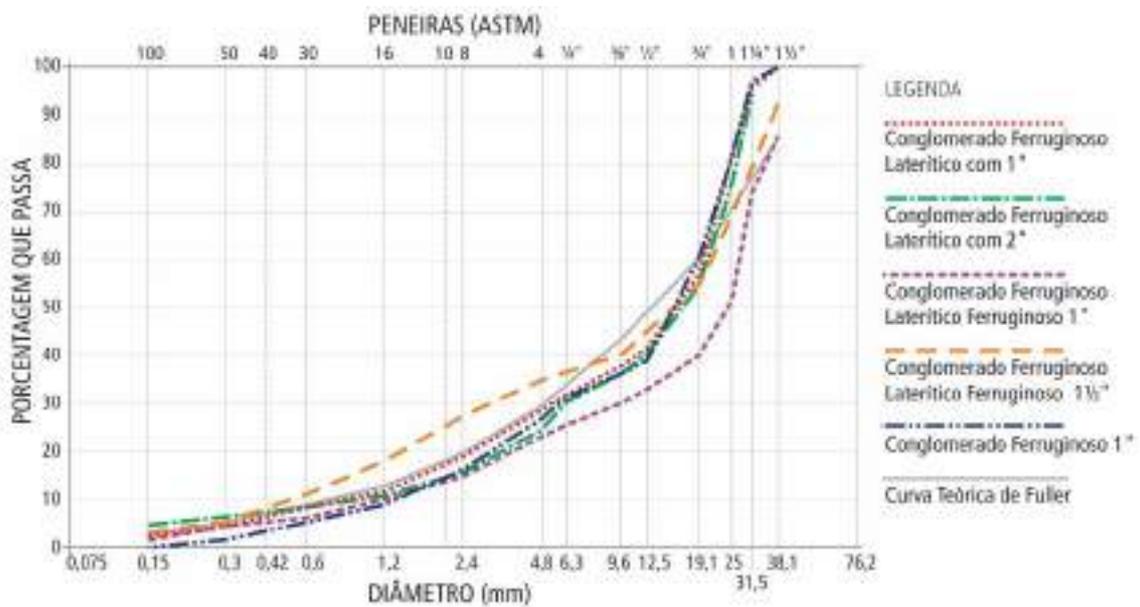


Figura 5.44 – Curvas granulométricas dos tipos petrográficos britados com abertura da mandíbula regulada com 1", 1 1/2" - 2".

Tabela 5.19 – Ensaio de análise granulométrica por peneiramento (MB-7).

TIPO LITOLÓGICO – CONGLOMERADO FERRUGINOSO (britador regulado em 1 ½")					
Amostra total seca					15.000,0 g
Pedregulho acima de 4,8 mm					65,5%
Areia grossa	4,8 – 2,00 mm			6,7%	
Areia média	2,00 – 0,42 mm			15,9%	
Retido entre nº 40 e 200					8,6%
Passando nº 100					3,3%
Total					100,0%
Retido entre nº 10 e 200					15,1%
PENEIRAMENTO					
PENEIRA	MATERIAL RETIDO			% que passa da Amostra Total	Peneira mm
	Peso (g)	% Amostra Total	% Acumulada		
3 pol.					76,2
2 pol.				100,0	50,8
1 1/2 pol.	1000,2	6,6	6,6	93,4	38,1
1 pol.	3661,3	24,4	31,0	69,0	25,4
3/4 pol.	2052,7	13,6	44,6	55,4	19,1
1/2 pol.					12,6
3/8 pol.	2262,3	15,0	59,6	40,4	9,5
Nº 4	889,5	5,9	65,5	34,5	4,8
Nº 8	1017,5	6,7	72,2	27,8	2,4
Nº 10			76,9		2,0
Nº 16	1419,7	9,4	81,6	18,4	1,2
Nº 30	981,1	6,5	88,1	11,9	0,6
Nº 40					0,42
Nº 50	840,6	5,6	93,7	6,3	0,30
Nº 80					0,18
Nº 100	451,8	3,0	96,7	3,3	0,15
Nº 200			100		0,075
MF = 6,39					
Ø máx = 38 mm e britador primário regulado com mandíbulas em 1 ½" de diâmetro					

Tabela 5.20 – Ensaio de análise granulométrica por peneiramento, 2” (MB-7).

TIPO LITOLÓGICO – CONGLOMERADO FERRUGINOSO (britador regulado em 2”)					
Amostra total seca					15.000,0 g
Pedregulho acima de 4,8 mm					77 %
Areia grossa	4,8 – 2,00 mm				13 %
Areia média	2,00 – 0,42 mm				6 %
Retido entre nº 40 e 200					4 %
Passando nº 100					2 %
Total					100,0%
Retido entre nº 10 e 200					8 %
PENEIRAMENTO					
PENEIRA	MATERIAL RETIDO			% que passa da Amostra Total	Peneira mm
	Peso (g)	% Amostra Total	% Acumulada		
3 pol.					76,2
2 pol.			1	99	50,8
1 1/2 pol.	1000,2	12	13	86	38,1
1 ¼ pol.	3661,3	14	27	72	31,5
1 pol.	2052,7	21	48	51	25,4
¾ pol.		12	60	39	19
1/2 pol.	2262,3	7	67	32	12,5
3/8 pol.	889,5	3	70	29	9,5
¼ pol.	1017,5	4	74	25	6,3
Nº 04		3	77	22	4,8
Nº 08	1419,7	8	85	14	2,4
Nº 16	981,1	5	90	09	1,2
Nº 30		4	94	5	0,6
Nº 50	840,6	2	96	3	0,3
Nº 80					
Nº 100	451,8	2	98	1	0,15
Nº 200			100	0	0,075
MF = 6,39					
Ø máx = 50,8mm e britador primário regulado com mandíbulas em 2” de diâmetro.					

Tabela 5.21 – Ensaio de análise granulométrica por peneiramento (MB-7).

TIPO LITOLÓGICO – CONGLOMERADO FERRUGINOSO (britador regulado em 1”)					
Amostra total seca					15.000,0 g
Pedregulho acima de 4,8 mm					71 %
Areia grossa		4,8 – 2,00 mm		17 %	
Areia média		2,00 – 0,42 mm		7 %	
Retido entre nº 40 e 200					5 %
Passando nº 100					3 %
Total					100,0%
Retido entre nº 10 e 200					9 %
PENEIRAMENTO					
PENEIRA	MATERIAL RETIDO			% que passa da Amostra Total	Peneira mm
	Peso (g)	% Amostra Total	% Acumulada		
3 pol.					76,2
2 pol.					50,8
1 1/2 pol.	1000,2	0	0	100	38,1
1 ¼ pol.	3661,3	4	4	96	31,5
1 pol.	2052,7	14	18	82	25,4
¾ pol.		25	43	67	19
½ pol.	2262,3	15	58	42	12,5
3/8 pol.	889,5	4	62	38	9,5
¼ pol.	1017,5	5	67	33	6,3
Nº 04		4	71	29	4,8
Nº 08	1419,7	10	81	19	2,4
Nº 16	981,1	7	88	12	1,2
Nº 30		4	92	8	0,6
Nº 50	840,6	3	95	5	0,3
Nº 100	451,8	2	97	3	0,15
fundo		3	100	0	
Ø máx = 25,4 mm e britador secundário regulado com mandíbulas em 1” de diâmetro.					

Tabela 5.22 – Ensaio de análise granulométrica por peneiramento (MB-77).

TIPO LITOLÓGICO – CONGLOMERADO FERRUGINOSO (britador regulado em 1’)					
Amostra total seca					15.000,0 g
Pedregulho acima de 4,8 mm					76 %
Areia grossa	4,8 – 2,00 mm				13 %
Areia média	2,00 – 0,42 mm				5 %
Retido entre nº 40 e 200					6 %
Passando nº 100					4 %
Total					100,0%
Retido entre nº 10 e 200					7 %
PENEIRAMENTO					
PENEIRA	MATERIAL RETIDO			% que passa da Amostra Total	Peneira mm
	Peso (g)	% Amostra Total	% Acumulada		
3 pol.					76,2
2 pol.					50,8
1 1/2 pol.	1000,2	0	0	100	38,1
1 ¼ pol.	3661,3	5	5	95	31,5
1 pol.	2052,7	19	24	76	25,4
¾ pol.		22	46	54	19
½ pol.	2262,3	14	60	40	12,5
3/8 pol.	889,5	4	64	36	9,5
¼ pol.	1017,5	5	69	31	6,3
Nº 04		7	76	24	4,8
Nº 08	1419,7	8	84	16	2,4
Nº 16	981,1	5	89	11	1,2
Nº 30		3	92	8	0,6
Nº 50	840,6	2	94	6	0,3
Nº 100	451,8	2	96	4	0,15
fundo		3	100	0	
Ø máx = 25,4 mm e britador secundário regulado com mandíbulas em 1’’ de diâmetro.					

Tabela 5.23 – Ensaio de análise granulométrica por peneiramento (MB-77).

TIPO LITOLÓGICO – CONGLOMERADO FERRUGINOSO (britador regulado em 1’')					
Amostra total seca					15.000,0 g
Pedregulho acima de 4,8 mm					77%
Areia grossa	4,8 – 2,00 mm				12%
Areia média	2,00 – 0,42 mm				15,9%
Retido entre nº 40 e 200					8,6%
Passando nº 100					3,3%
Total					100,0%
Retido entre nº 10 e 200					15,1%
PENEIRAMENTO					
PENEIRA	MATERIAL RETIDO			% que passa da Amostra Total	Peneira mm
	Peso (g)	% Amostra Total	% Acumulada		
3 pol.					76,2
2 pol.					50,8
1 1/2 pol.	1000,2	0	0	100	38,1
1 ¼ pol.	3661,3	3	3	97	31,5
1 pol.	2052,7	15	18	82	25,4
¾ pol.		22	40	60	19
1/2 pol.	2262,3	16	56	54	12,5
3/8 pol.	889,5	5	61	39	9,5
¼ pol.	1017,5	7	68	32	6,3
Nº 04		4	72	28	4,8
Nº 08	1419,7	12	84	16	2,4
Nº 16	981,1	7	91	9	1,2
Nº 30		4	95	5	0,6
Nº 50	840,6	3	98	2	0,3
Nº 100	451,8	2	100	0	0,15
fundo		1	100	0	
Ø máx = 25,4 mm e britador secundário regulado com mandíbulas em 1’’ de diâmetro.					

5.3.7 Ensaio de Forma

O resultado do ensaio de forma é apresentado na Tabela 5.24, e na Figura 5.46, atribuindo, ao conglomerado ferruginoso, um índice de forma cúbico, e, portanto, apresentando maior resistência e melhor trabalhabilidade, pois permitem arranjos internos mais densos quando moldados na pasta de concreto de cimento Portland.

O método consiste em se tomar 25 fragmentos de pedra britada (conglomerado ferruginoso laterítico) entre as dimensões 1 ½” e 1” (ASTM – E11), e, por meio de um paquímetro, efetuam-se as medidas a, b e c, conforme indica a Figura 5.45.

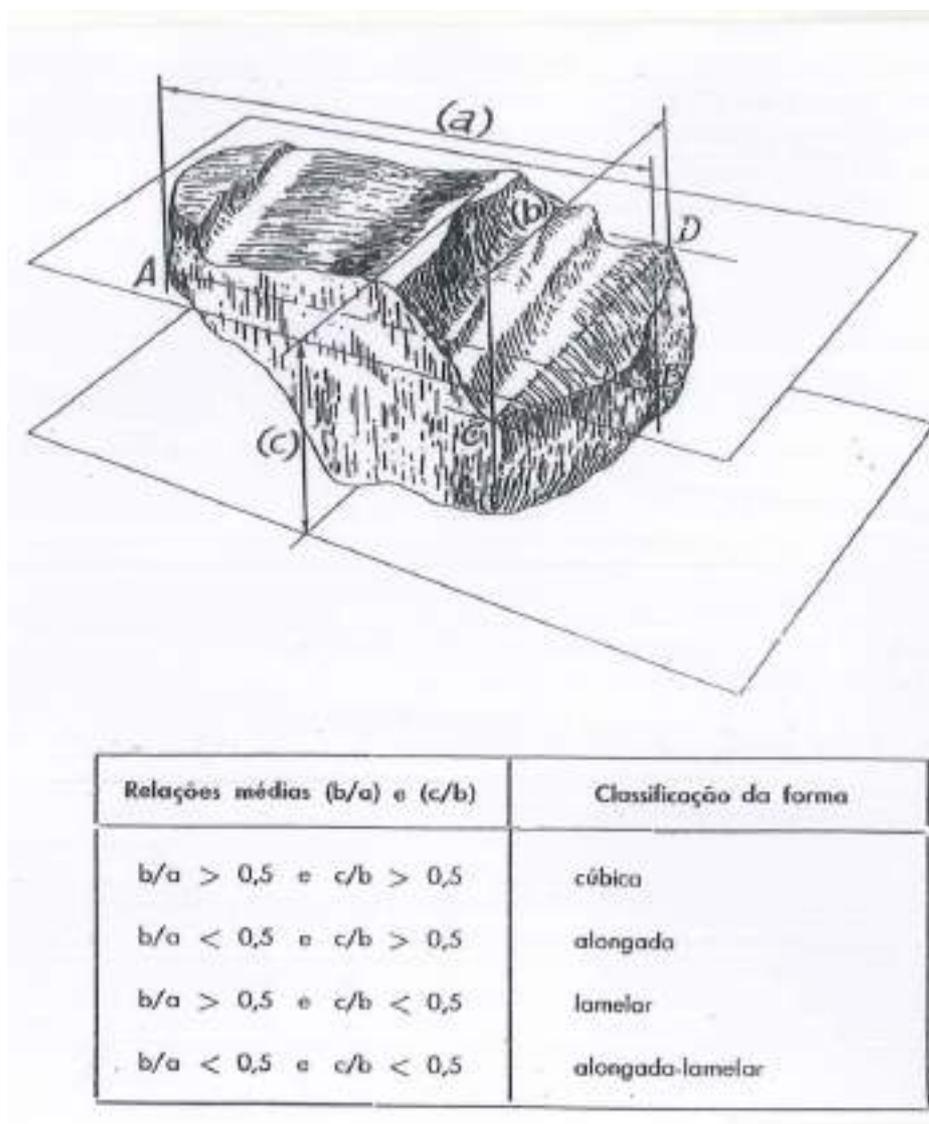


Figura 5.45 - Medidas consideradas em um fragmento de rocha para definir o índice de forma

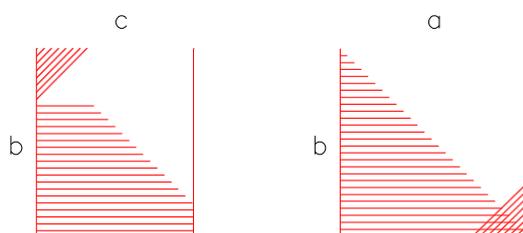
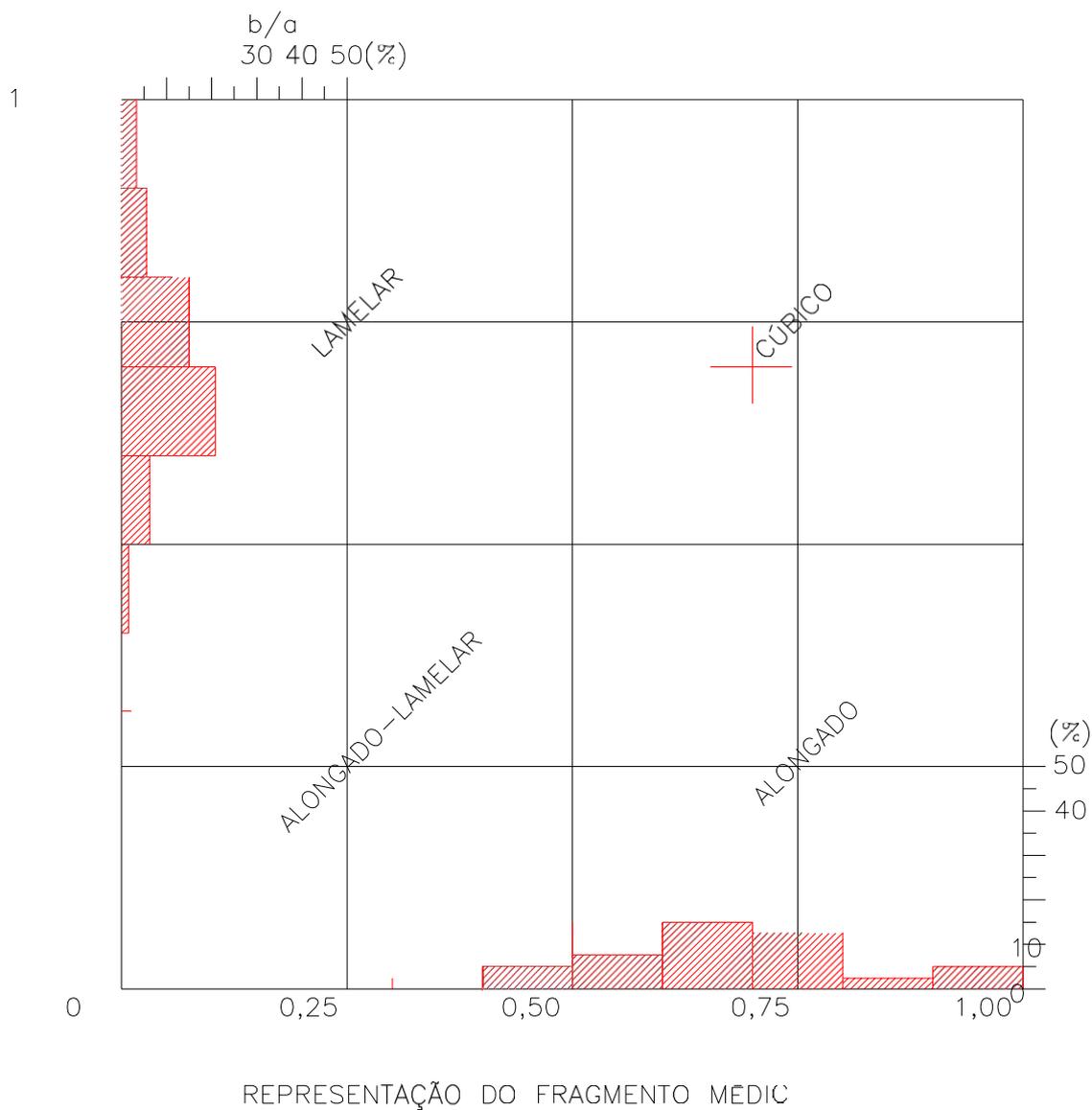
Tabela 5.24 – Ensaio de forma IPT-M-49.

