



Luis Antonio De Luca Neto

**Propriedades Mecânicas do Concreto
Laterítico da Região do ACRE**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Mestrado Profissional em Processos Construtivos
e Saneamento Urbano

Dissertação orientada pelo Professor Dr. Bernardo Borges Pompeu Neto



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
MESTRADO EM PROCESSOS CONSTRUTIVOS E SANEAMENTO URBANO**

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO
LATERÍTICO DA REGIÃO DO ACRE**

LUIS ANTONIO DE LUCA NETO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano da Universidade Federal do Pará como requisito para a obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Borges Pompeu Neto

Co-orientador: Prof. Dr. Adelson Bezerra de Medeiros

Belém – PA
2014

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO LATERÍTICO DA REGIÃO DO ACRE

LUIS ANTONIO DE LUCA NETO

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Processos Construtivos e Saneamento Urbano, área de concentração em Estruturas, Construção Civil e materiais, aprovada em sua forma final pelo Programa de Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano (PPCS) do Instituto de Tecnologia (ITEC) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Aprovada em ____ de _____ 2014

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Coordenador do PPCS

Prof. Dr. Bernardo Borges Pompeu Neto
Orientador – UFPA

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujiyama
Examinador Externo – UFPA

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picango
Examinador Interno – UFPA

Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Examinador Interno – UFPA

A Deus...

*De nada vale o conhecimento
A não ser o uso do que dele se faz...*

Talmud

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meu pai que foi com quem aprendi meus valores éticos e morais.

A minha mãe que me ensinou os valores da família e respeito para com as demais pessoas.

A meu grande colega de trabalho o Eng. Francisco Ayrton Lucena que foi quem ensinou a amar a engenharia civil.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Bernardo Borges Pompeu Neto pela consciente orientação

Ao Professor Dr. Denio Ramam Carvalho de Oliveira pelo incentivo e dedicação dispensados para a realização deste trabalho.

RESUMO

DE LUCA, L. A. 2014. **Propriedades Mecânicas do Concreto Laterítico**, Belém. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. O presente trabalho trata da investigação das propriedades do concreto, efetuado com agregado de laterita, proveniente das proximidades do município de Rio Branco, no estado do Acre. Este estudo é de particular importância para a Região Acreana, face a ocorrência abundante deste material e a escassez de agregado originário de rocha sã. Inicialmente abordam-se as características da laterita, ocorrências no país, locais onde são exploradas, caracterização tecnológica para a aplicação em concretos. A investigação das propriedades do concreto laterítico foi feita tendo como referência o concreto efetuado com agregado graúdo de rocha ígnea de origem granítica, de qualidade comprovada. Dentre as propriedades investigadas destacam-se, a resistência a compressão e a tração e o módulo de elasticidade. Conclui-se que a aplicação do concreto laterítico é, tecnicamente viável nas obras correntes.

Palavras-Chave: Concreto, laterita, propriedades mecânicas

ABSTRACT

DE LUCA, L.A. 2014. Mechanical Properties of Concrete laterite, Bethlehem Thesis (master's) properties -. Postgraduate Program in Civil Engineering, Institute of Technology, Federal University of Pará. The present work deals with the investigation of the properties of concrete made with aggregate of laterite, from the vicinity of Rio Branco in Acre. This study is of particular importance to the Acre region, given the abundant occurrence of this material and the scarcity of aggregate originating from bedrock. Initially addressing the characteristics of laterite, occurrences in the country, where they are exploited, technological characterization for use in concrete. The investigation of the properties of lateritic concrete was made taking as reference the concrete made with coarse aggregate igne granite, proven quality. Among the properties investigated stand out, resistance to compression and tensile and modulus of elasticity It is concluded that the application of laterite concrete is technically feasible in current works.

Key words: concrete, laterite, mechanical properties

SUMÁRIO

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.5 – DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	3
1.6 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
Capítulo 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	5
2.2- CONCRETOS.....	5
2.2.1 - Materiais constituintes	6
2.3 A LATERITA	15
2.3.1 Processo De Formação.....	15
2.3.2 - Jazidas de Concreções Lateríticas	19
2.3.3 Escassez de Agregados no Brasil	20
2.4. CONCRETO LATERÍTICO.....	21
2.5 - AGRESSIVIDADES AOS CONCRETOS	22
2.6 VIDA ÚTIL DAS CONSTRUÇÕES	23
2.6.1 - A NBR 6118:2003 e as considerações sobre durabilidade.....	25
Capítulo 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1 FLUXOGRAMA DA PESQUISA.....	27
3.2 METODOLOGIA DE PESQUISA	28
3.2.1 Primeira etapa.....	28
3.2.2 Segunda etapa.....	28
3.3 - MATERIAIS UTILIZADOS NO ESTUDO	30
3.3.1 - Cimento.....	30
3.3.2 - Agregado miúdo.....	30
3.3.3 - Agregados graúdos	31

3.3.4 - Granulometria	32
3.4 DOSAGEM.....	35
3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS (LATERITA E BRITA).	39
3.5.1 Laterita	39
3.5.2 Pedra britada.....	41
3.6 - ENSAIOS	43
3.6.1 Mistura, Moldagem, Armazenamento e Cura	43
3.6.2 Consistência do Concreto.....	43
3.6.3 Adensamento e moldagem dos Corpos-de-prova.....	46
Capítulo 4 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	49
4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	49
4.1.1 Resultados da compressão axial com agregado laterítico.....	49
4.1.2 Resultados da compressão axial com agregado pedra britada	50
4.2 TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	52
4.2.1 Resultados da compressão diametral para o agregado com laterita	53
4.2.2 Resultados da compressão diametral para o agregado brita.....	53
4.3 MÓDULO DE ELASTICIDADE	54
Capítulo 5 - CONCLUSÕES	58
5.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS.	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXO A.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Idealização das fases observadas em um elemento de concreto _____	5
Figura 2.2	Vazios na pasta de cimento endurecida. _____	12
Figura 2.3	Quantidades e tipos de vazios presentes na pasta de cimento Portland _____	13
Figura 2.4	Efeito do conteúdo de óxido de ferro na resistência de agregados lateríticos _____	18
Figura 2.5	Mapa mundial mostrando as regiões de ocorrência de solos lateríticos _____	19
Figura 2.6	Áreas do Brasil onde afloram predominantemente granitos e gnaisses _____	21
Figura 2.7	Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando como referência a ação química as armaduras. _____	24
Figura 3.1	Fluxograma de pesquisa _____	27
Figura 3.2	Concreto imersos para processo de cura _____	29
Figura 3.3	Curva granulométrica da areia utilizada _____	30
Figura 3.4	Ensaio de absorção de água _____	33
Figura 3.5	Pré-secagem da laterita _____	34
Figura 3.6	Agregados comparados e sua forma características. _____	35
Figura 3.7	Foto Google Earth (outubro de 2014) da localização da Jazida de Laterita _____	39
Figura 3.8	Laterita na Jazida - Demonstra a presença de torroes _____	40
Figura 3.9	Laterita no estado bruto e com materiais orgânicos _____	40
Figura 3.10	Localização da Pedreira estudada, Google Earth (outubro de 2014) _____	41
Figura 3.11	Material utilizado para estudo _____	42
Figura 3.12	Material para estudo com muita presença de finos _____	42
Figura 3.13	Concreto laterítico na betoneira _____	44
Figura 3.14	Ensaio de abatimento _____	45
Figura 3.15	Figura mostra o teste do abatimento tronco-de-cone _____	46
Figura 3.16	Preparação dos corpos de prova _____	47
Figura 3.17	Capeamento _____	48
Figura 4.1	Corpo-de-prova depois de submetido à compressão axial _____	49
Figura 4.2	Corpos-de-prova abertos depois de submetidos a compressão diametral _____	52
Figura 5.1	Amostras de laterita ainda em estado bruto _____	63
Figura 5.2	Figura mostra rompimento do agregado laterítico no cp de 28 dias _____	64
Figura 5.3	Classificação dos agregados para os ensaios _____	65
Figura 5.4	Balança utilizada para a pesagem dos insumos _____	66
Figura 5.5	Detalhe mostra os grãos encontrados na laterita _____	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Seqüência da hidratação da fase C3S.....	8
Tabela 2.2 - Classificação das adições minerais para concreto	15
Tabela 2.3 - Vida útil de projeto recomendada pela norma inglesa.....	25
Tabela 2.4 - Classificação da agressividade ambiental visando a durabilidade do.....	25
Tabela 2.5 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto,	26
Tabela 3.1 - Composição química da Laterita utilizada nos ensaios	32
Tabela 3.2 - Quadro comparativo das características físicas dos agregados utilizados	33
Tabela 3.3 – Traço com GRANITO, 400 Kg de cimento e a/c 0,60.....	36
Tabela 3.4 - Traço com LATERITA, 400 Kg de cimento e a/c 0,64.....	36
Tabela 3.5 - Traço com GRANITO, 436 Kg de cimento e a/c 0,62	37
Tabela 3.6 - Traço com LATERITA, 436 Kg de cimento e a/c 0,58.....	37
Tabela 3.7 - Traço com GRANITO, 450 Kg de cimento e a/c 0,64	38
Tabela 3.8 - Traço com LATERITA, 450 Kg de cimento e A/C 0,64.....	38
Tabela 4.1 - Resultados da compressão axial traço laterita.....	50
Tabela 4.2 - Resultados da compressão axial traço pedra britada.....	50
Tabela 4.3 - Resistência a compressão axial traço 1	51
Tabela 4.4 - Resistência a compressão axial traço 2.....	51
Tabela 4.5 - Resistência a compressão axial traço 3	52
Tabela 4.6 –Resultado do ensaio de compressão diametral (laterita)	53
Tabela 4.7 - Resultado do ensaio de compressão diametral (pedra britada)	53
Tabela 4.8 - Comparativo entre os resultados da compressão diametral	54
Tabela 4.9 – Módulo de elasticidade para a laterita.....	55
Tabela 4.10 - Módulo de elasticidade para a pedra britada.....	55
Tabela 4.11 - Comparativo entre os módulos de elasticidade traço 1	56
Tabela 4.12 - Comparativo entre os módulos de elasticidade traço 2.....	56
Tabela 4.13 - Comparativo entre os módulos de elasticidade traço 3.....	57