TIPO LITOLÓGICO CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO PEDRA CAROÇO					
FRAGMENTO	DIMENSÃO			$\frac{b}{a}$	$\frac{c}{b}$
	a (cm)	b (cm)	c (cm)		
1	4,9	3,4	2,7	0,69	0,79
2	5,6	3,7	1,7	0,66	0,46
3	4,8	3,3	2,4	0,69	0,73
4	3,8	3,2	2,0	0,84	0,63
5	4,9	4,1	3,0	0,84	0,73
6	4,8	3,2	2,4	0,67	0,75
7	4,2	3,1	1,6	0,74	0,52
8	5,0	4,0	1,9	0,80	0,48
9	5,3	4,8	2,7	0,91	0,56
10	5,5	3,8	2,4	0,69	0,63
11	5,2	3,5	2,0	0,67	0,57
12	5,3	3,7	1,8	0,70	0,49
13	4,3	3,3	2,1	0,77	0,64
14	4,5	3,0	2,9	0,67	0,97
15	4,2	3,5	2,8	0,83	0,80
16	5,0	3,5	2,5	0,70	0,71
17	3,9	3,1	2,0	0,79	0,65
18	4,0	3,8	2,4	0,95	0,63
19	3,5	2,8	2,1	0,80	0,75
20	6,0	3,7	2,6	0,62	0,70
21	4,1	2,7	2,3	0,66	0,85
22	4,2	3,5	2,4	0,83	0,69
23	4,7	3,3	2,6	0,70	0,79
24	5,9	3,5	1,9	0,59	0,54
25	5,6	3,9	2,5	0,70	0,64
	$\Sigma a = 246,9$	$\Sigma b = 174,7$	$\Sigma c = 117,3$	$\Sigma \frac{b}{a} = 35,23$	$\Sigma \frac{c}{b} = 34,64$
$\frac{b}{a}$ (máximo) =		$\frac{c}{d}$ (máximo) =		FORMA:	CÚBICA
$\frac{b}{a}$ (mínimo) =		$\frac{c}{d}$ (mínimo) =		DATA:	
$\frac{b}{a}$ (médio) =		$\frac{c}{d}$ (médio) =		OPERADOR:	

Apresentação dos Resultados

(cont.)

TIPO LITOLÓGICO - CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO PEDRA CAROÇO					
FRAGMENTO	DIMENSÃO			$\frac{b}{a}$	$\frac{c}{b}$
	a (cm)	b (cm)	c (cm)		
1	9,2	3,9	3,2	0,42	0,82
2	4,5	2,7	2,5	0,60	0,93
3	5,3	3,3	3,0	0,62	0,91
4	6,1	3,6	2,3	0,59	0,64
5	4,3	3,1	3,0	0,72	0,96
6	3,9	3,4	2,0	0,59	0,59
7	3,8	3,0	2,3	0,79	0,77
8	6,4	4,4	2,2	0,69	0,50
9	6,3	4,0	2,7	0,63	0,68
10	5,9	3,1	2,6	0,53	0,84
11	4,2	3,2	2,3	0,76	0,72
12	6,6	4,5	2,4	0,68	0,53
13	4,3	3,2	2,4	0,74	0,75
14	4,7	3,6	2,1	0,77	0,58
15	5,9	3,6	2,4	0,61	0,67
16	4,8	3,0	2,1	0,63	0,70
17	4,0	3,4	2,8	0,85	0,82
18	4,1	3,0	2,1	0,73	0,70
19	4,9	3,1	1,8	0,63	0,58
20	3,6	2,8	2,6	0,78	0,93
21	6,5	3,8	2,7	0,58	0,72
22	4,0	3,2	2,2	0,80	0,69
23	5,2	3,7	2,7	0,71	0,73
24	4,8	4,4	3,1	0,92	0,70
25	4,4	4,3	2,1	0,98	0,49
	$\Sigma a = 127,7$	$\Sigma b = 87,3$	$\Sigma c = 61,6$	$\Sigma \frac{b}{a} = 16,72$	$\Sigma \frac{c}{b} = 17,94$
$\frac{b}{a}$ (máximo) = 0,98;	$\frac{c}{b}$ (máximo) = 0,97	FORMA: CÚBICA			
$\frac{b}{a}$ (mínimo) = 0,42;	$\frac{c}{b}$ (mínimo) = 0,46	DATA: —			
$\frac{b}{a}$ (médio) = 0,70;	$\frac{c}{b}$ (médio) = 0,69	OPERADOR:			



b | a médio - 0,70

c | b médio - 0,69

Figura 5.46– Resultado do ensaio de forma do conglomerado ferruginoso.

5.3.8 Resultados da Qualidade do Concreto

Foi dada ênfase, no presente estudo, à resistência final alcançada aos 28 dias de idade de cura do concreto, quando moldados em corpos prova, com e sem correção granulométrica. A evolução dos ganhos de resistência foi alcançada a partir do momento em foram efetuadas correções na curva granulométrica do conglomerado ferruginoso laterítico, objeto do estudo.

O estudo percorreu uma série de tentativas experimentais, no sentido de buscar procedimentos, com vistas a monitorar o adequado seguimento das ações e fazer do conglomerado ferruginoso laterítico, um agregado que tivesse uma fração graúda e fina que pudesse atender aos requisitos de resistência. Através da rebitagem do conglomerado ferruginoso, foi obtida uma granulometria monitorada por ensaios granulométricos, que resultou na elaboração de várias comparações com a curva teórica de “FULLER” e, principalmente, na colocação em prática da técnica de acrescentar e retirar material do conjunto pétreo (agregados - conglomerado ferruginoso laterítico), de tal forma a fazer que o conglomerado ferruginoso resultante pudesse ter semelhança geométrica quando comparado a curva teórica de “FULLER”.

Na primeira fase do estudo, foi verificada a tendência positiva observada quanto ao comportamento granulométrico do conglomerado ferruginoso laterítico, que quando, britado possuía semelhança com a curva de “FULLER” e ainda com fragmentos com tendência cúbica, enquadrando-os num patamar conveniente de comportamento verificado durante a britagem. A análise granulométrica chamava atenção no sentido de que a granulometria poderia ser corrigida e assim permitindo acrescentar e retirar frações granulométricas. As correções granulométricas englobaram retirada isolada de frações do material, assim como acréscimo isolado de frações do material, ou conjuntamente, retirando e acrescentando material concomitantemente, em função da curva granulométrica resultante.

Na segunda fase, foi verificada a tendência de apenas acrescentar material, uma vez que os outros segmentos praticamente coincidiam com a curva granulométrica teórica de “FULLER, conforme se depreende da Figura 5.44.

Em função dessa orientação, o primeiro ensaio após a britagem do conglomerado ferruginoso laterítico com britador regulado para abertura de 2” foi no

sentido de moldar, inicialmente, corpos de prova de concreto com 10 cm x 30 cm e 5 cm x 10 cm. Nesses corpos de prova foram usados material do conglomerado ferruginoso laterítico, tal como saiu do britador, ou seja, sem retirar ou acrescentar outro material britado, granular, quer fino ou graúdo, com as cinco (5) seguintes alternativas:

1 - Ao conglomerado ferruginoso referente ao **primeiro** ensaio (**teste piloto**), foram acrescentados cimento Portland e água nas proporções convencionadas na primeira fase do estudo. Dessa forma, o **traço 1:6** com fator água cimento (**a/c**) **0,59** configuraram nos corpos de prova que foram curados em tempos de 7 e 28 dias para posterior rompimento com tensão crescente, que definiram à resistências a compressão axial simples sendo conseguido **18,3 MPa**, quando moldados com 10 cm x 30cm, o que revelou um resultado insatisfatório.

2 - Ao conglomerado ferruginoso referente ao **segundo** ensaio (**teste piloto**), foram acrescentados cimento Portland e água nas proporções convencionadas na primeira fase do estudo. Dessa forma, o **traço 1:6** com fator água cimento (**a/c**) **0,45** configuraram os corpos de prova, que foram curados em tempos de 3,7 e 28 dias, para posterior rompimento com tensão crescente, que definiram à resistências a compressão axial simples, sendo conseguido **16,4 MPa**, quando moldados 5 cm x10 cm, o que revelou um resultado insatisfatório.

3 - Ao conglomerado ferruginoso referente ao **terceiro** ensaio (**teste piloto**) foram acrescentados cimento Portland e água nas proporções convencionadas na primeira fase do estudo. Dessa forma, o **traço 1:4** com fator água cimento (**a/c**) **0,45** configuraram os corpos de prova, que foram curados em tempos de 3,7 e 28 dias, para posterior rompimento com tensão crescente, que definiram as resistências a compressão axial simples sendo conseguido **19 MPa** e moldados com 05x10cm. Este ensaio foi repetido, pois aparentava que a compactação dos corpos de prova tinha ficado deficientes por apresentar cavidades sem preenchimento de cimento e que resultou num **quarto** ensaio, o que revelou um resultado mais promissor, apesar da compactação ruim.

4 - Ao conglomerado ferruginoso referente ao **terceiro** ensaio (**teste piloto**), foram acrescentados cimento Portland e água nas proporções convencionadas na primeira fase do estudo. Dessa forma, o **traço 1:6** com fator água cimento **a/c** **0,45** configuraram os corpos de prova, que foram curados em tempos de 3,7 e 28 dias, para

posterior rompimento com tensão crescente, que definiram as resistências à compressão axial simples, sendo conseguido **12,5 MPa** e moldado com 10 cm x 30 cm, revelando outro ensaio insatisfatório.

5 - Ao conglomerado ferruginoso referente ao **quarto** ensaio (**teste piloto**), foram acrescentados cimento Portland e água nas proporções convencionadas na primeira fase do estudo. Dessa forma, o **traço 1:4** com fator água cimento **a/c 0,45** configuraram os corpos de prova, que foram curados em tempos de 3,7 e 28 dias, para posterior rompimento com tensão crescente, que definiram as resistências à compressão axial simples sendo conseguido **29,65 MPa** e quando moldados com 05x10cm. O ensaio foi repetido, pois aparentava que a compactação dos corpos de prova tinham ficado deficientes, por apresentar cavidades sem preenchimento de cimento. Ao obter a resistência de **29,65 MPa**, foi decidido corrigir a curva granulométrica conforme abaixo definido. Nesse ponto, as deficiências ds corpos de prova já tinham sido corrigidas e um novo procedimento foi adotado, no sentido da correção granulométrica.

Então, a partir deste **quarto** ensaio, o novo procedimeto foi acrescentar 50% em peso de agregado passante na peneira 4, abertura da malha em 4,8mm, com base na tentativa, de forma a, primeiro, corrigir a curva granulométrica, e, segundo conseguir uma resitência maior, o que foi conseguido. Assim foi iniciado o **quinto** ensaio sobre o conjunto do conglomerado ferruginoso laterítico pesando 9,8 quilogramas foi acrescentao 4,9 quilogramas, por se tratar de um peso adicional de 50% sobre a massa de 9,8 kilogramas, totalizaram 14,7 quilogramas. Nesse quantitativo de agregado (conglomerado ferruginoso laterítico), foi acrescentado cimento na proporção de 1 kilograma de cimento em 4 quilogramas de agregado (conglomerado ferruginoso laterítico) e assim definindo o traço 1:4.

Como o fator a/c (água cimento) foi definido em 0:45, se adicionou 0,45 litros de água em 1 quilo/litro de cimento, tendo se, assim, a curva granulométrica corrigida em 50% em peso com objetivo de se ter maior resistência do concreto moldado para ser rompido aos 28 dias e moldados com 05 cm x 10 cm.

Dessa forma o **traço 1:4** com fator água cimento **a/c 0,45**, configuraram os corpos de prova, que foram curados em tempo de 28 dias, para posterior rompimento com tensão crescente e que definiram as resistências à compressão axial simples sendo conseguido **31,7 MPa** e moldado com 10 cm x 30 cm.

5.3.8.1 Resistência à compressão simples dos Corpos de Prova Moldados em Diferentes Traços e Fator Água/Cimento e *Slump Test*

Os valores de resistência à compressão simples, abatimentos e consumo de cimento para o conglomerado ferruginoso laterítico ferruginoso são apresentados na Tabela 5.25. Os gráficos “resistência à compressão simples versus idade de cura” são evidenciados nas Figuras 5.47 e 5.48.

Tabela 5.25 - Valores de resistência à compressão simples, abatimentos e consumo de cimento ABNT-MB-3-37.

TIPO LITOLÓGICO	TRAÇO	Fator A/C	RESIST. COMP. SIMPLES			SLUMP TEST (cm)	CONSUMO DE CIMENTO kg/m ³
			IDADE (DIAS)				
			3	7	28		
Conglomerado Ferruginoso Laterítico* Britado 2”	1:6	0,59	**	166,0	183,0	**	**
Conglomerado Ferruginoso Laterítico Britado 1”	1:4	0,45	**	**	317,0	**	**
Conglomerado Ferruginoso Laterítico * Britado 1”	1:4	0,45	66,0	107,0	190,0	**	**
Conglomerado Ferruginoso Laterítico * Britado 1”	1:6	0,45	101,0	141,0	164,0	**	**
Conglomerado Ferruginoso Laterítico* Britado 1”	1:4	0,45	**	**	296,0	8,0	**
		0,45	**	**		**	**
	1:6	0,45	**	**	125,0	1,0	**
Conglomerado Ferruginoso Laterítico* Britado 1 1/2”	1:4	0,45	203,85	226,50	339,75	5,0	478,46
		0,50	186,86	226,50	311,44	5,5	467,28
	1:6	0,45	182,60	291,61	342,58	1,0	362,31
		0,50	141,56	192,53	218,00	3,5	355,87

* Ensaios Pilotos foram realizados no sentido de otimizar o melhor traço e fator água cimento para o conglomerado ferruginoso laterítico.

** Ensaios não realizados, pois o objetivo foi tão somente verificar a resistência máxima do corpo de prova quanto a resistência à compressão simples aos 28 dias de cura.
(Continua na página seguinte)

Apresentação dos Resultados

(cont.)

TIPO LITOLÓGICO	TRAÇO	Fator A/C	RESIST. COMP. SIMPLES			SLUMP TEST (cm)	CONSUMO DE CIMENTO kg/m ³
			IDADE (DIAS)				
			3	7	28		
Arenito Fino Ferruginoso	1:4	0,45	62,28	82,10	123,16	8,5	465,12
		0,50	48,13	99,09	120,63	9,0	454,55
	1:6	0,45	59,45	113,24	174,11	8,0	467,28
		0,50	45,30	67,95	84,94	8,5	347,22
Arenito Médio Ferruginoso	1:4	0,45	128,80	148,60	249,15	2,5	471,57
		0,50	124,00	133,00	154,30	4,5	460,71
	1:6	0,45	76,44	121,74	150,89	0,5	355,87
		0,50	73,61	111,83	149,00	2,0	349,65
Siltito Argilo-Arenoso Concrecionado	1:4	0,45	141,56	169,88	181,20	1,5	476,19
		0,50	86,34	130,73	179,78	2,0	353,35
	1:6	0,45	76,44	96,26	147,22	7,0	359,71
		0,50	67,95	82,10	113,25	7,0	353,35
Conglomerado Ferruginoso	1:4	0,45	203,85	226,50	339,75	5,0	478,46
		0,50	186,86	226,50	311,44	5,5	467,28
	1:6	0,45	182,60	291,61	342,58	1,0	362,31

Relação à compressão simples versus idade de cura.
Traço 1:6 A/C= 0,45 1/kg de cimento.

Relação à compressão simples versus idade de cura.
Traço 1:6 A/C= 0,50 1/kg de cimento.

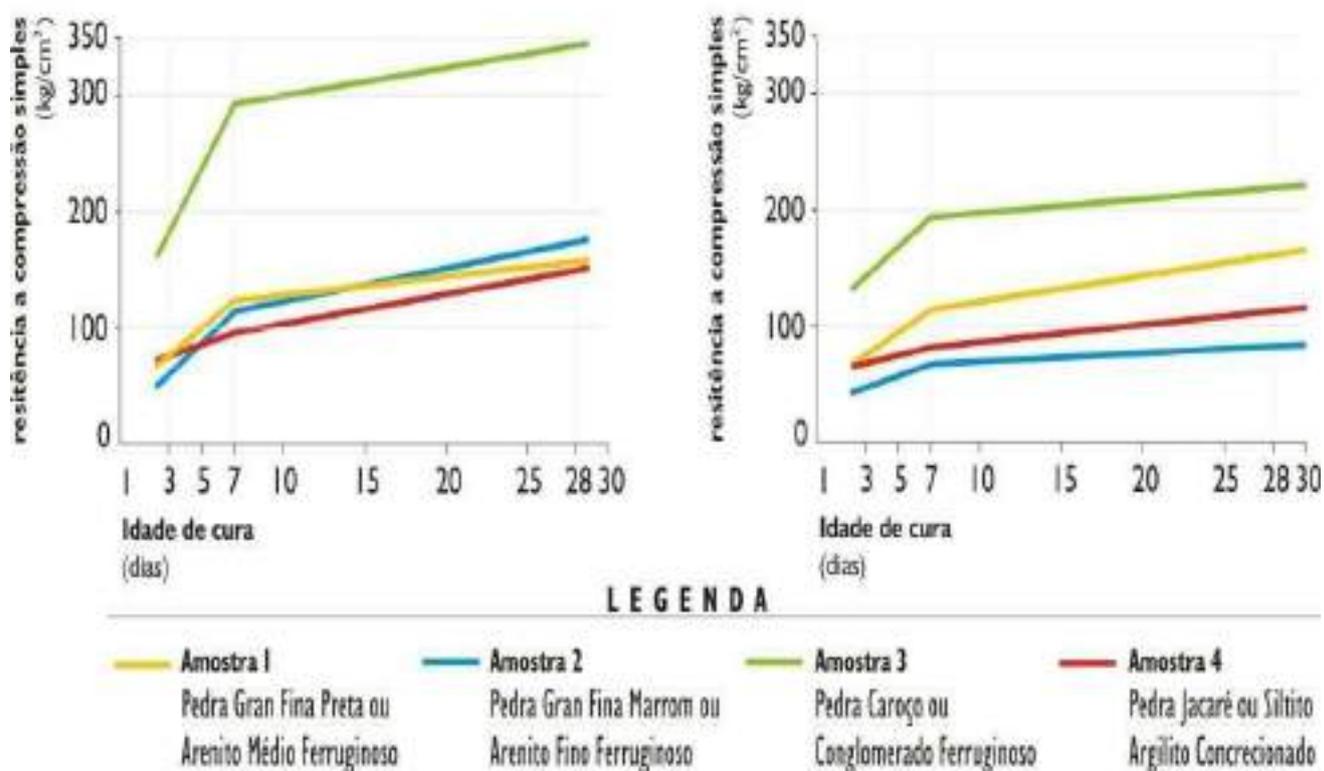


Figura 5.47 - Resistência à compressão simples versus idade de cura traço 1:6 – Fator a/c = 0,45 e 0,50 1/Kg de cimento.

Relação à compressão simples versus idade de cura.
Traço 1:4 A/C = 0,45 l/kg de cimento.

Relação à compressão simples versus idade de cura.
Traço 1:4 A/C = 0,50 l/kg de cimento.