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

No Brasil, assim como no restante do mundo as políticas habitacionais, estão na ordem das prioridades em todos os níveis de governo. Os custos de construção, elevados pela grande quantidade de insumos que entram no processo construtivo, poderão ser minimizados com conhecimentos científicos de novos materiais que possam participar na cadeia produtiva. Melfi (1997) cita que, em 1807, na Índia, Buchanan, F. denominou laterita, argilas endurecidas, sem estratificação, extremamente porosas, ricas em cavidades e que possuíam grandes quantidades de ferro na forma de óxidos e hidróxidos de coloração amarelo avermelhada. Com o passar do tempo, o termo teve seu significado profundamente modificado sendo ampliado para solos, formações superficiais, couraças e formações ferruginosas endurecidas.

Os solos lateríticos são típicos de regiões tropicais e subtropicais da terra. No território brasileiro, são encontrados nas regiões identificados como latossolo, podzólico e terra roxa e solos lixiviados sob floresta. No Brasil, existem em grandes extensões. São resultados dos processos de transformação ocorridos nas rochas pelo intemperismo físico e químico. Chuvas abundantes e períodos de estiagem regular aceleram os processos de intemperismos desintegrando as rochas mais rapidamente. O ciclo de molhagem e secagem através da hidrólise faz com que os silicatos das rochas sejam atacados surgindo formação de (K^+ , Ca^{2+} , Na^{2+} , Mg^{2+} e Si^{4+}), ferro, alumínio e silício, entre outros. Se existe uma boa drenagem estas são carregadas pelas águas das chuvas, havendo concentração de compostos de ferro, alumínio e silício que são mais resistentes ao carregamento, formando um complexo de óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e silício como elementos predominantes. Nestas condições de intenso intemperismo são formadas as concreções lateríticas presentes nesses solos.

Cerca de 40% das terras emersas do globo são recobertas por lateritas. No Brasil, as lateritas recobrem perto de 65% da área total do país, (MELFI, 1997). Apesar da existência em grande extensão destes solos no nosso país, as jazidas de concreções lateríticas neles existentes são pouco utilizadas para concreto. Isto se deve principalmente a falta de conhecimentos científicos no uso deste material laterítico. Se maior conhecimento houver, poderá ser mais bem utilizado na construção civil. Este conhecimento científico e de uso prático na engenharia, poderá inclusive beneficiar outros países que disponham deste material. Como se sabe, a região amazônica do continente representa 44% do território sul-americano e abrange área de oito

países; nela encontram-se concreções lateríticas em grandes quantidades. Uma característica particular e que estimula o uso destas concreções na Região Norte do Brasil, é que existe ausência de brita granítica em grande parte dos 3.869.637 km², 45,5% do território brasileiro.

Este insumo 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 e com a presença de rios de grande volume de água, dificultando sobremaneira esta atividade. Este transporte de brita de origem ígnea pode atingir distâncias da ordem de 700 km da jazida ao canteiro de obras. Por vezes, esta substituição do agregado graúdo de brita granítica nas construções naquela região, é feita com seixo rolado, retirado do leito dos rios com meios precários, pela informalidade da atividade, e até com sacrifício de vidas humanas. Este é o cenário que se apresenta à execução de obras em parte da Região Norte do Brasil.

1.2 JUSTIFICATIVA

Na região Norte do Brasil, têm-se disponibilidade de ambos os materiais. O que pode justificar o uso das concreções lateríticas é sua disponibilidade e uma alternativa para barateamento do custo de produção do concreto com elas fabricado, para atender aos habitantes que nela residem. A utilização de novos materiais alternativos, só é possível quando vem atrelada a um conhecimento científico e vantagens econômicas. Este binômio gera confiança, modificando hábitos culturais, e pode ao longo do tempo, estimular seu uso. Alguns poucos pesquisadores obtiveram resultados que estimulam o uso de concreções lateríticas como agregado graúdo alternativo para fabricação do concreto. As resistências obtidas foram inferiores àquelas obtidas para o concreto convencional de brita de rocha granítica, mas atendendo condições de segurança em protótipos, vigas e lajes, testados em laboratório (CHAGAS FILHO, 1986; CHAGAS FILHO; BARBOSA, N. P, 1988; COSTA, 1997).

Uma característica marcante das concreções lateríticas quando comparadas com os agregados de rochas ígneas é sua maior porosidade que influencia algumas de suas propriedades mecânicas inclusive a resistência (CHAGAS FILHO, 1986), (CHAGAS FILHO; BARBOSA, P. 1988), (COSTA, 1997). O trabalho prático efetuado nesta pesquisa, iniciou-se com o estudo de beneficiamento do material laterítico, passando-se, em seguida, para a fase de verificação das características tecnológicas do materiais empregados, dando-se ênfase à laterita. A partir daí, foram moldados corpos de prova cilíndricos de 3 misturas de concreto laterítico e de

concreto a base de rochas ígneas. Este, por ser de qualidade comprovada, serviu de referência para viabilizar comparações das quais pode-se concluir o comportamento do concreto efetuado com agregado graúdo a base de laterita.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral, estudar o comportamento mecânico do concreto laterítico em comparação com o mesmo traço se empregado agregado de rochas ígneas comumente já empregado na região do estado do Acre.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estabelecer os procedimentos para processamento das concreções lateríticas em função das possíveis utilizações; em obras correntes

Apresentar as propriedades físicas e mecânicas dos concretos produzidos e demonstrando sua exequibilidade em cura térmica.

1.5 – DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Afim de realizar este estudo comparativo foram efetuados a caracterização dos agregados de Origem laterítica e de rocha são disponíveis no mercado de Rio Branco.

Devido a indisponibilidade de laboratórios tecnicamente equipados para realização de todos os testes em ambos os materiais tomamos como parâmetros os imprescindíveis a pesquisa que forma no caso os de compressão, tração indireta e cálculo do módulo de elasticidade.