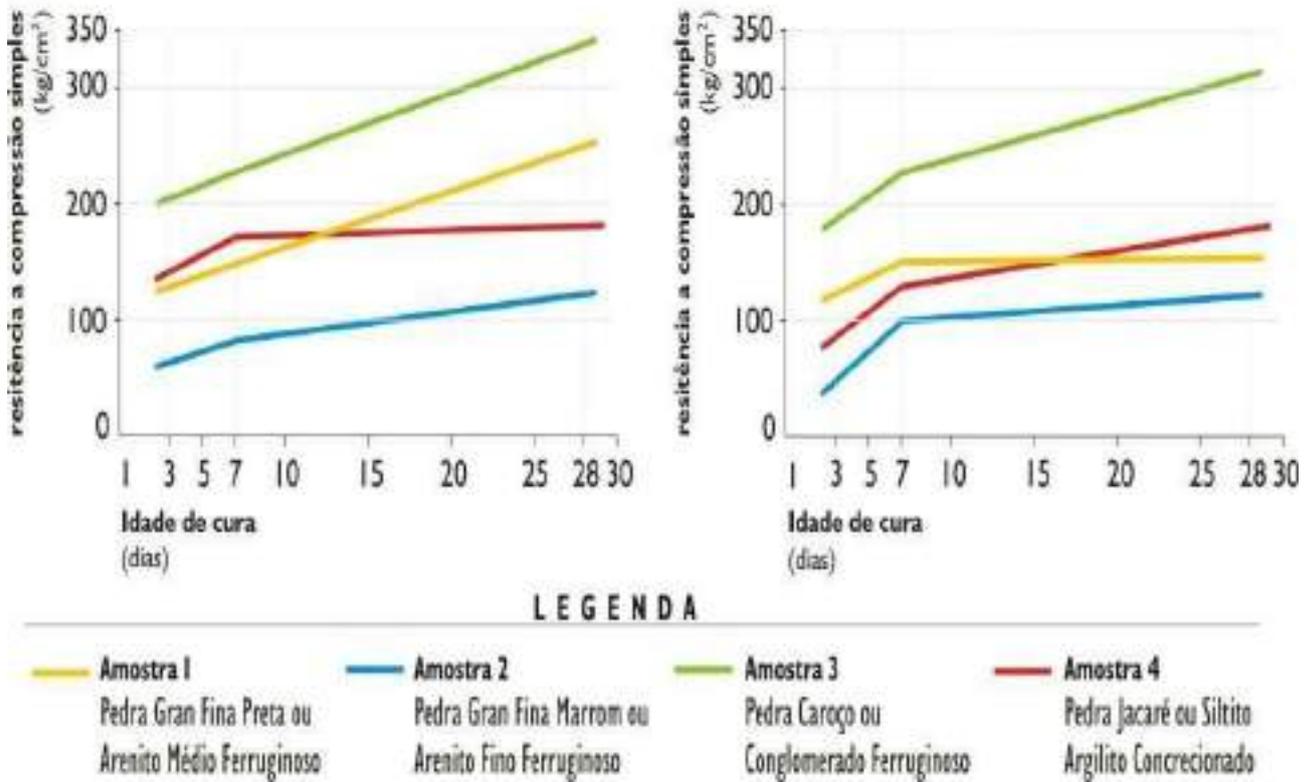


Figura 5.48 - Resistência à compressão simples versus idade de cura traço 1:4 - Fator a/c = 0,45 e 0,50 l/Kg de cimento.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

Os novos paradigmas sociais mundiais têm feito com que os governos busquem em suas políticas de infraestrutura dar prioridade à questão dos materiais pétreos para uso de sua população e, conseqüentemente, fazendo um chamamento à necessidade de se conhecer novos materiais com respaldo em conhecimentos técnicos e científicos e que possam participar da cadeia produtiva. Nesse aspecto, o presente estudo disponibiliza suporte técnico e científico para fundamentar uma contribuição científica aplicada ao caso.

O conglomerado ferruginoso laterítico (laterita/agregado laterítico) de S. Luís no estado do Maranhão (MA), usado neste estudo, como agregado pétreo em concreto de cimento Portland é basicamente uma rocha sedimentar composta de grãos de quartzo (em areias finas, medias, grossas e pedregulhos), com todo o seu conjunto granulométrico cimentado por óxidos ferruginosos e considerada uma rocha moderadamente resistente, segundo a Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas, com valores maiores que 25 Mpa até 50 Mpa. Apresentou características tecnológicas satisfatórias com base nos resultados obtidos através dos ensaios tecnológicos de laboratório deste estudo, principalmente quando se tem em mente que o uso da laterita tem sido uma alternativa de aplicação em regiões destituídas de material pétreo cristalino (granítico ou metamórfico).

O presente estudo destaca-se de outros estudos, pelo fato de ter sido utilizado o conglomerado ferruginoso laterítico, tal como saiu do britador com mandíbulas reguladas com abertura de 50,8 mm, ou 2”, 38,1mm, ou 1 ½ ‘ e ainda 25,4 mm ou 1”, fornecendo tanto o agregado graúdo como o agregado miúdo, quando britado, conforme se verifica na curva granulométrica teórica de “FULLER” apresentada na Figura 5.44.

O conglomerado ferruginoso laterítico (laterita/agregado laterítico) com toda a sua caracterização, quer geológica, química, física e mecânica e por estar submetida ao intemperismo químico físico diferencial concentra em sua estrutura sedimentar cimentada, núcleos com diferentes graus de alteração, cuja variação é de difícil controle, em face à anisotropia da dita rocha.

Assim sendo, quando se verificam e se comparam os ensaios de granulometria realizados no conglomerado ferruginoso laterítico (laterita/agregado laterítico) da jazida do Maracujá, fica evidente que esse conglomerado quando submetido ao britador secundário com abertura da mandíbula regulada em 1”, oferece um agregado de melhor qualidade, em contraste com o conglomerado, quando comparado ao conglomerado, quando apenas submetido ao britador primário, com mandíbulas reguladas em 2”.

As justificativas para esse tipo de comportamento são duas. A primeira justificativa é que quando uma fração de um mesmo lote de conglomerado ferruginoso laterítico (laterita/agregado laterítico) é submetido ao britador de 1”, menor diâmetro, faz-se com que a fração alterada do conglomerado se reduza a uma granulometria menor, passando a apresentar, no geral, um material com granulometria mais fina, enquanto que o conglomerado não alterado ou levemente alterado passa a fornecer granulometria mais grossa.

Significa dizer que o conglomerado submetido ao britador primário com abertura da mandíbula regulada em 2”, maior diâmetro, permite que o agregado gráudo que passa pelas mandíbulas permaneça, ainda, com frações alteradas no seu interior e assim sendo terá sua resistência individual diminuída, facilitando o rompimento do concreto pelo agregado alterado, quando submetido aos esforços de compressão axial simples.

O conglomerado ferruginoso laterítico (laterita/agregado laterítico), tanto o alterado quanto o menos alterado se esfacelam pelas forças de compressão das mandíbulas de britagem fazendo destruir a sua matriz. Nesse sentido, os componentes da massa rochosa desgarram-se ou desagregam-se e transformam-se em areias finas, médias, grossas e pedregulhos, vindo a apresentar uma curva granulométrica resultante do processo, o que oferece margem à comparar essa granulometria resultante, com a curva granulométrica teórica de “FULLER”.

Dessa forma, a comparação permite visualizar todo e qualquer ajuste da curva granulométrica gerada pela britagem do conglomerado ferruginoso laterítico (laterita/agregado laterítico) à curva granulométrica teórica de “FULLER”, com adição ou retirada de matérias finos e gráudos, até o limite prático, assim oferecendo um

agregado perfeitamente ajustado e ideal aderente à curva granulométrica teórica de “FULLER”, para uso em concreto de cimento Portland.

O material/agregado laterítico resultante da britagem se ajustado à curva granulométrica teórica de “FULLER”, e principalmente devido ao arranjo interno espacial do agregado laterítico britado, quando moldado em um corpo de prova de concreto, oferecerá maior resistência aos esforços advindos das solicitações físico – mecânicas, a que for submetido o concreto de cimento Portland, uma vez que este arranjo irá oferecer um menor índice de vazios.

O corpo de prova de concreto usando conglomerado ferruginoso laterítico (laterita/agregado laterítico) atingiu uma resistência máxima de 33,97 Mpa como resistência máxima à compressão simples, quando britado em um britador primário com mandíbulas reguladas com abertura de 1 ½ e moldados em corpo de prova de concreto de cimento Portland, num traço de 1:4 e numa proporção de água cimento a/c de 0,45 e consumindo 478,46 kg/m³ de cimento, cujo resultado alcançado seria maior, caso tivesse havido correção granulométrica.

O corpo de prova de concreto usando conglomerado ferruginoso laterítico (laterita/agregado laterítico) atingiu uma resistência máxima de 31,70 Mpa, quando esse mesmo agregado laterítico foi britado em um britador primário com mandíbulas reguladas com abertura de 2” e depois rebritado num britador secundário com 1” de abertura das mandíbulas. Foram moldados em corpo de prova de concreto de cimento Portland, num traço de 1:4 e numa proporção de água cimento a/c de 0,45. Neste caso se efetuou correção granulométrica.

Os ensaios de resistência dos corpos de prova de concreto referente ao conglomerado ferruginoso laterítico (laterita/agregado laterítico), da jazida do Maracujá, em face ao grau de alteração da rocha, com distribuição aleatória/errática, resultante do intemperismo diferencial, demonstraram que o melhor traço a ser adotado na confecção do corpo de prova concreto é a proporção de 1 unidade de cimento para 4 unidades de conglomerado ferruginoso laterítico (laterita/agregado laterítico), e com fator água cimento na proporção de 45%, cujos ensaios de resistência dos corpos de prova em laboratório atingiram valores médios de 31,70 Mpa, tendo sido acrescentado 50% de material passante na peneira 4,8mm, sobre a massa total do conglomerado laterítico ferruginoso pertencente ao conjunto dos corpos de prova.

O conglomerado ferruginoso laterítico (laterita/agregado laterítico), que apresente alteração da rocha em sua matriz e cimento deverão ser submetidos primeiramente a uma britagem primária e posteriormente a uma britagem secundária, com vistas a destruir as frações alteradas do agregado laterítico e assim minimizando o impacto causado pela presença de agregado no concreto que contenha no seu interior frações alteradas, que poderão definir uma fuga de resistência no todo do concreto e facilitando o rompimento do corpo de prova preferencialmente pela agregado alterado, o que está contra a prática de Engenharia.

A tarefa mais difícil no que concerne ao uso da laterita (tipos rochosos lateríticos), em geral, na ilha de S. Luís (MA), para concreto é a distinção do grau de alteração dos tipos rochosos lateríticos em uma mesma jazida, cuja característica real de alteração é conhecida após britagem e após respectivo conhecimento da curva granulométrica obtida após realização do ensaio de granulometria.

A exploração da laterita na Ilha de S. Luís (MA) adota na prática um critério desordenado e predatório na exploração deste material. Primeiro, porque o uso do material não contempla uma separação por qualidade hierarquizada e concordante com sua potencialidade, conforme os ditames tecnológicos e científicos. Em, segundo lugar, porque permite a geração de grandes áreas totalmente desmatadas e erodidas e em fase de erosão, com consequências catastróficas ao meio ambiente.

Ainda pode-se afirmar, com base nos presentes estudos, que, na ilha de S. Luís (MA), e com base material no cadastro de todas as jazidas/lavras/pontos de laterita, em número de 47 jazidas, comprovou existir uma intensa degradação ambiental, em função das cicatrizes deixadas pela lavra da laterita, como se pode observar através das fotos de superfície, tomadas durante a fase de cadastramento e que constam do conjunto de fotos contidas no Anexo 1, e no Anexo 2. A substituição das areias aluvionares pelas areias obtidas no processo de britagem da laterita, diminuirão mutuamente e significativamente o passivo ambiental.

Por fim, é necessário observar que a situação da exploração de lateritas em S. Luís do Maranhão envolve questões laborais e de degradação do meio ambiente. Essa situação deverá levar a interdições de várias empresas, que exploram lateritas, com impactos econômicos e sociais locais significativos. A desconsideração dos atributos da geologia delineados neste estudo, associada a métodos de lavra incorretos resultam em

perdas econômicas consideráveis aos exploradores. Além disso, a ausência de diálogo com as comunidades locais, alija a sociedade das estratégias de planejamento, que são fundamentais para o desenvolvimento sustentável. Assim, os problemas enfrentados pelo setor de rochas lateríticas, são devidos não apenas à negligenciados conhecimentos de geologia e planejamento de lavra, mas também ao entendimento acerca do conceito de sustentabilidade na mineração. Nesse campo, o governo local deverá buscar uma inovação, considerando que o capital social pode ser um caminho para se alcançar o desenvolvimento sustentável na mineração.

Diante do exposto poderá ser realizado um convênio entre o governo estadual e outros órgãos, com ampla articulação envolvendo entidades setoriais, empresas de mineração e governanças locais. Os trabalhos poderão ser conduzidos com o objetivo de realizar um amplo levantamento das operações de lavra na Ilha de S. Luís, como um subsídio para o ordenamento das atividades de mineração, sob a égide do aproveitamento racional dos recursos minerais, conservação ambiental, responsabilidade social e desenvolvimento regional.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.

Inicialmente propõe-se estudo, projeto e construção de uma planta piloto em que se contemple uma unidade de britagem industrial de laterita, abrangendo a mistura dos diferentes tipos de lateritas e efetuando as devidas correções granulométricas, com base na curva teórica de “FULLER”. Desses tipos de laterita contemplados em estudos anteriores, sugere-se obter tanto o agregado graúdo (todas as classes de britas), como o agregado miúdo (areias, média grossa e fina), separando – os por classes granulométricas e sem busca de areias lavadas dos rios.

Cabe ainda destacar a importância de que se elabore um mapeamento geológico-geotécnico da ilha de S. Luís em uma escala detalhada, como por exemplo, da ordem 1:20.000, contemplando perfis topográficos-geológicos-geotécnicos. Ênfase no uso de sensoriamento remoto objetivando o processamento digital de imagens deverá ser estimulado para fins de mapeamento, tanto o geológico como também o geotécnico.

Ao final desta tese, espera-se ter contribuído para que novas iniciativas sejam estimuladas com respeito ao aproveitamento do material laterítico, notadamente no setor de construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT-NBR-7389. Análise de Lâminas Petrográficas Luz Polarizada.
- ABNT-MB-170R. Modificado - Determinação da Abrasão “Los Angeles”.
- ABNT-MB-7. Determinação da Granulometria.
- ABNT-MB-256. Determinação de “*Slump Test*”.
- ABNT-MB-3. Moldagem e Rompimento dos Corpos de Prova.
- ACKERMANN, F.L. (1962). Laterito e Laterização. Revista Engenharia Mineração e Metalurgia, V. 36, p.301-306.
- AKPOKODJE, E.G & HUDEC, P. (1994). The influence of petrology and fabric on the engineering properties of concretionary laterite aggregate. Quarterly Journal of Geology and Hydrology, Londres, vol. 27, p. 39–50.
- ASSIS, V.J.D. (1992). Avaliação dos concretos convencionais e alternativos por meio de ensaios destrutivos. Dissertação de Mestrado apresentada na Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande – PB, 182P.
- ASTM – C295. Análise de Difração aos Raios-X, usando-se Radiações FeK α . 1996
- AZEVEDO, A.B. (1983). A laterita Acreana utilizada como agregado graúdo no concreto. Seminário sobre o controle de resistência do concreto, IBC, Instituto Brasileiro do Concreto, 1983.
- BARBOSA, N.P. & CHAGAS FILHO, B. (1988). O concreto laterítico e seu emprego em vigas estruturais. Reunião Anual de 1988, IBRACON, Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo, 12, p. 11-29.
- BARBOUR, A.P. (1966). Nota sobre Laterização e sua conseqüência no relevo do Território do Amapá. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, V. 15, p.32-41.
- BEAUVAIS, A.; COLIN, F. (1993). Formation and transformation processes of iron duricrust systems in tropical humid environment. *Chem. Geol.*, v. 106, p.77-101.
- BENNETT, S.A.; ATKINSON, W.W.; KRUSE, F.A. (1993). Use of Thematic Mapper imagery to identify mineralization in the Santa Teresa district, Sonora, Mexico. *International Geology Review*, 35, 1009-1029.
- BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; PASSOS, E. (1996). Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: Editora da UFSC, vol. II. p. 566-612.
- CARDOSO, C. (1996). Estudo das deformações instantâneas ao longo do tempo em vigas e lajes pré-moldadas em concreto armado e alternativo. Dissertação de Mestrado apresentada na UFCG, 212 p.

CARVALHO, J.B.Q. (1984). Lateritic aggregate use to fabricate concrete. Bulletin of International Associate of Engineering Geology, Paris, V. 30, 18 p.

CARRANZA, E.J.M. & HALE, M. (2002). Mineral imaging with Landsat Thematic Mapper data for hydrothermal alteration mapping in heavily vegetated terrane. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 4827-4852.

CHAGAS FILHO, M.B (1986). Concreções Lateríticas: Propriedades básicas e sua utilização em vigas estruturais submetidas á flexão simples. Dissertação de Mestrado apresentada na Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 108 p.

CHAGAS FILHO, M.B. (1992). Estudo da deformação, segurança e rigidez de vigas de concreto armado laterítico. Tese (Concurso Público para Professor Titular), Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba. UFPB, Campina Grande – PB, 94p.

CHAGAS FILHO, M.B. (2005). Estudos de agregados lateríticos para utilização em concretos estruturais. Tese de Doutorado apresentada na UFCG, 343 p.

CODEMINAS (1975). Companhia Maranhense de Pesquisa Mineral. Relatório de compilação e análise da bibliografia geológica e de recursos minerais do Maranhão, Editora Cerrado, São Luís, 638 p.

CRÓSTA, A. & MOORE, J.M. (1989). Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain. In: *Proceedings of the Seventh thematic conference on Remote Sensing for Exploration Geology*. Proceedings, ERIM, Calgary, p. 1173-1187.

CRÓSTA, A.O. & RABELO, A. (1993). Assessing Landsat TM for hydrothermal mapping in central-western Brazil. *Proceedings of the Ninth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing*, Pasadena, California, USA, 1053-1061.

CRÓSTA, A.P. & SOUZA FILHO, C.R. (2009). Mineral exploration with Landsat Thematic Mapper (TM)/Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+): a review of the fundamentals, characteristics, data processing and case studies. In: BEDELL, R.; CRÓSTA, A.P. & GRUNSKY, E. (Editors). *Remote Sensing and Spectral Geology*. vol. 16, p. 59-82.

DAVIDSON, D.; BRUCE, B.; JONES, D. (1993). Operational remote sensing mineral exploration in a semi-arid environment: the Troodos Massif. Cyprus. Thematic Conference on Geologic Remote Sensing. 9th. Pasadena. California. Environmental Research Institute of Michigan. Proceedings. v.2, p. 845-859.

DNER-ME-30-74. Determinação Quantitativa de Sete Elementos Químicos.

DNER-DPT-M-89-64. Ensaio de Ciclagem Sanidade.

DNER-ME-30-73. Determinação da Relação Sílica - Sesquióxido. 1971

DOBEREINER, L. (1987). Geotecnia de arenitos brandos. Síntese de tese 08 da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 32 p.

DUCART, D.F.; SILVA, A.M.; BENFICA, C.L.; ASSIS, L.M.; GUERRA, E.M. (2015) Caracterização espectral quantitativa do minério de ferro na Mina N4, Província Mineral de Carajás, a partir de imagens Landsat 8 e Hyperion - Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa - PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE

ELAYESH, S.M. (2009). Performance of laterite aggregate concrete. – Trabalho de graduação na Universidade da Africa.

FAIRBAIRN, E.M.R (2014). Notas de aula disciplina Dosagem Científica em Materiais Cimentícios e Físico – Química e Durabilidade dos Materiais Cimentícios.

FRAZÃO, E.B. (2002). Tecnologia de Rochas na Construção Civil, Editora Palmas, São Paulo, 132 p.

FRASER, S.J. (1991). Discrimination and identification of ferric oxides using satellite Thematic Mapper data: a Newman case study. *International Journal of Remote Sensing*, 12, 635-641.

GOMES DE SOUSA, A.C (1982). Algumas considerações sobre as possibilidades de utilização de laterita do Maranhão como agregado na composição do concreto. USP. 58.p.

GRANT, K. (1974). Laterites, Ferricretes, Bauxites and Silcretes. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING GEOLOGY, 2, São Paulo, 1974. Anais..., São Paulo, International Society of Engineering Geology, V. 2, p. 476-486.