1.6 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi organizado em 5 capítulos

No capítulo 1 trata-se da introdução do trabalho, apresentando os objetivos específicos que derem origem a pesquisa aqui apresentada.

No capítulo 2 são apresentados estudos sobre os concretos estruturais e as concreções lateríticas, abordando os materiais constituinte e materiais escolhidos. Abordam-se ainda as principais agressividades às quais estão submetidos os concretos estruturais como a ação da carbonatação e a ação de íons cloro livre, além da vida útil das construções e sua durabilidade. Sobre as concreções lateríticas faz-se uma descrição das mesmas, identificação de jazidas, dificuldades encontradas para obtenção de agregados de rocha granítica para utilização em concretos, possibilidades do uso de concreções lateríticas em concretos estruturais e construções de pequeno porte.

No Capítulo 3 trata de materiais e métodos utilizados na pesquisa com agregados graúdos lateríticos na fabricação de concreto.

No capítulo 4 apresentam-se os resultados dos ensaios de caracterização e ensaios tecnológicos. Apresentam-se resultados sobre o melhor teor de argamassa, curvas tensão-deformação, módulo de elasticidade, resistências obtidas com a cura térmica do concreto laterítico e curvas resistências em função dos dias de cura. A partir dos resultados obtidos, discutem-se sua viabilidade na aplicação em obras de pequeno porte

No capítulo 5 apresenta as principais conclusões, assim como sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nesta revisão bibliográfica tratar-se-á inicialmente de informações relativas aos materiais constituintes dos concretos estruturais (cimento Portland, agregados miúdos e graúdos, água de amassamento). Seguem informações sobre as concreções lateríticas, importância e necessidade de utilização de materiais alternativos, concretos com elas executados.

Mostra-se na sequência, as principais agressividades aos concretos estruturais, e as considerações sobre durabilidade prescritas pela norma brasileira NBR 6118:2003, estruturas de concreto armado.

2.2- CONCRETOS

A Figura 2.1 mostra as fases encontradas em um elemento de concreto. Para um melhor entendimento do seu comportamento frente às ações as quais está constantemente submetido, apresentam-se algumas considerações sobre estas fases e elementos que as compõem.

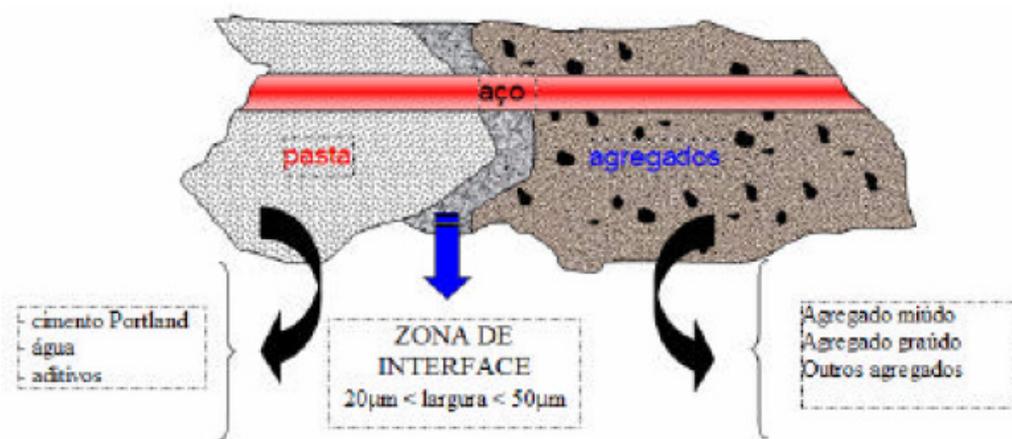


Figura 2.1 Idealização das fases observadas em um elemento de concreto

LIBORIO; LORENZETTI; GIANOTTI (2004).