HARTWIG, M.E. & CABOCLO, F.D.G. (2012). Detecção de coberturas lateríticas a partir de imagens TM Landsat como subsídio ao projeto de duplicação da Ferrovia Carajás, regiões norte e nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*.

HUNT, G.R. & SALISBURY, J.W. (1970). Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: III oxides and hydroxides. *Modern Geology*, 2, 195-205.

HUDEC & AKPOKODJE, (1992). Properties of concrete with concretion fabricated University Port Harcourt, Nigéria.

IPT-M-52. Ensaio de Tenacidade (Impacto Treton).

IPT-M-49- Ensaio de Índice de Forma.

IPT-M-50- Resistência à Compressão Simples Axial.

IPT-M-53- Ensaio de Esmagamento %.

IPT-M-47 - Porosidade Aparente %.

IPT-M-47 - Absorção D'água em %.

IPT-M-47 - Determinação da Massa Específica Aparente Seca em g/cm³.

IPT-M-47 - Determinação da Massa Específica Aparente Saturada em g/cm³.

LIBÓRIO, J.B.L. & FUTIDA, J.E.C. (2005). Utilização de agregado graúdo laterítico em concretos de elevado desempenho. PIBIC/USO/CNPq. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 174.p.

HUDEC, P & APOKODJE, E.G. (1992). Properties of concrectionary laterite gravel concrete. Bulletin of engineering geology and environment, Berlin, V. 46, p. 45-50.

INFANTI, N. & KANJI, M.A. (1974). Laterites, Ferricretes, Bauxites and Silcretes. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING GEOLOGY, 2, São Paulo, 1974. Anais..., São Paulo, International Society of Engineering Geology, V. 2, p. 487-497.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas/SP (1967). Certificados 296.285, 4.564 e 276.931 referente a ensaios sobre material Pétreo da Barragem de Curuá-Una no Estado do Pará.

KAUFMAN, H. (1988). Mineral exploration along the Aqaba-Levanat structure by use of TM data, concepts, processing and results. *International Journal of Remote Sensing*, 9, 1630-1658.

KHANKAHDANI, K.N.; GHADAMIL, G.; MASOODIL, M.; ZURMAND, M. (2016) The Use of Remote Sensing Techniques for Enhancement and Detection of Koopan Laterites (Zagros Region), North East of Shiraz, Iran - *Advances in Bioresearch Adv. Biores.*, Vol 7 (5) September 2016: 104-110 ©2016 Society of Education, India Print ISSN 0976-4585; Online ISSN 2277-1573 Journal's

KHAIRUNISA, M.; WAHIDA, N.K and KAMARUZAMAN, W. (2012). Assessment of Malaysian laterite aggregate in concrete - *International Journal of Civil Engineering*.

KLEIN, E.L.; SOUZA, C.S.; VASQUEZ, M.L.; LOPES, E.C.S.; TEIXEIRA, S.G.; OLIVEIRA, J.K.M.; MOURA, E.M.; LEÃO, M.H.B. (2012) - *Geología e Recursos Minerais do Estado do Maranhão: Sistema de Informações Geográficas – SIG* : texto explicativo dos mapas Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Maranhão.

KUMAR, P.; KUMAR.S.; SINHA, S. (2018). Remote sensing in demarcation of laterite soil: a case study - *Journal of Arid Land Studies* https://doi.org/10.14976/jals.28.S_

LOUGHLIN, W.P. (1991). Principal component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.57, p. 1163-1170.

- MARTINS, B.N. (2017). Avaliação da vulnerabilidade à intrusão salina no curso inferior do rio Bacanga através do método de Galdit. Dissertação parcial da qualificação apresentada ao Programa de Pós – Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço – PPGEO - da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.
- MEDINA, J. (1974). Estabilização de solos lateríticos: In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES. São Paulo, ABMS, V. 2, p. 1-16.
- MEHTA, P.K & MONTEIRO, P.J.M. (1994). Concreto: estrutura, propriedade e materiais – Editora Pini Ltda.
- MINGOTI, S.A. (2007). Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada (Didática). Belo Horizonte: Editora UFMG. 295p.
- MELFI, A.J. (1977). Lateritas e processos de laterização. Publicação 93/94. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de S. Paulo – USP, São Carlos, São Paulo.
- NEVILLE, A.M. (2016). Propriedades do Concreto, Bookman Editora Ltda, Porto Alegre, Brasil , 887 p. 5a Edição
- NEWMAN, K. (1959). The effect of water absorption by aggregates in water cement ratio of concrete, Magazine of Concrete Research, London, V. 2, 372 p.
- NOGUEIRA JR., J. (1988). Possibilidades de colmatação química dos filtros e drenos da barragem de Porto Primavera (SP) por compostos de ferro. Dissertação de Mestrado apresentada na USP, São Paulo, 382 p.
- O’FLAHERTY, C.A. (1961). Highways. Edward Arnold (publisher), London, 204P.
- OLIVEIRA, J.E. (1978). Alguns tipos petrográficos sedimentares da região de São Luís - MA e seus usos como agregados em concreto de cimento Portland. II Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia - promovido pela ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - São Paulo/SP - 1978.
- OLIVEIRA, J.E. (1979). Caracterização tecnológica de rochas cimentadas por óxido de ferro. II Simpósio de Geologia - Promovido pela Sociedade Brasileira de Geologia, Rio Claro/SP.
- OLIVEIRA, J.E. (1980). Aspectos mineralógicos e químicos de litologias cimentadas por óxidos de ferro na ilha de São Luís. XXXI Congresso Brasileiro de Geologia.
- OLIVEIRA, J.E. (1981). Contribuição ao conhecimento atual da geotecnologia de rochas sedimentares em alguns estados Brasileiros. III Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia - promovido pela ABGE - Rio de Janeiro/RJ.
- OLIVEIRA, J.E. (1982). Tendências de Comportamento Tecnológico de Rochas Sedimentares Cimentadas por Óxidos Ferruginosos. Anais do VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos - Recife/PE.

- OLIVEIRA, J.E (2008). Comportamento geotecnológico de lateritas de S. Luís (MA) e suas resistências no concreto de cimento Portland. Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ.
- OLIVEIRA, J.E.; ROTUNNO, O.C.F.; MELLO, E.F. (2019). Comparative study on resistance using various types of laterite from São Luís Island in the state of Maranhão – Brazil. Bulletin of International Association of Engineering Geology and Environment. No prelo
- OSUNADE, J.A. (2002). The influence of coarse aggregate and reinforcement on the anchorage bond, strength of lateritized concrete. Journal of building and environment, West Lafayette, V. 36, Issue 7, p. 727-732.
- PARATE, N.S. (1969). Brittle Fracture of Rocks, Mining Magazines, London, V. 2, 121 p.
- PEREIRA, E.D., ARCANJO, S.H., CASTRO, H.F. - As lateritas nos tabuleiros dissecados da Ilha do Maranhão, Ocorrências e Exploração, Anais da Revista - Contribuições a Geologia da Amazônia – volume 10.
- QUEIROZ DE CARVALHO, J.B. (1984). Lateritic aggregate used to fabricate concrete. Bulletin of International Association of Engineering Geology, n. 30, Paris.
- PETTIJHON, N.S. (1975). Sedimentary Rocks, Harper and Row Publisher. Alind Edition, New York, 635 p.
- PETRUCCI, E.G. (1973). Concreto de cimento Portland, Editora Globo, Porto Alegre, 215 p.
- POMPEU NETO, B.B. (1976). Um estudo sobre as propriedades de resistência mecânica de concreto laterítico. Dissertação de Mestrado, UFP, Campina Grande, 91 p.
- PERAZZO BARBOSA, N. (1996). Concreto laterítico armado. Revista Estrutura, n. 115, Rio de Janeiro, junho de 1996, p. 80 – 87.
- PORTO, C.G. (2004). Intemperismo e regiões tropicais. Geomorfologia e Meio Ambiente, Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 372 p.
- McINTOSH, J.D. (1954). Basic Principles of Concrete Mix Design. Proceedings of a Symposium on Mix Design and Quality Control of Concrete Cement and Concrete Association, London.
- ROAD RESEARCH LABORATORY (1976). Concrete Roads Design and Construction, Her Majesty's Stationery Office, London.
- ROSSETTI, D.F. & GOES, A.N. (2001). O cretáceo na Bacia de S. Luís – Grajaú. Publicação do museu paraense Emílio Goeldi, Belém, 264 p.

- RANJBAR, H., HONARMAND, M. and MOEZIFAR, Z. (2004). Application of the Crósta technique for porphyry copper alteration mapping using ETM+ data in the southern part of the Iranian volcanic sedimentary belt. *Journal of Asian Earth Sciences*. v. 24, p. 237-243.
- RUIZ-ARMENTA, J.R. and PROL-LEDESMA, R.M. (1998). Techniques for enhancing the spectral response of hydrothermal alteration minerals in Thematic Mapper images of Central Mexico. *International Journal of Remote Sensing*. v.19, p. 1981-2000.
- SABINE, C. (1999). Remote sensing strategies for mineral exploration. In: Rencz, A.N. (Editor). *Remote sensing for the earth sciences - manual of remote sensing*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 3rd ed., v.3, p. 375-447.
- SANTANA, H. (1970). Os solos lateríticos e a pavimentação. Publicação do IPR, n.543, Rio de Janeiro, 32 p.
- SAHASRABUDHE, Y.S. & DESHMUKH, S.S. (1979). The Laterites of the Mahashita State. In: International Seminar on Lateritisation Process, 1, Trivandrum. Proceedings... Rotterdam, A.A. Balkema, p. 209-220.
- SCHILLER, K.K. (1958). Porosity and strenght of brittle solide, mechanical properties of non metallic brittle materials. Walton, London, p. 35-49.
- SIEGAL, B.S. e GOETZ, A.F.H. 1977. Effect of vegetation on rock and soil type discrimination. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. v. 42, n° 2, p. 191-196.
- SOUZA, A.C. & FERRAZ, A.C. (1975). Algumas considerações sobre a possibilidade de utilização da laterita no Maranhão como agregado para Concretos. Trabalho de Pós Graduação referente a cadeira: Materiais de construção, EEUSP, São Carlos, 28 p.
- SOUZA FILHO, C.R. and DRURY, S.A. (1998). Evaluation of JERS-1 (FUYO-1) OPS and Landsat TM images for mapping of gneissic rocks in arid areas. *International Journal of Remote Sensing*. v.19, p. 3569-3594.
- SUGUIO, K. & BARBOUR, A.P. (1969). Morfologia e Gênese das estruturas limoníticas dos sedimentos da Bacia de São Paulo. Rio de Janeiro, Anais da Academia Brasileira de Ciências, 41, 2, p. 120.
- SUGUIO, K. (1980). Rochas Sedimentares: propriedades, gênese e importância econômica. Editora EDSUSP, São Paulo, 498 p.
- TAGESTANI, M.H. and MOORE, F. (2002). Porphyry copper alteration mapping at the Meiduk area, Iran. *International Journal of Remote Sensing*. v.23, n. 22, p. 4815-4825.
- TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.P. & TAIOLI, F. (2000). Decifrando a Terra, Editora Oficina de Textos, São Paulo, 532 p.

TRIGO, A.P.M. (2012). Estudo da dopagem de agregados para finalidade de uso em concretos estrutural- Tese de Doutorado defendida na E.E.S.C - USP – S. Carlos – SP.

UDOEYO, F.F, IRON, U.H and ODIM, O (2006) – Strenght performance of laterized concrete - Construction and building materials.

VARAJÃO, C.A.C.; MENESES, P.R.; CARVALHO A.; MELFI, A.J.; BOULANGÉ, B. (1988). Detecção de depósitos bauxíticos em coberturas lateríticas através de imagens TM, sinclinal do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero, MG. V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, RN. Anais, v.2, p.275- 281.

WALKER, S. & BLOEM, D.L. (1956). Estudo da resistência a Flexão do Concreto, Joint Research Laboratory Publisher, Washington, V. 36, p. 334-346.

WILKIPÉDIA, (2019). Enciclopedia libre - Classificação climática de Köppen-Geiger.

YOSHIDA, R. (1972). Sugestão de roteiro e escolha de ensaios tecnológicos de rochas. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 4, São Paulo, 1972. Anais..., Associação Paulista de Geologia Aplicada, p. 113-122.

ANEXO 1- CADASTRAMENTO DOS PONTOS/JAZIDAS/LAVRAS

O Anexo 1 (A1) refere-se ao cadastramento dos 47 pontos / jazidas / lavras onde existe e onde existiu a exploração da laterita. O cadastramento ficou registrado em uma ficha numerada, com o mesmo número do ponto / jazida / lavra. A ficha contempla um registro fotográfico, coordenadas geográficas, parâmetros, geológicos-geotécnicos, geomorfológicos e observações gerais pertinentes, incluindo o preço de venda do material e as unidades comerciais usadas para tal finalidade comercial. Inicialmente, o cadastramento teve o objetivo de se ter uma ideia da distribuição das ocorrências e porcentual de incidência dos tipos de lateritas aflorantes nestes pontos / jazidas / lavras. Fato de extrema relevância é o dano ambiental provocado pela exploração das jazidas, como pode ser observado nas fotos.

Tabela 1 - Identificação dos pontos/jazidas/lavras em coordenadas, número das amostras, características, nomes dos locais e latitudes – longitudes.

PONTOS	NORTE	LESTE	Nº DA AMOSTRA	LOCAL	CARACTERÍSTICAS	LATITUDE	LONGITUDE
1	575726	9694884	AML-01-01 D	Cuteiro da porta da Pedra (Igarau)	Área de Ocorrência	2° 45' 36,882" S	44° 18' 34,879" W
2	573957	9696298	AML-02-02 C	Copal (Igarau)	Jazida Abandonada	2° 44' 50,693" S	44° 20' 4,325" W
3	572952	9697224	AML-03-03 A	Vila Samara	Jazida Ativa	2° 44' 20,754" S	44° 20' 37,214" W
4	574404	9696904	AML-04-04 A	Vila Rica(cajuero) – entrada do Igarau	Jazida Ativa	2° 44' 31,150" S	44° 19' 50,163" W
5	573401	9696106	AML-05-05A	Ceramica São Luis – Rua da cerâmica - ESTIVA	Jazida Ativa	2° 44' 57,198" S	44° 20' 22,653" W
6	574725	9696680	AML-06-06B	Br 135 Km 18. Corte de estrada lado direito sentido saindo de São Luis.	Área de Ocorrência	2° 43' 33,304" S	44° 19' 39,819" W
7	575071	9701630	AML-07-07A	Manual	Jazida Ativa	2° 41' 57,207" S	44° 18' 56,281" W
8	575921	9702436	AML-08-08A	Pedrinhas/ Mineração Vale da Ribeira	Jazida Abandonada	2° 41' 30,942" S	44° 18' 28,768" W
9	578570	9703600	AML-09-09B	Pedrinhas	Área de Ocorrência	2° 40' 53,003" S	44° 17' 35,387" W
10	581084	9705132	AML-10-10B	Vila Santa Itaperã	Jazida Abandonada	2° 40' 3,063" S	44° 16' 14,001" W
11	581834	9704552	AML-11-11A	Itapera	Área de Ocorrência	2° 40' 21,937" S	44° 15' 49,701" W
12	584973	9696134	AML-12-12A	Arraial (Quebra pote)	Jazida Abandonada	2° 43' 18,380" S	44° 14' 7,837" W
13	585373	9702920	AML-13-13A	Quebra pote	Jazida Ativa	2° 41' 14,994" S	44° 13' 22,875" W
14	577129	9711938	AML-14-14A	Maracanã (Fazenda Sacuri)	Jazida Ativa	2° 38' 21,485" S	44° 18' 22,204" W
15	577546	9710570	AML-15-15A	Maracanã (vaporosa-rua de acesso)	Jazida Ativa	2° 37' 6,030" S	44° 18' 8,611" W
16	578046	9708818	AML-16-16A	Maracanã-rua menino Jesus (rua do prof.)	Jazida Abandonada	2° 38' 3,078" S	44° 17' 52,453" W
17	579333	9709958	AML-17-17A	Maracanã – rua mochel (hotel fazenda)	Jazida Ativa	2° 37' 25,928" S	44° 17' 10,796" W
18	582982	9707202	AML-18-18A	Ribeira	Jazida Ativa	2° 38' 55,615" S	44° 15' 15,814" W
19	582996	9704802	AML-19-19A	Vila maracujá	Jazida Ativa	2° 40' 20,288" S	44° 15' 11,974" W
20	585271	9708002	AML-20-20A	Tibiri	Jazida Ativa	2° 38' 29,514" S	44° 13' 58,466" W
21	583994	9710222	AML-21-21A	Tibiri (atrás do bar)	Jazida Abandonada	2° 37' 17,241" S	44° 14' 39,863" W
22	578100	9704654	AML-22-22A	Br 135	Jazida Ativa	2° 40' 18,688" S	44° 17' 50,827" W
23	583146	9704566	AML-23-23A	Porto Grande	Área de Ocorrência	2° 40' 21,455" S	44° 15' 7,213" W
24	574787	9706772	AML-24-24A	Porto Grande	Jazida Ativa	2° 39' 9,788" S	44° 19' 37,956" W
25	572934	9704472	AML-25-25A	Tain	Jazida Abandonada	2° 40' 24,707" S	44° 20' 37,984" W
26	575449	9708578	AML-26-26A	Br 135 prox. A empresa Yara	Jazida Ativa	2° 38' 10,923" S	44° 18' 44,165" W
27	575604	9706838	AML-27-27A	Rio dos Cachorros	Área de Ocorrência	2° 39' 7,605" S	44° 19' 11,498" W
28	575106	9708510	AML-28-28A	Vila Maranhão	Jazida Ativa	2° 37' 40,584" S	44° 19' 27,578" W
29	574082	9708572	AML-29-29A	Vila Maranhão	Jazida Ativa	2° 37' 38,583" S	44° 20' 0,835" W
30	574473	9710894	AML-30-30A	Cajueiro	Jazida Ativa	2° 38' 55,532" S	44° 19' 48,196" W
31	572758	9710344	AML-31-31A	Cajueiro	Jazida Ativa	2° 37' 13,474" S	44° 20' 43,784" W
32	574802	9720444	AML-32-32A	Praia do Bom Fim	Jazida Ativa	2° 31' 44,509" S	44° 19' 37,705" W
33	572585	9719204	AML-33-33A	Porta da espera. (direita)	Jazida Ativa	2° 32' 24,930" S	44° 20' 49,474" W
34	571875	9718958	AML-34-34A	Porta da espera. (esquerda)	Jazida Abandonada	2° 32' 32,953" S	44° 21' 12,461" W
35	587272	9711378	AML-40-40A	SANTA BARBARA	Jazida Ativa	2° 39' 39,528" S	44° 12' 53,735" W
36	598109	9710110	AML-41-41A	JUSSATUBA	Jazida Ativa	2° 37' 20,588" S	44° 7' 2,781" W
37	599053	9709814	AML-42-42A	BOM JARDIM	Jazida Ativa	2° 37' 30,321" S	44° 9' 17,355" W
38	595083	9711852	AML-44-44A	SANTANA	Jazida Ativa	2° 38' 23,928" S	44° 8' 40,484" W
39	594427	9711812	AML-45-45A	SANTANA	Jazida Ativa	2° 38' 25,244" S	44° 9' 2,050" W
40	597331	9715883	AML-46-46A	CAMPINA	Jazida Ativa	2° 34' 12,604" S	44° 7' 28,104" W
41	597425	9715758	AML-47-47A	CAMPINA	Jazida Ativa	2° 34' 16,673" S	44° 7' 25,057" W
42	601091	9716840	AML-48-48A	JURARÁ	Jazida Ativa	2° 33' 41,060" S	44° 5' 28,375" W
43	602479	9720235	AML-49-49A	PAU DEITADO	Jazida Ativa	2° 31' 50,762" S	44° 4' 41,801" W
44	608458,916	9722948,4	AML-50-50A	PRAIA DE PANAQUATIRA	Jazida Ativa	2° 30' 22,258" S	44° 1' 28,018" W
45	599814	9723455	AML-51-51A	IGUAIBA	Jazida Ativa	2° 30' 5,961" S	44° 8' 7,873" W
46	606601	9729305	AML-52-52A	VILA PARAIBA	Jazida Abandonada	2° 28' 55,436" S	44° 5' 42,520" W
47	595720	9725592	AML-53-53A	PORTO MOCAJITUBA	Jazida Ativa	2° 28' 58,457" S	44° 8' 20,478" W

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS - MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward de
Oliveira

Jazida/ponto: 01

Ficha: 01 data 24/02/2010

Amostra: AM 01 - 01A

Local: Outeiro da Ponta da Pedra (Igaráú)

Descrição: Colina próximo ao mangue

Coordenadas: N0576728 E9694884

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE

ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON

ARENITO FINO FERRUGIONOSO
MARRON

CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON

CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)

INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não
espessura_____

Distância da superfície_____

Lateritas encontradas em superfície

GEOMORFOLOGIA: Colina

topo da colina

base da colina

encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco (

)anguloso sub -

anguloso

Esfericidade

Alta esfericidade

media esfericidade

baixa esfericidade

Arredondamento

arredondado

sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO: laterita retirada em
superfície.**

Cor: Marrom

Granulometria e textura: Areno-argiloso (areia
fina)

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA
LATERÍTICA: Arenito médio Ferruginoso Marron**

OBSERVAÇÕES

Am 01-01B: encosta Am

01-01C: topo Am 01-01D:

encosta

Am 01 01B - 01D: cimento semelhante ao da

Am 01 01A

Am 01- 01C

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO: laterita retirada em
superfície**

Cor: amarelado

Granulometria e textura: argilo-arenoso

Consistência seca: dura

Consistência úmida: firme

Consistência molhada (plasticidade e
pegajosidade): pegajosa e plástica



Figura A1.1 - Amostra do arenito médio ferruginoso.