2.2.1 - Materiais constituintes

I- CIMENTO PORTLAND COMUM

O cimento Portland é um pó cinza com partículas angulares de tamanhos da ordem de 1 a 50 µm. É um aglomerante hidráulico cujo processo de fabricação consiste no aquecimento a altas temperaturas das matérias-primas, calcário e argila, em proporções adequadas, originando o clínquer. O clínquer é moído, e ao final do processo é adicionado um teor mínimo de gipsita cuja função é impedir a pega instantânea. Basicamente, é constituído de cálcio e sílica, e outros minerais que constituem as impurezas. É obtido pela mistura íntima das seguintes fases:

- fase silicato, formada pelos silicatos tricálcicos (C3S) e dicálcico (C2S), e;
- fase intersticial, formada pela fase aluminato (C3A) e fase ferrita (C4AF).

a) Hidratação da fase silicato

Na química do cimento, o termo hidratação refere-se às reações químicas que ocorrem quando um cimento anidro, ou uma de suas fases, é colocado em contato com a água. Essas reações são de natureza complexa, não ocorrendo à hidratação dos seus compostos anidros em seus respectivos compostos hidratados, isto porque suas fases estão intimamente misturadas. Para simplicidade de análise, considera-se que a hidratação de cada composto ocorra de maneira independente dos demais, porém esta hipótese não é atendida plenamente devido à interação entre os compostos.

As fases silicato, C3S (silicato tricálcico) e C2S (silicato dicálcico) constituem cerca de 70% a 90% do volume de sólidos de uma pasta de cimento Portland totalmente hidratado e, ao se hidratarem produzem o mesmo composto hidratado, o C-S-H (silicato de cálcio hidratado). Este composto é responsável pelo desenvolvimento de resistência mecânica e durabilidade das argamassas e concretos. Considera-se que a hidratação do C3S, ocorre em cinco estágios.

Estágio I - Reação inicial. O C3S começa a reagir imediatamente após o contato com a água em um tempo aproximado de 15 segundos. A reação sendo rápida ocorre uma grande liberação de calor que vai diminuindo, à medida que o C-S-H(m=metaestável) precipita. A razão é que

esta fase hidratada inicial é mais solúvel do que o C-S-H(e=estável). Ao redor do grão de C3S, forma-se uma camada (“outer Shell”) de produto hidratado quase impermeável, que impede, parcialmente, o prosseguimento da dissolução, no tempo em que a velocidade da reação diminui sensivelmente (GARTNER e GAIDIS, 1989).

Estágio II - Período de Indução. Este é o período em que ocorrem reações simultâneas. A velocidade da reação global decresce e a taxa de liberação de calor também. Segundo Scrivener e Wieker (1992) é um período de relativa inatividade que tem duração aproximada de 2 horas, após o contato com a água. Isto explica os motivos pelo quais as argamassas e concretos permanecem no estado plástico por algumas horas.

O C-S-H(m) precipitado inicialmente atua na cinética da reação de hidratação, limitando, mas não impedindo totalmente a sua continuidade. Esta camada hidratada não é completamente impermeável e, por esta razão, o C3S subjacente ainda pode continuar a dissolver, e com maior rapidez, se porventura houver defeitos próximos à sua superfície. Para Gartner e Gaidis (1989), os íons cloro continuam dissolvendo-se a uma taxa constante, desde o início da precipitação do C-S-H(m). Sequencialmente, no vazio deixado pela camada externa (“out Shell”) é preenchido pelo novo C-S-H formado, designado C-S-H “interno” (“inner Shell”).

No final do período de indução, tem início a cristalização do CH e forma-se um novo produto hidratado, o C-S-H(e). O final deste estágio é caracterizado por um rápido aumento da velocidade de hidratação com maior liberação de calor. Considera-se como início de pega.

Estágio III - Período de aceleração. Ao final do estágio de indução produziu-se pouco material hidratado, porém é nesse 3º estágio, com duração entre 4 e 8 horas, que ocorrerá um aumento acentuado de material hidratado. Ocorre também nesse ínterim, um rápido desenvolvimento da quantidade de calor, com valor máximo no final desse estágio. Esse aumento de calor está relacionado à velocidade de crescimento dos cristais de CH e à dissolução do C3S. No final desse estágio ocorre o fim de pega, iniciando-se a fase de endurecimento.