Figura A1.2 - Lateritas encontradas na superfície do sopé da colina.



Figura A1.3 - Lateritas encontradas na superfície.



Figura A1.4 - Imagem panorâmica da área de ocorrência de laterita.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira
Jazida/ponto : 02
Ficha: 02 data 24/02/2010
Amostra: Am 02-02A
Local: Copal (Igarau)
Descrição: Jazida abandonada
(comunitária) mas com ocorrência no topo
da Colina.
Coordenadas: N 0573967E9696298

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE
() ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON
(x) ARENITO FINO FERRUGIONOSO
MARRON
() CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON
() CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)
() INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim () não ()
espessura _____
Distancia da superfície _____

GEOMORFOLOGIA

(x) topo da colina
() base da colina
() encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco
() anguloso
(x) sub-anguloso

Esfericidade
() alta esfericidade
(x) media esfericidade
() baixa esfericidade

Arredondamento
(x) arredondado
() sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO: Amostra retirada em
superfície.**

Cor: Marrom
Granulometria e textura: areno - argilosa
(areia fina)

Consistência seca: solta
Consistência úmida: firme
Consistência molhada (plasticidade e
pegajosidade): não plástica, pegajosa.

OBSERVAÇÕES

Am 02-02B : encosta
Am 02-02C: base

Descrição dos cimentos das amostras 02B
e 02C (semelhantes)

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO: Amostra retirada em
superfície**

Cor: Marrom acinzentado

Granulometria e textura: areia de fina a
media

Consistência seca: solta
Consistência úmida: firme
Consistência molhada (plasticidade e
pegajosidade): não plástica, pegajosa.



Figura A1.5 - Amostra (Am 02-02), jazida abandonada.



Figura A1.6 - Jazida abandonada com a retirada da primeira camada do solo.



Figura A1.7 - Amostra (Am 02-02B), da encosta da colina.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira

Jazida / ponto: 03

Ficha: 03 data: 24/02/10

Amostra: Am I03-03A

Local: Vila Samara

Descrição: Jazida ativa (pequeno porte)

Coordenadas: N0572952 E9697224

OBSERVAÇÕES

Cavas na encosta próximo a um curso
d'água.

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE

() ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO

MARRON

(x) ARENITO FINO FERRUGINOSO

MARRON

() CONGLOMERADO FERRUGINOSO

MARRON

() CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)

() INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim () não () espessura

Distancia da superfície Cavas de 1,60m de
profundidade

GEOMORFOLOGIA

() topo da colina

() base da colina

(x) encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

(x) anguloso

() sub-anguloso

Esfericidade

() Alta esfericidade

() media esfericidade

(x) baixa esfericidade

Arredondamento

() arredondado

(x) sub- arredondado



Figura A1.8 - Carrada pronta para o carregamento.



Figura A1.9 - Cava da extração de lateritas.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

**Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira**

**Jazida /ponto : 4
Ficha :04 data 02/03/2010
Amostra : 04-04A
Local: Vila Rica – Cajueiro (entrada do
Igaráú)
Descrição: Jazida ativa
Coordenadas N0574404 E 9696904**

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE

- ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON**
 **ARENITO FINO FERRUGIONOSO
MARRON**
 **CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON**
 **CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)**
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

**Stone lines sim() não()
espessura Cavas_____**
Distancia da superfície___20 cm_____
Tamanho da cava: 1,10 m

GEOMORFOLOGIA

- topo da colina**
 base da colina
 encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco
 Anguloso
 sub-anguloso

Esfericidade
 Alta esfericidade
 media esfericidade
 baixa esfericidade

Arredondamento
 arredondado
 sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO.**

Cor: marrom amarelado

**Granulometria e textura: argilo-arenoso
(areia fina)**

Consistência seca: não registrado
Consistência úmida: firme

**Consistência molhada (platicidade e
pegajosidade): plástica e pegajosa.**



Figura A1.10 – Amostra (Am 04-04), na área do Vila Rica.



Figura A1.11 - Laterita in situ. Arenito médio ferruginoso marrom.



Figura A1.12 - Carrada de piçarra pronta para o despacho.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira

Jazida / ponto 05

Ficha: 05 data 02/03/2010

Amostra: Am 04-04B

Local :Vila Rica – Cajueiro (entrada do
Igarau)

Descrição: amostra de área abandonada na
mesma jazida.

Coordenadas N 0574192E 9696868

Fotos 3828

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE

ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON

ARENITO FINO FERRUGIONOSO
MARRON

CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON

CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)

INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Geomorfologia

topo da colina

base da colina

encosta

Observações da área

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

Anguloso

sub-anguloso

Esfericidade

Alta esfericidade

média esfericidade

baixa esfericidade

-Arredondamento

arredondado

sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO.**

Cor: avermelhado

Granulometria e textura: areno-argiloso
(areia fina)

Consistência seca: muito duro

Consistência úmida: friável

Consistência molhada (plasticidade e
pegajosidade): ligeiramente
plástica/ligeiramente pegajosa.



Figura A1.13 - Amostra (Am 04 - 04B) ainda na área da Vila Rica.



Figura A1.14 - Formação de processos erosivos com o abandono da área de extração.



Figura A1.15 - Formação de voçorocas.



Figura A1.16 - Processos erosivos na antiga área de extração.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE
S. LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira

Jazida / ponto : 6

Ficha n.06 data 02/03/2010

Amostra : Am 04-04C

Local: Vila Rica- Cajueiro (entrada do
Igarau)

Descrição: Jazida ativa manual.

Coordenadas N 0574461E 9696960

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE

ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON

ARENITO FINO FERRUGINOSO
MARRON

CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON

CONCREÇÃO MARRON (Siltito
Argilito Concrecionado)

INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim(x) não() espessura_____

Distancia da superfície_____40
cm_____

Cava: 1,70m

Geomorfologia

topo da colina

base da colina

encosta

Observações da área

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

Anguloso

sub-anguloso

Esfericidade

Alta esfericidade

media esfericidade

baixa esfericidade

Arredondamento

arredondado

sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO.**

Cor: marrom

Granulometria e textura: areno-argiloso
(areia fina)

Consistência seca: solta

Consistência úmida: friável

Consistência molhada (plasticidade e
pegajosidade): ligeiramente pegajosa e
ligeiramente plástica.



Figura A1.17 - Amostra (Am 104-04C), área de extração ativa.



Figura A1.18 - Veículo utilizado no transporte de lateritas, cuja dimensão total é de 6m³.



Figura A1.19 - Arenito médio ferruginoso laterita in situ.



Figura A1.20 - Cava de extração do arenito médio ferruginoso.



Figura A1.21 - Caminhão basculante, capacidade de 6m³ utilizado no transporte de lateritas.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

**Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira**

Jazida /ponto: 07

Ficha: 07 data 02/ 03/2010

Amostra : 05-05A

Local: Rua da Cerâmica, Estiva. Prox.

Cerâmica São Luís.

Descrição: Jazida ativa

Coordenadas N 0573401E 9696106

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE

**ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON**

**ARENITO FINO FERRUGINOSO
MARRON**

**CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON**

**CONCREÇÃO MARRON (Siltito
Argilito Concrecionado)**

INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim(x) não ()

Distancia da Superfície : 20cm

Cava: 2,20m

Geomorfologia

topo da colina

base da colina

encosta

Observações da área

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

Anguloso

sub-anguloso

Esfericidade

Alta esfericidade

media esfericidade

baixa esfericidade

Arredondamento

arredondado

sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO.**

Cor: alaranjado

**Granulometria e textura: areno-argilosa
(areia fina)**

Consistência seca: solta

Consistência úmida: friavel

**Consistência molhada (plasticidade e
pegajosidade): ligeiramente pegajosa e
ligeiramente plástica.**



Figura A1.22 - Presença de line stone.



Figura A1.23 - Carrada de lateritas prontas para o despacho.



Figura A1.24 - Visão panorâmica da área de extração e dos processos erosivos.

CADASTRO DE PONTOS VISITADOS RELACIONADOS A LATERITA DA ILHA DE S. LUIS – MA.

**Tese de doutorado
geólogo José Edward de Oliveira**

Jazida / ponto : 08

Ficha : 8 data 02/03/2010

Amostra: Am 06-06A

Local: BR 135 Km 19 (lado direito- saída de São luis)

**Descrição: Corte de estrada
(colina) com ocorrência.**

Coordenadas: N 0574730 E9698638

CARACTERIZAÇÃO - GEOLÓGICO- GEOTÉCNICA

UNIDADE DE ANÁLISE

- ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO MARRON
- ARENITO FINO FERRUGINOSO MARRON
- CONGLOMERADO FERRUGINOSO MARRON
- CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito Concrecionado)
- INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim (x) não () espessura

Descrição: crosta aflorada na base, semelhante a Stone line, mas sem grande extensão

GEOMORFOLOGIA

() topo da colina (x) base da colina () encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

- anguloso
- sub-anguloso

Esfericidade

- Alta esfericidade
- media esfericidade
- baixa esfericidade

Arredondamento () arredondado

(x) sub- arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO.

Cor: marrom

Granulometria e textura: arenoso (areia fina) Consistência seca: solta

Consistência úmida: solta Consistência molhada (plasticidade e pegajosidade): não pegajosa e não plástica.

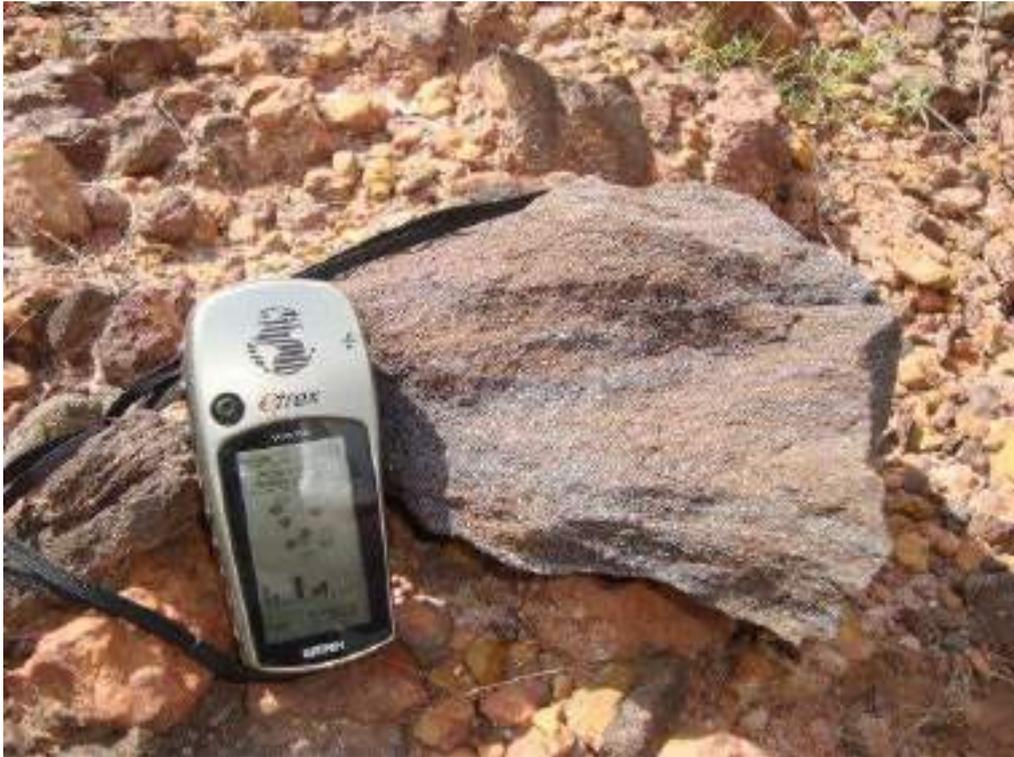


Figura A1.25 - Amostra (Am 06-06), área de ocorrência.



Figura A1.26 - Laterita aflorando na superfície.



Figura A1.27 - Ocorrência de lateritas na superfície.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE
S.LUIS – MA.
Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira**

**Jazida / Ponto : 9
Ficha: 9 data 02/03/2010
Amostra: Am 06-06B
Local: BR 135 Km 19 - lado direito- saída
de São Luis)
Descrição: Corte de estrada (colina) com
ocorrência.
Coordenadas N 0574725 E9698680**

**CARACTERIZAÇÃO – GEOLÓGICO -
GEOTÉCNICA**

**UNIDADE DE ANÁLISE
() ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON
(x) ARENITO FINO FERRUGIONOSO
MARRON
() CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON
() CONCREÇÃO MARRON (Siltito
Argilito Concrecionado)
() INDEFINIDA (TIPO NOVO)**

**Stone lines sim(x) não() espessura____
Distancia da superfície: próximo a
superfície**

Geomorfologia

**(x)topo da colina
()base da colina
() encosta**

Observações da área

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

**Estrutura do bloco
(x)Anguloso
()sub-anguloso**

**Esfericidade
() Alta esfericidade
() media esfericidade
() baixa esfericidade**

**Arredondamento
() arredondado
(x) sub- arredondado**

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO.**

Cor: alaranjado

**Granulometria e textura: argilo-arenosa
(areia fina)**

Consistência seca: ligeiramente dura

Consistência úmida: firme

**Consistência molhada (plasticidade e
pegajosidade): muito pegajosa e plástica**



Figura A1.28 - Amostra (Am 106-06B), topo da colina.



Figura A1.29 - Topo da colina.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE
S.LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira

Jazida / Ponto: 10

Ficha : 10 data 0203/2010

Amostra: Am 06- 06C

Local: BR 135 Km 19 - lado direito- saída
de São Luís)

Descrição: Corte de estrada (colina) com
ocorrência.

Coordenadas: N 0574725 E9698662

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE

() ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON

() ARENITO FINO FERRUGINOSO
MARRON

() CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON

() CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)

(x) INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim () não (x) espessura__

Distancia da superfície_____

Geomorfologia

() topo da colina

() base da colina

(x) encosta: escarpa de erosão-voçoroca

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

(x) Angularoso

() sub-angularoso

Esfericidade

() Alta esfericidade

() media esfericidade

(x) baixa esfericidade

Arredondamento

() arredondado

(x) sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO.**

Cor: avermelhado

Granulometria e textura: areno argilosa
(areia fina)

Consistência seca: macio

Consistência úmida: friavel

Consistência molhada (platicidade e
pegajosidade): ligeiramente pegajosa e
ligeiramente plástica.



Figura A1.30 - Amostra (Am 06-06C), encosta da colina na BR-135 - Voçorocamento da colina.



Figura A1.31 - Laterita superficial

Voçorocamento (erosão).

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE
S.LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward de
Oliveira

Jazida / Ponto :11

Ficha : 11 data 06/03/2010

Amostra: Am I11-11A Local: Itapera

Descrição: Jazida abandonada de piçarra
com ocorrência

Coordenadas: N 0581833 E9404550

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA
UNIDADE DE ANÁLISE**

ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO MARRON

ARENITO FINO FERRUGIONOSO MARRON

CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON

CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)

INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não espessura ___
Geomorfologia

topo da colina

base da colina

encosta

Observações da área

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

Anguloso

sub-anguloso

Esfericidade

Alta esfericidade

media esfericidade

baixa esfericidade

Arredondamento

arredondado

sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO.**

Cor: alaranjada

Granulometria e textura: silto argilosa

Consistência seca: dura

Consistência úmida: muito firme

Consistência: molhada

Plasticidade e pegajosidade: muito plástica e
muito pegajosa.

OBSERVAÇÕES

Jazida abandonada de piçarra com superfície
exposta com grande quantidade de lateritas
milimétricas e centimétricas sem vegetação
e sem crosta laterítica.

A base da colina o terreno apresenta
lateritas, mas com latente antropização e
com processos erosivos impossibilitando
identificar a face de ocorrência assim como
o cimento. As lateritas encontradas na base
se assemelham ao topo e a encosta.



Figura A1.32 - Pequeno bloco de laterita concrecionada.



Figura A1.33 - Vista panorâmica da jazida.



Figura A1.34 - Acúmulo de água em face a escavação da jazida.

CADASTRO DE PONTOS VISITADOS RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S. LUIS – MA.
Tese de doutorado - geólogo José Edward de Oliveira

Jazida / Ponto: 12
Ficha: 12 data 06 /03/2010
Jazida: 12A
Amostra: 12 – 12A
Local: Arraial (Quebra Pote)
Descrição:
Jazida
Coordenadas: N 584973 E
9699134

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-

GEOTÉCNICA UNIDADE DE ANÁLISE
 ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO MARRON
 ARENITO FINO FERRUGIONOSO
MARRON CONGLOMERADO
FERRUGINOSO MARRON
 CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado) INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não espessura _____
Distancia da superfície _____ 10 cm _____ Cava: 1m

Geomorfologia

topo da
colina base
da colina
encosta

Observações da área

CARACTERÍSTICAS DA

AMOSTRA

Estrutura do bloco
 anguloso
 sub-
anguloso

Esfericidade
 alta esfericidade
 media
esfericidade
baixa esfericidade

Arredondamento
 arredondado
 sub- arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO.

Cor: marrom-acinzentado

Granulometria e textura: arenoso (areia

fina) Consistência seca: solto

Consistência úmida: friável

Consistência molhada (plasticidade e pegajosidade): não plástica e não pegajosa

OBSERVAÇÕES: R\$150,00 a carrada e jazida exploradas através de cavas manuais



Figura A1.35 – Aspectos da ocorrência da laterita, arenito fino ferruginoso.



Figura A1.36 - Cavas de extração de lateritas em curso.

CADASTRO DE PONTOS VISITADOS RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S. LUIS – MA.
Tese de doutorado - geólogo José Edward de Oliveira

Jazida / Ponto :13
Ficha: 13 data 06/03/2010
Amostra: Aml13-13A Local: Quebra pote
Descrição:
Jazida
Coordenadas N 0586373
E9702920

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-

GEOTÉCNICA UNIDADE DE ANÁLISE
() ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO MARRON
(X) ARENITO FINO FERRUGIONOSO
MARRON () CONGLOMERADO
FERRUGINOSO MARRON
() CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado) () INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim (x) não () espessura____
Distancia da superfície____50 cm_____ Cava: 2,10 m

GEOMORFOLOGIA

() topo da
colina () base
da colina
(x) encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do
bloco ()
anguloso
(x)sub-anguloso

Esfericidade
() Alta esfericidade
(x) media
esfericidade () baixa
esfericidade

Arredondament
o ()
arredondado
(x) sub- arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO.

Cor: marrom-amarelado

Granulometria e textura: argilo-arenosa (areia

fina) Consistência seca: dura

Consistência úmida: friável

Consistência molhada (plasticidade e pegajosidade): plástica e ligeiramente pegajosa.



Figura A1.37 - Bloco de arenito médio ferruginoso envolto por material terroso.



Figura A1.38 - Vista da cava e o posicionamento do stone line na altura do ombro do estudante.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS - MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward de
Oliveira

Jazida / ponto: 14

Ficha: 14 data 09 /03/2010

Amostra: Am 14-14A

Local: Maracanã. Fazenda Bacuri

Descrição: jazida

Coordenadas: N 0577129 E9711938

OBSERVAÇÕES

O Preço da carrada (caçamba de 6m3) é
R\$180,00

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

UNIDADE DE ANÁLISE

ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO MARRON

ARENITO FINO FERRUGINOSO MARRON

Obs: ocorrência das duas litologias na
mesma cava. Primeiro a média/grossa,
depois a fina

CONGLOMERADO FERRUGINOSO MARRON

CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito

Concrecionado)

INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não espessura_____

Distancia da superfície___1,35 m_____

Cava: 2,90m

GEOMORFOLOGIA

topo da colina

base da colina

encosta

Observações da área

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

Anguloso

sub-anguloso

Esfericidade

Alta esfericidade

media esfericidade

baixa esfericidade

Arredondamento

arredondado

sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO.**

Cor: amarelado

Granulometria e textura: areia media a fina

Consistência seca: macia

Consistência úmida: muito friável

Consistência molhada (plasticidade e
pegajosidade): não plástica e não pegajosa



Figura A1.39 - Cava de extração de laterita.



Figura A1.40 - Materiais dos trabalhadores de extração.



Figura A1.41 - Laterita in situ.



Figura A1.42 - Carrada de lateritas.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward de
Oliveira

Jazida / Ponto: 15

Ficha: 15 data: 09 /03/2010

Amostra: Aml 15-15A

Local: Bairro Maracanã

Descrição: Voçoroca próximo a estrada
(colina) com ocorrência. Segundo relatos
houve extração de lateritas primeiro e
depois areia.

Coordenadas: N 577548 E9710570

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

UNIDADE DE ANÁLISE

ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON

ARENITO FINO FERRUGINOSO MARRON

CONGLOMERADO FERRUGINOSO MARRON

CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)

INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não espessura_____

Distancia da superfície____na superfície até
20cm_____

GEOMORFOLOGIA

topo da colina

base da colina

encosta

Observações da área

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

Anguloso

sub-anguloso

Esfericidade

alta esfericidade

media esfericidade

baixa esfericidade

Arredondamento

arredondado

sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO.**

Cor: marrom amarelado

Granulometria e textura: areia fina argilosa

Consistência seca: macia

Consistência úmida: firme

**Consistência molhada (plasticidade e
pegajosidade): plástica e lig. Pegajosa**



Figura A1.43 - Amostra de área de ocorrência, no topo da colina.



Figura A1.44 - Área de ocorrência.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward de
Oliveira

Jazida / ponto: 16

Ficha: 16 data: 09 /03/2010

Amostra: Am 16-16A

Local: Bairro Maracanã, na rua menino Jesus

Descrição: Jazida manual

Coordenadas: N 0578046 E9708818

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

UNIDADE DE ANÁLISE

ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO MARRON

ARENITO FINO FERRUGINOSO MARRON

CONGLOMERADO FERRUGINOSO MARRON

CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito

Concrecionado)

INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim() não() espessura _____

Distancia da superfície ___30 cm___

Cava: 1,35 m

GEOMORFOLOGIA

topo da colina

base da colina

encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

Anguloso

sub-anguloso

Esfericidade

Alta esfericidade

media esfericidade

baixa esfericidade

Arredondamento

arredondado

sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO.**

Cor: alaranjada

Granulometria e textura: areno argilosa
(areia fina)

Consistência seca: macia

Consistência úmida: firme

Consistência molhada (plasticidade e
pegajosidade): lig. Plástica e lig pegajosa



Figura A1.45 - Concreção na área de extração.



Figura A1.46 - Área de extração da concreção e carrada de lateritas.



Figura A1.47 - Presença de stone line.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado – geólogo

José Edward de Oliveira

Jazida / ponto: 17

Ficha: 17 data: 09 /03/2010

Amostra: Am 17-17A

Local: Bairro Maracanã na rua Mochel (Hotel
Fazenda)

Descrição: jazida manual

Coordenadas: N 0579333 E9709958

OBSERVAÇÕES

R\$ 170,00 carrada

R\$ 35,00 arrendamentos

2 pessoas tiram uma carrada por dia quando
a pedreira é boa.

Contato Sr. Monteles : genro do Administrador

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

UNIDADE DE ANÁLISE

() ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO

MARRON

(x) ARENITO FINO FERRUGINOSO MARRON

() CONGLOMERADO FERRUGINOSO MARRON

() CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)

() INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim (X) não () espessura____
Distancia da superfície____50
cm_____

Cava: 1,90 m

GEOMORFOLOGIA

(x) topo da colina

() base da colina

() encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

() Anguloso

(x) sub-anguloso

Esfericidade

() Alta esfericidade

(x) media esfericidade

() baixa esfericidade

Arredondamento

(x) arredondado

() sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO.**

Cor: marrom alaranjado

Granulometria e textura: arenosa (areia
fina)

Consistência seca: lig. dura

Consistência úmida: friável

Consistência molhada (plasticidade e
pegajosidade): Plástica e pegajosa



Figura A1.48 - Amostra 100-101, próximo ao Hotel Fazenda.



Figura A1.49 - Presença de stone line.



Figura A1.50 - Jazida ativa no bairro Maracanã expondo cava de extração.



Figura A1.51 - Retirada da vegetação e do primeiro horizonte do solo.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward de
Oliveira

Jazida / Ponto: 18

Ficha: 18 data: 09 /03/2010

Amostra: Am 18-18A

Local: Ribeira

Descrição: Jazida manual

Coordenadas: N 0582882 E9707202

OBSERVAÇÕES

R\$ 180,00 carrada grande

R\$150,00 matacão

1 pessoa leva 4 dias para retirar um carrada.

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

UNIDADE DE ANÁLISE

- ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO MARRON
- ARENITO FINO FERRUGINOSO MARRON
- CONGLOMERADO FERRUGINOSO MARRON
- CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)
- INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não espessura _____

Distancia da superfície _____ 80cm _____

Cava: 2,65 m

GEOMORFOLOGIA

- topo da colina
- base da colina
- encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

- Anguloso
- sub-anguloso

Esfericidade

- Alta esfericidade
- media esfericidade
- baixa esfericidade

Arredondamento

- arredondado
- sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO.**

Cor: amarelado

Granulometria e textura: areia fina argilosa

Consistência seca: lig. dura

Consistência úmida: firme

Consistência molhada (plasticidade e
pegajosidade): plástica e pegajosa



Figura A1.52 - Amostra 100 - 111, na área da Ribeira.



Figura A1.53 - Cava atingindo área Industrial e dando início ao processo erosional.



Figura A1.54 - Aspectos da área de extração na Ribeira.

CADASTRO DE PONTOS VISITADOS RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S. LUIS – MA.

Tese de doutorado - geólogo José Edward de

Oliveira Jazida /ponto: 19

Ficha:19 data:12

/03/2010 Amostra: Am I19-19b

Local: Vila Maracujá

Descrição: jazida

manual do Maracujá

Coordenadas: N 0582271 E9708002

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-

GEOTÉCNICA UNIDADE DE ANÁLISE

() ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO MARRON

() ARENITO FINO FERRUGINOSO
MARRON

(x) CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON

() CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado) () INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim (x) não () espessura ____

Distancia da superfície _____ 1 m _____ Cava: 2,40 m

GEOMORFOLOGIA

(x) topo da
colina () base
da colina ()
encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do
bloco ()
anguloso
(x) sub-anguloso

Esfericidade
() Alta esfericidade
(x) media
esfericidade ()
baixa esfericidade

Arredondament
o ()
arredondado
(x) sub- arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO.

Cor: amarelado

Granulometria e textura: areno-argilosa (areia

media) Consistência seca: macia

Consistência úmida: friavel

Consistência molhada (plasticidade e pegajosidade): não plástica e não pegajosa

OBSERVAÇÕES R\$ 180,00 a carrada e R\$ 40,00 o arrendamento, sendo que 2 pessoas extraem 2 carradas por dia. Nesta jazida foram coletadas amostras para estudo da tese.



Figura A1.55 - Conglomerado ferruginoso laterítico extraído da cava.



Figura A1.56 - Conglomerado ferruginoso laterítico posicionado dentro da cava.



Figura A1.57 - Stone line.



Figura A1.58 - Blocos de conglomerado ferruginoso extraídos aguardando carregamento.



Figura A1.59 - Vista da área mostrando as sequelas da exploração.

CADASTRO DE PONTOS VISITADOS RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S. LUIS – MA.

Tese de doutorado - geólogo José Edward de

Oliveira Jazida /ponto: 20

Ficha:20 data:12

/03/2010 Amostra: Am 20-20a

Local: Tibiri

Descrição: jazida de areia abandonada (em recuperação) presença de lateritas em superfície após serem expostas pela ação antrópica

Coordenadas: N 0585271 E97088002

Fotos: 100-146

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-

GEOTÉCNICA UNIDADE DE ANÁLISE

() ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO

MARRON () ARENITO FINO

FERRUGINOSO MARRON ()

CONGLOMERADO FERRUGINOSO MARRON

() CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito

Concrecionado) (x) INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim() não() espessura_____

Distancia da superfície_____superfície_____

GEOMORFOLOGIA

() topo da colina

(x) base da

colina ()

encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

(x) anguloso

() sub-anguloso

Esfericidade

() alta esfericidade

() media esfericidade

(x) baixa esfericidade

Arredondament

o ()

arredondado

(x) sub- arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO.

Cor: marrom alaranjado

Granulometria e textura: areia fina a media

argilosa Consistência seca: dura

Consistência úmida: friavel

Consistência molhada (plasticidade e pegajosidade): ligeiramente plástica e não pegajosa



Figura A1.60 - Arenito estratificado em processo de laterização.



Figura A1.61 - Área onde foi explorado o arenito friável como sendo areia para construções.

CADASTRO DE PONTOS VISITADOS RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S. LUIS – MA.

Tese de doutorado - geólogo José Edward de

Oliveira Jazida / Ponto : 21

Ficha: 21

data:12/03/201

0 Amostra: Am 21-21a

Local: Tibiri (atrás do bar)

Descrição: jazida manual de pequeno

porte Coordenadas: N 583994 E9710222

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-

GEOTÉCNICA UNIDADE DE ANÁLISE

() ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO

MARRON

() ARENITO FINO FERRUGIONOSO

MARRON

(x) CONGLOMERADO FERRUGINOSO

MARRON

() CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito

Concrecionado) () INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim (X) não() espessura_____

Distancia da superfície_____40 cm_____ Cava: 90 cm

GEOMORFOLOGIA

(x) topo da

colina () base

da colina ()

encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do

bloco ()

anguloso

(x) sub-

anguloso

Esfericidade

(x) alta esfericidade

() media

esfericidade ()

baixa esfericidade

Arredondamento

(x) arredondado

() sub- arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO.

Cor: amarelo acinzentado

Granulometria e textura: silto-

arenoso Consistência seca: dura

Consistência úmida: firme

Consistência molhada (plasticidade e pegajosidade): plástica e pegajosa



Figura A1.62 - Blocos de conglomerado ferruginoso laterítico marrom extraídos da cava.



Figura A1.63 - Stone line.



Figura A1.64 - Bloco de conglomerado ferruginoso laterítico marrom dentro da cava.

CADASTRO DE PONTOS VISITADOS RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S. LUIS – MA

Tese de doutorado - geólogo José Edward de

Oliveira Jazida / Ponto : 22

Ficha: 22 data:12

/03/2010 Amostra: Am 22 - 22a

Local: BR 135 (direção Porto)

Descrição: corte de estrada (colina

topo) Coordenadas: N 0578100

E9704654 Fotos: 100-0170

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-

GEOTÉCNICA UNIDADE DE ANÁLISE

() ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO

MARRON (x) ARENITO FINO

FERRUGINOSO MARRON ()

CONGLOMERADO FERRUGINOSO MARRON

() CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito

Concrecionado) () INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim (x) não () espessura _____

Distância da superfície _____ próximo a superfície _____

GEOMORFOLOGIA

(x) topo da

colina () base

da colina ()

encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

(x) anguloso

() sub-anguloso

Esfericidade

() Alta esfericidade

() media esfericidade

(x) baixa esfericidade

Arredondament

o ()

arredondado

(x) sub- arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO.

Cor: amarelo acinzentado

Granulometria e textura: areno-argilosa (areia

fina) Consistência seca: ligeiramente dura

Consistência úmida: friavel

Consistência molhada (plasticidade e pegajosidade): não plástica e não pegajosa



Figura A1.65 - Arenito fino ferruginoso marrom.



Figura A1.66 - Stone line acima do talude escavado na BR 135.

CADASTRO DE PONTOS VISITADOS RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S. LUIS – MA.

Tese de doutorado - geólogo José Edward de

Oliveira Jazida /Ponto: 23

Ficha : 23 data12 /03/2010

Amostra: Am 23-23a Local: Porto Grande

Descrição: jazida – Mineradora

Paraíba. Coordenadas: N 583146

E9704566

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-

GEOTÉCNICA UNIDADE DE ANÁLISE

() ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO

MARRON (x) ARENITO FINO

FERRUGINOSO MARRON ()

CONGLOMERADO FERRUGINOSO MARRON

() CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito

Concrecionado) () INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim (x) não() espessura__

Distancia da superfície_____1 m_____ (aparece em corte a 1 m da superfície)

GEOMORFOLOGIA

(x) topo da

colina () base

da colina ()

encosta

Observações da área

CARACTERÍSTICAS DA

AMOSTRA

Estrutura do bloco

(x) anguloso

() sub-anguloso

Esfericidade

() alta esfericidade

(x) media

esfericidade ()

baixa esfericidade

Arredondament

o ()

arredondado

(x) sub- arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO.

Cor: marrom

Granulometria e textura: areno-

argilosa Consistência seca: macia

Consistência úmida: friável

Consistência molhada (plasticidade e pegajosidade): não plástica e não pegajosa

OBSERVAÇÕES : Mineradora Paraíba, sendo o processo de extração da laterita efetuado manualmente após o maquinário expor as rochas na superfície para a extração de outros materiais (areia e piçarra)

Preço : R\$170,00 a carrada e20 a 30 carradas por semana

Preço do arrendamento: R\$30,00



Figura A1.67 - Amostra da jazida.



Figura A1.68 - Aspectos gerais da jazida

CADASTRO DE PONTOS VISITADOS RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S. LUIS – MA.

Tese de doutorado - geólogo José Edward de

Oliveira Jazida / Ponto : 24

Ficha: 24 data:

12/03/2010 Amostra: Am 24-

24a

Local: Porto Grande (Mineradora Porto Grande)

Descrição: Área de extração de areia com ocorrência em Stone line exposta em

corte. Coordenadas: N 574787 E9706772

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-

GEOTÉCNICA UNIDADE DE ANÁLISE

() ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO

MARRON

(x) ARENITO FINO FERRUGIONOSO

MARRON

() CONGLOMERADO FERRUGINOSO

MARRON

() CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito

Concrecionado) () INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim(x) não () espessura__70cm__ Distancia da superfície_____1,40 m_____

GEOMORFOLOGIA

() topo da

colina () base

da colina (x)

encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do

bloco ()

anguloso

(x) sub - anguloso

Esfericidade

() alta esfericidade

(x) media

esfericidade ()

baixa esfericidade

Arredondament

o ()

arredondado

(x) sub- arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO.

Cor: amarelo-alaranjado

Granulometria e textura: areia media

(arenosa) Consistência seca: não identificado

Consistência úmida: muito friável

Consistência molhada (plasticidade e pegajosidade): não plástica e não pegajosa

OBSERVAÇÕES: Área com extração de areia com ocorrência de laterita. A extração e comercialização da areia se deu apenas no início da extração.



Figura A1.69 - Arenito fino ferruginoso.



Figura A1.70 - Aspecto geral da escavação sendo a sotoposto ao arenito fino ferruginoso.



Figura A1.71 - Horizonte laterítico exposto no primeiro plano da foto entre horizontes de areia média.

CADASTRO DE PONTOS VISITADOS RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.LUIS – MA.

Tese de doutorado - geólogo José Edward de

Oliveira Jazida / Ponto : 25

Ficha: 25 data: 16

/03/2010 Amostra: Am

I25-25a

Local: Taim

Descrição: jazida manual

Coordenadas: N532934

E9704472

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-

GEOTÉCNICA UNIDADE DE ANÁLISE

ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO

MARRON () ARENITO FINO

FERRUGINOSO MARRON ()

CONGLOMERADO FERRUGINOSO

MARRON

() CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito

Concrecionado) () INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não espessura _____ Distancia da superfície _90 cm _____ Cava: 2 m

GEOMORFOLOGIA

() topo da colina

base

da colina (

) encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

anguloso

() sub-anguloso

Esfericidade

() Alta esfericidade

media

esfericidade (

) baixa

esfericidade

Arredond

amento (

)

arredond

ado

sub- arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO

Cor: amarelado

Granulometria e textura: argilo-arenosa

(areia fina) Consistência seca: lig. dura

Consistência úmida: firme

Consistência molhada (plasticidade e pegajosidade): plástica e pegajosa

OBSERVAÇÕES

Jazida ativa com extração manual.

Preço: R\$120,00 a R\$150,00 a carrada da jazida. O matacão é britado pelas mulheres após a retirada pelos homens.



Figura A1.72 - Arenito médio ferruginoso envolto por material terroso.



Figura A1.73 - Detalhe do stone line.