Estágio IV - Período de desaceleração. A velocidade de reação diminui sensivelmente (duração de 12 a 24 horas), caracterizada pela queda na taxa de desenvolvimento de calor, pois a camada de C-S-H(e) impede a continuidade da hidratação pelo mecanismo, de dissolução-precipitação, passando a ter um novo mecanismo, o de difusão iônica, através da camada de C-S-H(e).

Estágio V - Período de reação lenta e contínua. A reação prossegue lentamente e em velocidade cada vez menor pelo processo de difusão iônica, com taxa de desenvolvimento de calor muito baixa. Os estágios IV e V são aqueles em que ocorrem o aumento da resistência e a diminuição da porosidade regra geral após 1 dia. A Tabela 2.1 seqüência da hidratação da fase C3S resume as reações de hidratação do C3S.

Tabela 2.1 seqüência da hidratação da fase C3S
JAWED; SKALNY (1983); apud CAMARINI (1995).

Período	Estágio da reação	Processos químicos	Comportamento cinético global
Inicial	I. Estágio de Pré-indução	Hidrólise inicial; Formação de íons	Reações muito rápidas e quimicamente controladas
	II. Estágio de Indução	Dissolução continuada; formação inicial de. C-S-H	Nucleação lenta e controle por difusão
Intermediário	III. Estágio Aceleração	Crescimento inicial dos compostos hidratados	Reações rápidas e quimicamente controladas
	IV. Estágio de Desaceleração	Crescimento contínuo dos compostos hidratados; desenvolvimento da microestrutura.	Reações moderadas, controladas quimicamente e por difusão.
Final	V. Estágio de Difusão	Densificação gradual da microestrutura	Reações muito lentas e controladas por difusão

Na hidratação do β C2S, observa-se a formação dos mesmos produtos de hidratação que se obtêm pela hidratação do C3S, no entanto segundo Jawed; Skalny e Young (1983 apud CAMARINI, 1995), as reações e a evolução da microestrutura prosseguem numa velocidade aproximada de 20 vezes menor. Então, como a liberação de calor é muito baixa dificulta o estudo do C2S por calorimetria. Entretanto, o primeiro pico de taxa de liberação de calor tem semelhança ao do C3S. Aproximadamente (10-15 segundos), em contato com a água, observasse a formação de uma camada rica em sílica e a precipitação muito lenta do C-S-H(m).

Não se observa supersaturação de CH, desde que seu crescimento para formação de cristais grandes é muito lento, e o segundo pico é muito baixo, tornando-se difícil sua medição.

b) Hidratação da fase Intersticial

Esta fase é constituída pelos aluminatos e ferroaluminatos de cálcio, C3A e C4AF, respectivamente, sendo o C3A mais reativo com a água, exercendo influência significativa nas reações de hidratação. O comportamento do C3A durante a hidratação, como os outros minerais do clínquer, depende dos mesmos fatores: temperatura, relação água/sólidos, área específica, presença de aditivos entre outros.

Para o cimento Portland é relevante a hidratação do C3A, na presença de sulfato de cálcio, substância presente no cimento, quando a partir da moagem do clínquer é adicionado um teor de gipsita para controlar o tempo de pega.

Como a etringita é normalmente encontrada na superfície do C3A, supõe-se que, inicialmente, forma-se uma camada semipermeável de etringita na superfície dos grãos de C3A, o que impede a difusão dos íons SiO_4^{2-} , OH^- e Ca^{2+} , diminuindo a reação e resultando num período de indução (Estágio II).

Quando a fase líquida do sistema hidratado torna-se deficiente de íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} , resultado do consumo total de gipsita, a camada de etringita se rompe e o C3A disponível reage com a etringita, transformando-se em monossulfoaluminato hidratado (AFm). Este momento coincide com o segundo pico de liberação do calor (Estágio III). Finalmente, o C3A remanescente reage com a água e formam-se os novos compostos hidratados.

A hidratação da fase ferrita (C4AF) ocorre paralelamente do C3A, com formação de fases análogas à etringita (AFt) e à fase monossulfoaluminato (AFm). As reações são mais lentas do que as do C3A e desenvolvem menos calor. O C4AF nunca reage rapidamente e a gipsita retarda mais sua hidratação.

c) Cimentos Portland e suas atuais especificações

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnica ABNT tem-se as seguintes designações para os cimentos nacionais.