Figura A1.74 - Cava da extração da laterita expondo o stone line.

CADASTRO DE PONTOS VISITADOS RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S. LUIS – MA.

Tese de doutorado - geólogo José Edward de Oliveira Jazida / Ponto: 26

Ficha: 26

data:16/03/2010

Amostra: Am 26-26a

Local: BR 135 próxima a empresa

Yara Descrição: área de ocorrência (corte de estrada) Coordenadas: N 576449 E9708578

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-

GEOTÉCNICA UNIDADE DE

ANÁLISE

() ARENITO MÉDIO

FERRUGINOSO MARRON ()

ARENITO FINO FERRUGIONOSO

MARRON () CONGLOMERADO

FERRUGINOSO MARRON

(x) CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito Concrecionado) com presença de areia fina em camadas

() INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim (x) não () espessura 1,60 m Distancia da superfície 45 cm C

GEOMORFOLOGIA

() topo

da colina

() base

da colina

(x) encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

()

anguloso

(x) sub-anguloso

Esfericidade

() alta esfericidade

() media esfericidade

(x) baixa esfericidade

Arredondamento

()arredo

ndado

(x) sub- arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO.

Cor: alaranjado

Granulometria e textura: silto-argilo-arenoso

Consistência seca: dura

Consistência úmida: friável

Consistência molhada (plasticidade e pegajosidade): plástica e pegajosa



Figura A1.75 - Concreção laterítica marron.



Figura A1.76 - Detalhe da amostra caracterizando uma estratificação do material e com quartzo.



Figura A1.77 - Outro detalhe da amostra por um plano expondo um plano de partição da mesma.



Figura A1.78 - Detalhe do stone line.



Figura A1.79 - Aspectos da continuidade do stone line ao longo do talude.

**CADASTROS DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DA ILHA DE S.
LUIS-MA**

Tese- geólogo José Edward
Jazida/ponto: 27
Ficha: 27 data: 20/03/2010
Preenchida por: Afonso Júnior
Amostra: Am 27 – 27A
Local: Rio dos Cachorros
Coordenadas: N 0575604 e
E9706838

OBSERVAÇÃO

**As lateritas são retiradas por
processo mecanizado. São
vendidas por caçamba cheia
Preço: R\$ 200,00.**

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE

- ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON
 ARENITO FINO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCREÇÃO MARRON (Siltito
Argilito Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Ston line sim não
espessura_53_cm Distância da
superfície: 1,10 m
Cava: 2,50 m

GEOMORFOLOGIA

- Topo da colina
 Base da colina
 Encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do
bloco
 Angularoso
 Sub-anguloso

Esfericidade
 Alta esfericidade
 Média esf.
 Baixa esf.

ARREDONDAMENTO

- Arredondado

 Sub- Arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PETRO.**

Cor: Laranja
Granulometria: Areia fina (arena-argilosa)

Consistência seca: Macia
Consistência úmida: Friável
Consistência molhada (plasticidade
pegajosidade): Plástica e
ligeiramente pegajosa



Figura A1.80 - Aspectos da cava de extração da laterita

**CADASTROS DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA
DE**

S. LUIS-MA

Tese- geólogo José Edward de
Oliveira
Jazida/ponto: 28
Local: Vila Maranhão
Ficha: 28 data: Data
20/03/2010 Preenchida por:
Afonso Júnior
Nº da amostra: AM 28
- 28A
Coordenadas: N 0575109 E
9709510

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE

- ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON
 ARENITO FINO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCREÇÃO MARRON(Siltito
Argilito Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO
NOVO)

Stone line sim ()/ não (x)
espessura _____
Distância da superfície:
Cava: sem cava

GEOMORFOLOGIA

- Topo da
colina
 Base da
colina
 Encosta

CARACTERÍSTICAS DA

AMOSTRA

Estrutura do
bloco
 Anguloso
 Sub-anguloso

Esfericidade

- Alta esfericidade
 Média esf.
 Baixa esf.

ARREDONDAMENTO

- Arredondado
 Sub arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PETREO**

Cor: Vermelho - alaranjado

Granulometria: Argilosa

Consistência seca: Extremamente

seca dura Consistência úmida:

Muito firme

**Consistência molhada (plasticidade/
pegajosidade): Plástica e pegajosa**

OBSERVAÇÕES:

Jazidas de areia, piçarra e
lateritas. Máquinas mexem o solo e
as lateritas são expostas e depois
coletadas.

Os trabalhadores vendem a
çaçambada

Preço: R\$ 170,00 e pagam R\$
30,00 para os donos da terra.



Figura A1.81 - Aspecto geral da jazida.

**CADASTROS DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE
S. LUIS-MA**

**Tese- geólogo José Edward de
Oliveira
Jazida / ponto: 29
Ficha: 29 data 20/03/2010
Preenchida por: Afonso Júnior
Amostra: AML 29 – 29A
Local: Vila Maranhão
Coordenadas: N 0574082 E 9709572**

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE

- ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON
 ARENITO FINO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCREÇÃO MARRON(Siltito
Argilito Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

**Stone line sim()/ não(X) espessura___
Distância da superfície: 80 cm
Cava: 1,10 m**

GEOMORFOLOGIA

- Topo da
colina Base
da colina
Encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

**Estrutura do
bloco
 Anguloso
 Sub-anguloso**

**Esfericidade
 Alta esfericidade
 Média esfer.
 Baixa esfer.**

Sub- Arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PETRO.**

Cor: Amarelo-acinzentado

Granulométrica: Areno-argilosa

Consistência seca: Ligeiramente

dura

Consistência úmida: Friável

Consistência molhada:

**Plasticidade e pegajosidade: Muito plástica
e muito pegajosa**

OBSERVAÇÕES: JAZIDA ATIVA



Figura A1.82 - Aspectos da jazida.



Figura A1.83 - Detalhe do material explorado.

**CADASTROS DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE
S. LUIS-MA**

Tese- geólogo José Edward de Oliveira

Jazida/ponto : 30

Ficha: 30 data: 20/03/2010

Preenchida por: Afonso Júnior

Amostra: AM 30 – 30A

Local: Cajueiro

Coordenadas: N 0574473 E 9710894

**OBSERVAÇÕES:
JAZIDA ATIVA**

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE

- ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO MARRON
- ARENITO FINO FERRUGINOSO MARRON
- CONCLOMERADO FERRUGINOSO MARRON
- CONCENTRAÇÃO MARRON(Siltito Argilito Concrecionado)
- INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Ston line sim () não (x) espessura _____

Distância da superfície: 2 m

Corte

GEOMORFOLOGIA

- Topo da colina
- Base da colina
- Encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

- Anguloso
- Sub-anguloso

Esfericidade

- Alta esfericidade
- Média esfericidade
- Baixa esfericidade

Arredondamento

- Arredondado
- Sub- Arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PETRO.**

Cor: Vermelho-alaranjado

Granulométrica: argilo-arenosa (areia fina)

Consistência seca: Macia

Consistência úmida: Firme

Consistência: molhada

Plasticidade / Pegajosidade): Muito plástica e muito pegajosa



Figura A1.84 - Aspectos da escavação da jazida.



Figura A1.85 - Arenito médio ferruginoso marron.

**CADASTROS DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE
S. LUIS-MA**

Tese- geólogo José Edward de Oliveira

Jazida / ponto: 31

Ficha : 31 data: 20/03/2010

Preenchida por: Afonso Júnior

Amostra: AM 31 – 31A

Local: Cajueiro

Coordenadas: N 0572758 E 9710344

OBSERVAÇÕES:

JAZIDA ATIVA

**Preço: R\$ 160,00 por caçamba e pagam R\$
25,00 para os donos do terreno**

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE

- ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO MARRON
 ARENITO FINO FERRUGINOSO MARRON
 CONCLOMERADO FERRUGINOSO MARRON
 CONCENTRAÇÃO MARRON(Siltito Argilito
Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Ston line sim () não (X) espessura _____

Distância da superfície: 10 cm

Cava: 2,40 m

GEOMORFOLOGIA

- Topo da colina
 Base da colina
 Encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

- Anguloso
 Sub-anguloso

Esfericidade

- Alta esfericidade
 Média esfericidade
 Baixa esfericidade

Arredondamento

- Arredondado
 Sub- Arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PETRO.**

Cor: Amarelada

Granulométrica: areia fina (argilo-arenosa)

Consistência seca: macia

Consistência úmida: firme

Consistência: molhada

Plasticidade e pegajosidade: Plástica e pegajosa



Figura A1.86 - Aspectos da jazida.



Figura A1.87 - Detalhe do arenito médio ferruginoso marrom.

CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE
S.LUIS – MA.

Tese de doutorado - geólogo José Edward de Oliveira

Jazida / ponto : 33

Ficha: 33 data: 06/04/2010

Amostra: 33-33a

Local: Ponta da espera. (direita)

Descrição: extração desativada

Coordenadas: N 0572585 E9719204

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

UNIDADE DE ANÁLISE

ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO MARRON

ARENITO FINO FERRUGIONOSO MARRON

CONGLOMERADO FERRUGINOSO

MARRON

CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito Concrecionado)

INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não espessura_____

Distancia da superfície_____25
cm_____

Cava: 80 cm

Geomorfologia

topo da colina

base da colina

encosta

Observações da área

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

anguloso

sub-anguloso

Esfericidade

alta esfericidade

media esfericidade

baixa esfericidade

Arredondamento

arredondado

sub- arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO.

Cor: amarelado

Granulometria e textura: areia media argilo arenosa

Consistência seca: não identificado

Consistência úmida: firme

Consistência: molhada

Plasticidade: muito plástica

Pegajosidade: pegajosa



Figura A1.88 - Presença de laterita na superfície da jazida desativada.



Figura A1.89 - Laterita in situ.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE
S.LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward de Oliveira

Jazida / ponto : 34

Ficha: 34 data: 06/04/2010

Amostra: Am I34-34a

Local: Ponta da espera (esquerda)

Descrição: jazida desativada devido expansão do porto

Coordenadas: N 0571875 E9718958

Fotos: 100-0254

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

UNIDADE DE ANÁLISE

- ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO MARRON
 ARENITO FINO FERRUGIONOSO MARRON
 CONGLOMERADO FERRUGINOSO MARRON
 CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim() não() espessura _____
Distancia da superfície _____ 20
cm _____

GEOMORFOLOGIA

- topo da colina
 base da colina
 encosta

Observações da área

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

- anguloso
 sub-anguloso

Esfericidade

- alta esfericidade
 media esfericidade
 baixa esfericidade

Arredondamento

- arredondado
 sub- arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO.

Cor: amarelo-alaranjado

Granulometria e textura: argilo silto arenoso

Consistência seca: não identificado

Consistência úmida: firme

Consistência : molhada
Plasticidade : muito plástica
Pegajosidade: muito pegajosa

CROQUIS DA JAZIDA DE LATERITA (indicando local etc., distância do centro consumidor (depósito de materiais de construção).

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA LATERÍTICA (sempre que for considerado uma ocorrência ou jazida deve ser coletado amostras e depositar num saco plástico transparente com etiqueta identificatória para aprimorar a identificação feita no campo)

OBSERVAÇÕES



Figura A1.90 - Amostra (Am 134-34A), próxima ao Porto da Madeira.



Figura A1.91 - Laterita in situ.



Figura A1.92 - Presença de laterita na superfície.



Figura A1.93 - Depositor de piçarra.



Figura A1.94 - Visão panorâmica da área de extração.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIZ - MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira
Jazida / ponto : 35
Ficha: 35 data 14/07/2010
Preenchido por: Hugo
Amostra: Aml 40-40A
Local: Santa Bárbara
Descrição: Jazida abandonada
(comunitária) mas com ocorrência no topo
da Colina.
Coordenadas: N 0587272 E 9711378
Fotos: DSC 49-66

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE
 ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON
 ARENITO FINO FERRUGINOSO
MARRON
 CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não
espessura: não identificada
Distancia da superfície: 20cm

GEOMORFOLOGIA

topo da colina
 base da colina
 encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco
 anguloso
 sub-anguloso

Esfericidade
 alta esfericidade
 media esfericidade
 baixa esfericidade

Arredondamento
 arredondado
 sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO: Amostra retirada em
superfície.**

Cor: preto

Granulometria e textura: silte/siltosa

Consistência seca: macia

Consistência úmida: friável

Consistência : molhada

Plasticidade : ligeiramente plástica

Pegajosidade : - ligeiramente pegajosa

CROQUIS DA JAZIDA DE LATERITA
(indicando local etc., distância do centro
consumidor ao depósito de materiais de
construção).

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA
LATERÍTICA** (sempre que for considerado
uma ocorrência ou jazida deve ser
coletado amostras e depositar num saco
plástico transparente com etiqueta
identificatória para aprimorar a
identificação feita no campo)

OBSERVAÇÕES

- Jazida ativa
- Extração manual
- Preço da carrada R\$ 200,00
- Venda para os bairros próximos
São Raimundo/Santa Clara

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira
Jazida / ponto : 36
Ficha: 36 data 14/07/2010
Preenchido por: Hugo
Amostra: Aml 41-41A
Local: Jussatuba
Descrição: Jazida abandonada
(comunitária) mas com ocorrência no topo
da Colina.
Coordenadas: N 0598109 E9710110
Fotos: DSC 49-71

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE
 ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON
 ARENITO FINO FERRUGINOSO
MARRON
 CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim (x) não ()
espessura: 1,50m
Distancia da superfície: 50cm

GEOMORFOLOGIA

topo da colina
 base da colina
 encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco
 anguloso
 sub-anguloso

Esfericidade
 alta esfericidade
 media esfericidade
 baixa esfericidade

Arredondamento
 arredondado
 sub- arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO: Amostra retirada em
superfície.**

Cor: alaranjado

**Granulometria e textura: areia fina e
areno-argilosa**

Consistência seca: indefinida

Consistência úmida: firme

Consistência : molhada

**Plasticidade : não plástica
Pegajosidade: - não pegajosa**

CROQUIS DA JAZIDA DE LATERITA
(indicando local etc., distância do centro
consumidor ao depósito de materiais de
construção).

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA
LATERÍTICA** (sempre que for considerado
uma ocorrência ou jazida deve ser
coletado amostras e depositar num saco
plástico transparente com etiqueta
identificatória para aprimorar a
identificação feita no campo)

OBSERVAÇÕES

- Jazida ativa
- Extração manual
- Preço da carrada R\$ 150,00
- A última caçamba leva a carrada para
depósito para o bairro da Cohab.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira
Jazida / ponto : 37
Ficha: 37 data 14/07/2010
Preenchido por: Hugo
Amostra: Aml 42-42A
Local: Bom Jardim
Descrição: Jazida abandonada
(comunitária) mas com ocorrência no topo
da Colina.
Coordenadas: N 0593953 E9709814
Fotos: DSC 49-80

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE
 ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON
 ARENITO FINO FERRUGINOSO
MARRON
 CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim (x) não ()
espessura: indefinida
Distancia da superfície: 20cm

GEOMORFOLOGIA

topo da colina
 base da colina
 encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco
 anguloso
 sub-anguloso

Esfericidade
 alta esfericidade
 media esfericidade
 baixa esfericidade

Arredondamento
 arredondado
 sub-arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO: Amostra retirada em
superfície.**

Cor: alaranjado

Granulometria e textura: silte/siltosa

Consistência seca: indefinida (chuva)

Consistência úmida: muito firme

Consistência : molhada

Plasticidade : muito plástica
Pegaosidade : pegajosa

CROQUIS DA JAZIDA DE LATERITA
(indicando local etc., distância do centro
consumidor ao depósito de materiais de
construção).

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA
LATERÍTICA** (sempre que for considerado
uma ocorrência ou jazida deve ser
coletado amostras e depositar num saco
plástico transparente com etiqueta
identificatória para aprimorar a
identificação feita no campo)

OBSERVAÇÕES

- Jazida ativa
- Extração manual
- Preço da carrada R\$ 150,00

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira
Jazida / ponto : 38
Ficha: 38 data 14/07/2010
Preenchido por: Hugo
Amostra: Aml 44-44A
Local: Santana
Descrição: Jazida abandonada
(comunitária) mas com ocorrência no topo
da Colina.
Coordenadas: N 0595093 E9711852
Fotos: DSC 49-91

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE
 ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON
 ARENITO FINO FERRUGIONOSO
MARRON
 CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim (x) não ()
espessura: 1,50m
Distancia da superfície: 1,50m

GEOMORFOLOGIA

topo da colina
 base da colina
 encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco
 anguloso
 sub-anguloso

Esfericidade
 alta esfericidade
 media esfericidade
 baixa esfericidade

Arredondamento
 arredondado
 sub-arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO: Amostra retirada em
superfície.**

Cor: alaranjado

**Granulometria e textura: areia fina/areno-
argilosa**

Consistência seca: dura

Consistência úmida: firme

Consistência molhada

Plasticidade e pegajosidade:

muito plástica e pegajosa

CROQUIS DA JAZIDA DE LATERITA
(indicando local etc., distância do centro
consumidor ao depósito de materiais de
construção).

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA
LATERÍTICA** (sempre que for considerado
uma ocorrência ou jazida deve ser
coletado amostras e depositar num saco
plástico transparente com etiqueta
identificatória para aprimorar a
identificação feita no campo)

OBSERVAÇÕES

- Jazida ativa
- Extração mecanizada
- Preço da carrada R\$ 150,00

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira
Jazida / ponto: 39
Ficha: 39 data 14/07/2010
Preenchido por: Hugo
Amostra: Aml 45-45A
Local: Santana
Descrição: Jazida abandonada
(comunitária) mas com ocorrência no topo
da Colina.
Coordenadas: N 0594427 E9711812
Fotos: DSC 49-94

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE
 ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON
 ARENITO FINO FERRUGINOSO
MARRON
 CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim (x) não ()
espessura: 1,50m
Distancia da superfície: 1,50m

GEOMORFOLOGIA

topo da colina
 base da colina
 encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco
 anguloso
 sub-anguloso

Esfericidade
 alta esfericidade
 media esfericidade
 baixa esfericidade

Arredondamento
 arredondado
 sub-arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO: Amostra retirada em
superfície.**

Cor: alaranjado

**Granulometria e textura: areia fina/areno-
argilosa**

Consistência seca: dura

Consistência úmida: firme

Consistência molhada:

Plasticidade e pegajosidade:
muito plástica e pegajosa

CROQUIS DA JAZIDA DE LATERITA
(indicando local etc., distância do centro
consumidor ao depósito de materiais de
construção).

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA
LATERÍTICA** (sempre que for considerado
uma ocorrência ou jazida deve ser
coletado amostras e depositar num saco
plástico transparente com etiqueta
identificatória para aprimorar a
identificação feita no campo)

OBSERVAÇÕES

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward de Oliveira
Jazida / ponto : 40
Ficha: 40 data 16/07/2010
Preenchido por: Hugo
Amostra: Aml 46-46A
Local: Campina
Descrição: Jazida abandonada (comunitária) mas com ocorrência no topo da Colina.
Coordenadas: N 0597331 E9715883
Fotos: DSC 49-97

Plasticidade e pegajosidade:
muito plástica e muito pegajosa

CROQUIS DA JAZIDA DE LATERITA (indicando local etc., distância do centro consumidor ao depósito de materiais de construção).

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA LATERÍTICA (sempre que for considerado uma ocorrência ou jazida deve ser coletado amostras e depositar num saco plástico transparente com etiqueta identificatória para aprimorar a identificação feita no campo)

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

UNIDADE DE ANÁLISE
 ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO MARRON
 ARENITO FINO FERRUGIONOSO MARRON
 CONGLOMERADO FERRUGINOSO MARRON
 CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não
espessura: indefinida
Distancia da superfície: 1,50m

OBSERVAÇÕES

- Retiram uma carrada por dia, sendo 7 pessoas
- Extração manual
- Preço da carrada R\$ 180,00

GEOMORFOLOGIA

topo da colina
 base da colina
 encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco
 anguloso
 sub-anguloso

Esfericidade
 alta esfericidade
 media esfericidade
 baixa esfericidade

Arredondamento
 arredondado
 sub-arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO: Amostra retirada em superfície.

Cor: amarelado

Granulometria e textura: argila/ argilo-arenosa

Consistência seca: macia

Consistência úmida: muito firme

Consistência molhada:

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira
Jazida / ponto: 41
Ficha: 41 data 16/07/2010
Preenchido por: Hugo
Amostra: Aml 47-47A
Local: Campina
Descrição: Jazida abandonada
(comunitária) mas com ocorrência no topo
da Colina.
Coordenadas: N 0597425 E9715758
Fotos: DSC 50-09 (é 09 mesmo?)

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE
 ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON
 ARENITO FINO FERRUGINOSO
MARRON
 CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não
espessura: indefinida
Distancia da superfície: 1,30m

GEOMORFOLOGIA

topo da colina
 base da colina
 encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco
 anguloso
 sub-anguloso

Esfericidade
 alta esfericidade
 media esfericidade
 baixa esfericidade

Arredondamento
 arredondado
 sub-arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO: Amostra retirada em
superfície.**

Cor: branco

**Granulometria e textura: areia
fina/argilosa**

Consistência seca: macia

Consistência úmida: muito firme

Consistência molhada:

**Plasticidade e pegajosidade:
muito plástica e muito pegajosa**

CROQUIS DA JAZIDA DE LATERITA
(indicando local etc., distância do centro
consumidor ao depósito de materiais de
construção).

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA
LATERÍTICA** (sempre que for considerado
uma ocorrência ou jazida deve ser
coletado amostras e depositar num saco
plástico transparente com etiqueta
identificatória para aprimorar a
identificação feita no campo)

OBSERVAÇÕES

- Jazida ativa
- Extração manual
- Preço da carrada R\$ 180,00

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS - MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira
Jazida / ponto : 42
Ficha: 42 data 20/07/2010
Preenchido por: (?)
Amostra: Aml 48-48A
Local: Juraraí - S.J. de Ribamar
Descrição: Jazida abandonada
(comunitária) mas com ocorrência no topo
da Colina.
Coordenadas: N 0601091 E9716849
Fotos: DSC 5018

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE
 ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON
 ARENITO FINO FERRUGIONOSO
MARRON
 CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não
espessura: indefinida
Distancia da superfície: 2,50m

GEOMORFOLOGIA

topo da colina
 base da colina
 encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco
 anguloso
 sub-anguloso

Esfericidade
 alta esfericidade
 media esfericidade
 baixa esfericidade

Arredondamento
 arredondado
 sub-arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO:** Amostra retirada em
superfície.

Cor: vermelho-alaranjado

Granulometria e textura: não foi possível

Consistência seca: não foi possível

Consistência úmida: não foi possível

Consistência molhada :

Plasticidade e pegajosidade:

não foram possíveis

CROQUIS DA JAZIDA DE LATERITA
(indicando local etc., distância do centro
consumidor ao depósito de materiais de
construção).

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA
LATERÍTICA** (sempre que for considerado
uma ocorrência ou jazida deve ser
coletado amostras e depositar num saco
plástico transparente com etiqueta
identificatória para aprimorar a
identificação feita no campo)

OBSERVAÇÕES

- Jazida ativa

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira
Jazida / ponto : 43
Ficha: 43 data 20/07/2010
Preenchido por: Hugo
Amostra: Aml 49-49A
Local: Pau Deitado
Descrição: Jazida abandonada
(comunitária) mas com ocorrência no topo
da Colina.
Coordenadas: N 0602470 E9720235
Fotos: DSC 5025

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE
 ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON
 ARENITO FINO FERRUGIONOSO
MARRON
 CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não
espessura: indefinida
Distancia da superfície: 1,50m

GEOMORFOLOGIA

topo da colina
 base da colina
 encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco
 anguloso
 sub-anguloso

Esfericidade
 alta esfericidade
 media esfericidade
 baixa esfericidade

Arredondamento
 arredondado
 sub-arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO: Amostra retirada em
superfície.**

Cor: avermelhado

**Granulometria e textura: areia fina/areno-
argilosa**

Consistência seca: extremamente dura

Consistência úmida: muito firme

Consistência molhada:

Plasticidade e pegajosidade:

muito plástica e pegajosa

CROQUIS DA JAZIDA DE LATERITA
(indicando local etc., distância do centro
consumidor ao depósito de materiais de
construção).

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA
LATERÍTICA** (sempre que for considerado
uma ocorrência ou jazida deve ser
coletado amostras e depositar num saco
plástico transparente com etiqueta
identificatória para aprimorar a
identificação feita no campo)

OBSERVAÇÕES

- Jazida ativa
- Não foi encontrado ninguém no local

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward de Oliveira
Jazida / ponto : 44
Ficha: 44 data 25/07/2010
Preenchido por: Afonso
Amostra: Aml 50-50A
Local: Panaquatira – S.J. de Ribamar
Descrição: Jazida abandonada (comunitária) mas com ocorrência no topo da Colina.
Coordenadas: N 0608456 E9722948
Fotos: DSC 5053

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE
 ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO MARRON
 ARENITO FINO FERRUGIONOSO MARRON
 CONGLOMERADO FERRUGINOSO MARRON
 CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito Concrecionado)
 INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não
espessura: indefinida
Distancia da superfície:

GEOMORFOLOGIA

topo da colina
 base da colina (falésia)
 encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco
 anguloso
 sub-anguloso

Esfericidade
 alta esfericidade
 media esfericidade
 baixa esfericidade

Arredondamento
 arredondado
 sub-arredondado

DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO MATERIAL PÉTREO: Amostra retirada em superfície.

Cor:

Granulometria e textura:

Consistência seca:

Consistência úmida:

Consistência molhada:

Plasticidade e pegajosidade: -

CROQUIS DA JAZIDA DE LATERITA (indicando local etc., distância do centro consumidor ao depósito de materiais de construção).

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA LATERÍTICA (sempre que for considerado uma ocorrência ou jazida deve ser coletado amostras e depositar num saco plástico transparente com etiqueta identificatória para aprimorar a identificação feita no campo)

OBSERVAÇÕES

A área de extração fica em uma falésia da Praia de Panaquatira. As lateritas ficam expostas sobre a praia, daí não ter a presença de cavas. Recentemente a coleta foi proibida pelo IBAMA no local.

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira

Jazida: 45

Ficha: 45 data 25/10/2010

Preenchido por:

Amostra: Aml 48-48A

Local: IGUAÍBA

Descrição:

Coordenadas: N 599814 E 9723455

Fotos: DSC 5018

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE

ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON

ARENITO FINO FERRUGIONOSO
MARRON

CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON

CONCREÇÃO

INDEFINIDA

Stone lines sim () não ()

espessura: indefinida

Distancia da superfície: 2,50m

GEOMORFOLOGIA

topo da colina

base da colina

encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

anguloso

sub-anguloso

Esfericidade

alta esfericidade

media esfericidade

baixa esfericidade

Arredondamento

arredondado

sub-arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO: Amostra retirada em
superfície.**

Cor:

Granulometria e textura:

Consistência seca:

Consistência úmida:

Consistência molhada (plasticidade
e pegajosidade): -

CROQUIS DA JAZIDA DE LATERITA
(indicando local etc., distância do centro
consumidor ao depósito de materiais de
construção).

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA
LATERÍTICA** (sempre que for considerado
uma ocorrência ou jazida deve ser
coletado amostras e depositar num saco
plástico transparente com etiqueta
identificatória para aprimorar a
identificação feita no campo)

OBSERVAÇÃO

CADASTRO EM EXECUÇÃO

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira
Jazida / ponto : 46
Ficha: 46 data 25/10/2010
Preenchido por: Hugo
Amostra: Aml 49-49A
Local: VILA PARAÍBA
Descrição:
Coordenadas: N 600601 E9729305

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE
 ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON
 ARENITO FINO FERRUGIONOSO
MARRON
 CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON
 CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)
 INDEFINIDA

Stone lines sim () não ()
espessura: indefinida
Distancia da superfície: 1,50m

GEOMORFOLOGIA

topo da colina
 base da colina
 encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco
 anguloso
 sub-anguloso

Esfericidade
 alta esfericidade
 media esfericidade
 baixa esfericidade

Arredondamento
 arredondado
 sub-arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO:** Amostra retirada em
superfície.

Cor:

Granulometria e textura

Consistência seca:

Consistência úmida:

**Consistência molhada (plasticidade
e pegajosidade):**

CROQUIS DA JAZIDA DE LATERITA
(indicando local etc., distância do centro
consumidor ao depósito de materiais de
construção).

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA
LATERÍTICA** (sempre que for considerado
uma ocorrência ou jazida deve ser
coletado amostras e depositar num saco
plástico transparente com etiqueta
identificatória para aprimorar a
identificação feita no campo)

OBSERVAÇÕES

CADASTRO EM EXECUÇÃO

**CADASTRO DE PONTOS VISITADOS
RELACIONADOS A LATERITA DE ILHA DE S.
LUIS – MA.**

Tese de doutorado - geólogo José Edward
de Oliveira

Jazida / ponto: 47

Ficha: 47 data 25/10/2010

Preenchido por: Afonso

Amostra: Aml 50-50A

Local: PORTO MOCAJITUBA

Descrição:

Coordenadas: N 595720 E 9725592

Fotos:

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA**

UNIDADE DE ANÁLISE

ARENITO MÉDIO FERRUGINOSO
MARRON

ARENITO FINO FERRUGIONOSO
MARRON

CONGLOMERADO FERRUGINOSO
MARRON

CONCREÇÃO MARRON (Siltito Argilito
Concrecionado)

INDEFINIDA (TIPO NOVO)

Stone lines sim não

espessura: indefinida

Distancia da superfície:

GEOMORFOLOGIA

topo da colina

base da colina (falésia)

encosta

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

Estrutura do bloco

anguloso

sub-anguloso

Esfericidade

alta esfericidade

media esfericidade

baixa esfericidade

Arredondamento

arredondado

sub-arredondado

**DESCRIÇÃO DO CIMENTO ENVOLTO NO
MATERIAL PÉTREO: Amostra retirada em
superfície.**

Cor:

Granulometria e textura:

Consistência seca:

Consistência úmida:

Consistência molhada (plasticidade
e pegajosidade):

CROQUIS DA JAZIDA DE LATERITA
(indicando local etc., distância do centro
consumidor ao depósito de materiais de
construção).

**DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DA ROCHA
LATERÍTICA** (sempre que for considerado
uma ocorrência ou jazida deve ser
coletado amostras e depositar num saco
plástico transparente com etiqueta
identificatória para aprimorar a
identificação feita no campo)

OBSERVAÇÕES

CADASTRO EM EXECUÇÃO

ANEXO 2 – DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA GERAL

Refere se a documentação fotográfica geral, tanto de campo como de laboratório, no sentido de ilustrar fases consideradas importantes durante a execução dos estudos



A2.1 - Aspectos gerais da jazida do Maracujá, de onde foram extraídos o conglomerado ferruginoso laterítico.



A2.2 - Partição do bloco grande em blocos pequenos utilizando marreta, punção grande e alavanca.



A2.3 - Detalhe da estrutura interna do conglomerado ferruginoso laterítico tendo a caneta como escala e assim dando ideia da proporcionalidade entre a matriz quartzosa, o cimento ferruginoso e a alteração diferencial a que foi acometida a rocha em face ao intemperismo físico químico diferencial.



A2.4 - Famílias em que os homens extraem os blocos de laterita e as mulheres e crianças fazem a partição da laterita com auxílio de marreta, batendo o fragmento sobre um bloco de maior tamanho e gerando a brita, que é vendida no mercado da construção civil. Tomada de foto registrada no ano de 1976.



A2.5 - Britador primário utilizado no estudo e com abertura da mandíbula regulado em 2". Foi fabricado pela Briterpa Comercio e Industria Ltda. Modelo BM 13/23, Potência 5/7,5 UP Rotação – 250 a 275 rpm. Observar que o material foi britado e lançado num recipiente de plástico, após que foi juntado a outras porções para quarteamento, que tem a finalidade de melhorar a estatística da amostragem mais bem representada.



A2.6 - O material depois de bitado é quarteado e separado para uso na elaboração do concreto e assim abrindo oportunidade para os cálculos dos traços e fatores água cimento



A2.7 - Os materiais, agregado, cimento Portland e água são separados para posterior mistura nas devidas proporções.



A2.8 - O material citado na foto anterior é lançado na betoneira para primeira homogeneização a seco, após recebe agua na proporção prevista para término da homogeneização.



A2.9 - Massa de concreto homogeneizado com agregado, cimento e agua nas devidas proporções para posterior moldagem nos corpos de prova e cura na câmara húmida, após que serão rompidas na prensa hidráulica para verificação da resistência a compressão simples em MegaPascal



A2.10 - Após homogeneização o concreto é lançado num carrinho de mão, sendo posteriormente transportado para pertinente moldagem dos corpos de prova.



A2.11 - Corpos de prova de concreto sendo compactados com bastão de compactação em camadas com respectivos golpes, segundo as normas.



A2.12 - Moldagem do concreto na forma de Slump Teste, para fins de verificar o abatimento do concreto e medir a consistência e a trabalhabilidade do concreto. Esta propriedade indica a capacidade que a massa de concreto possui para se alojar nas fôrmas de concreto contendo ferragem. O método do ensaio é feito com base na ABNT (Associação de Norma Técnicas) NBR NM 67 – Concreto. Consiste em alojar 03 camadas de 10 cm e compactar individualmente cada 10 cm de concreto com uma haste de aço com 25 golpes cada camada e forma abrangente e sem atingir a camada inferior. Depois retira a forma e verifica quanto em centímetro abateu a massa de concreto



A2.13 - Concreto desformatado da forma de Slump Teste. Notar que o concreto permaneceu com o mesmo formato da forma, significando que o resultado do Slump é praticamente nulo e assim a trabalhabilidade deste concreto é insuficiente. Neste caso fator água cimento deverá ser aumentado.



A2.14 - Ensaio de Slump Teste apresentando o abatimento que foi obtido após a desformatação do corpo de prova. Neste caso o concreto apresenta abatimento de mais de 10 cm, quando desformatado, revelando possuir trabalhabilidade. Diferente do concreto apresentado na foto anterior em que permaneceu sem qualquer abatimento.



A2.15 - Um grupo de corpos de prova de concreto que foram moldados, que após 24 horas serão desmoldados e levados para a câmara húmida.



A2.16 - Um detalhe da foto anterior em que evidencia a falta de agregado fino (areia fina média e grossa) entre os agregados graúdos. Estes vazios sem o devido preenchimento promovem uma diminuição da resistência do concreto que foi moldado no corpo de prova.



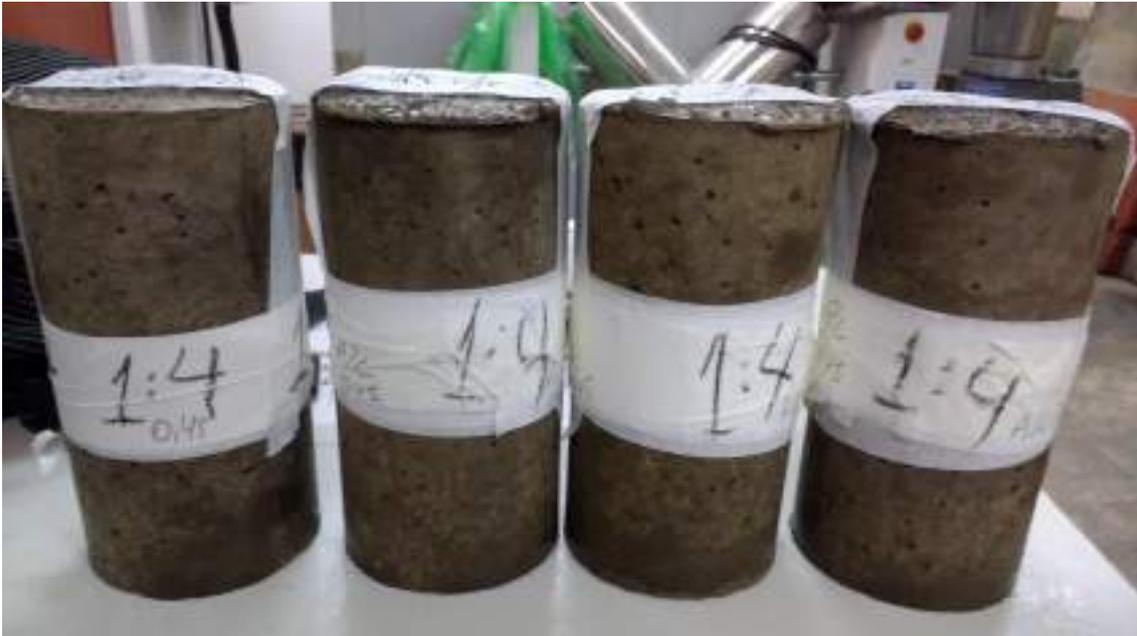
A2.17 - Corpos de prova de concreto que foram retirados do molde do corpo de prova e depositados na câmara húmida. Notar que as superfícies dos corpos de prova apresentam vazios, consequência da falta de agregados finos na massa do concreto. Esta falta de agregados finos (areia fina média e grossa) foram corrigidas no decorrer do estudo para se conseguir maior resistência do concreto. Os tons avermelhados dos corpos de prova revelam que o agregado pétreo possuía uma intensa alteração produzindo silte e argila em que predomina o óxido de ferro (avermelhado) que é o material passante na peneira 200. Notar que acima do terceiro corpo de prova da esquerda para direita ocorre um aspersor de água, exatamente para manter a câmara húmida conforme especificações pertinentes.



A2.18 - Prensa Hidráulica do NUMATS – COPPE – UFRJ, contendo um corpo de prova pronto para ser rompido e assim verificando a resistência a compressão axial simples de Mega-Pascal. Ensaio realizado com carregamento definido em 0,1 mm/ segundo.



A2.19 - Corpos de prova de concreto com as superfícies regularizadas para posterior rompimento na prensa hidráulica. Os corpos de prova poderiam ser também regularizados cortando a superfície com serra diamantada. Uma massa específica de cimento com enxofre, dando assim uma plasticidade nos pontos terminais do corpo de prova.



A2.20 - Corpos de prova de concreto sem que as superfícies de base e de topo do corpo de prova estivessem regularizadas, conforme foto anterior. Nos corpos de prova podem ser observados o traço do concreto 1:4 (representado uma porção de cimento para 04 porções de agregado pétreo). O corpo de prova contempla também o fator água cimento, 0,45(significando 45% de água em 1quilograma de cimento), após que serão misturados para moldagem do corpo de prova, curados em 28 dias e depois rompidos na prensa hidráulica.



A2.21 - Rompimento do corpo de prova para verificação da resistência máxima a compressão simples. Último estágio do processamento do conglomerado ferruginoso laterítico e que foram levados a prensa hidráulica, conforme demonstra a foto.