Cimento Portland comum (EB 1/NBR 5732)

CPI – Cimento Portland comum
CP I S – Cimento Portland comum com adição
Cimento Portland composto (EB 2138/ NBR 11578)
CP II E – Cimento Portland Composto com Escória
CP II Z – Cimento Portland Composto com Pozolana
CP II F – Cimento Portland Composto com Fíler
Cimento Portland de alto forno – CP III (EB 208/ NBR 5735)
Cimento Portland pozolânico – CP IV (EB 758/NBR 5736)
Cimento Portland de alta resistência inicial – CP V ARI (EB 2/ NBR 5733)
Cimento Portland de alta resistência a sulfatos – (EB 903/ NBR 5737)

Cimento Portland Branco – CPB – Cimentos como o CP V ARI Plus e CP V ARI RS

São obtidos a partir de dosagens diferenciadas de clínquer e também por uma moagem mais fina do cimento, adquirem maior resistência inicial;

II-AGREGADOS

Segundo Scrivener (1989 apud SILVA, 2000), a influência dos agregados no concreto começa no momento da mistura. Sua granulometria, forma e textura, definirão a compacidade e o consumo de água para uma dada trabalhabilidade.

Com o avanço da hidratação, outras propriedades são importantes, tais como, porosidade, permeabilidade, resistência à tração, estrutura cristalina, coeficiente de expansibilidade térmica, dureza e composição química.

A característica dos agregados está diretamente ligada à sua formação mineralógica. Os agregados miúdos podem ser extraídos em leito de rio como é o caso da região do Acre, ou ser produzido por moagem artificial. Convencionalmente apresentam partículas que variam de 75µm a 4,8 mm. Os agregados artificiais são as argilas ou folhelhos expandidos. No Brasil (NBR 9935/1987) as pedras britadas são consideradas agregados artificiais. Escória de alto forno e cinza volante também o são. As massas unitárias das areias geralmente situam-se entre 1.520kg/m³ e 1.680 kg/m³. Os agregados leves têm massa unitária menor que 1.120kg/m³, enquanto os agregados pesados poderão apresentar massa unitária até 2.220 kg/m³.

Os agregados graúdos raramente são encontrados na forma natural, sendo a maioria deles obtidos por britagem. Metha e Monteiro (1994) citam que o agregado é responsável pela massa

unitária, módulo de elasticidade, resistência à tração e à compressão do concreto. Essas propriedades dependem das características do agregado, tais como, densidade, resistência, volume, tamanho e distribuição dos poros.

Nas últimas décadas, reações químicas danosas foram observadas entre agregados e cimentos Portland. Um gel de silicato alcalino tende a absorver água e depois se expande, causando tensões internas, podendo fissurar o concreto. Essa reação expansiva é conhecida como reação álcali-agregado. Não ocorrerá se o cimento Portland contiver menos que 0,6% de Na₂O equivalente.

A carbonatação reduz o efeito da reação álcali-agregado devido à formação de uma camada impermeável de carbonato de cálcio em torno do agregado (SILVA, 2004). A relação entre o tipo de agregado e o processo de carbonatação não é direta; no entanto, algumas características dos agregados condicionam várias propriedades dos concretos, tais como porosidade, massa específica e absorção de água. Um aumento na porosidade provoca uma difusão de gás, facilitando o avanço da frente de carbonatação. Em concretos densos, ou seja, com massa específica alta esta difusão é menor e, com relação à capacidade de absorção de água, a carbonatação pode tanto ser desfavorecida pelo aumento da umidade impedindo a difusão do gás quanto ser facilitada se a umidade absorvida for suficiente apenas para realização de reações internas.

III-PASTA DE CIMENTO

A pasta de cimento hidratado apresenta diferentes tipos de vazios, que têm grande influência nas propriedades de permeabilidade, resistência mecânica etc. A Figura 2.2 apresenta suas dimensões e considerações.

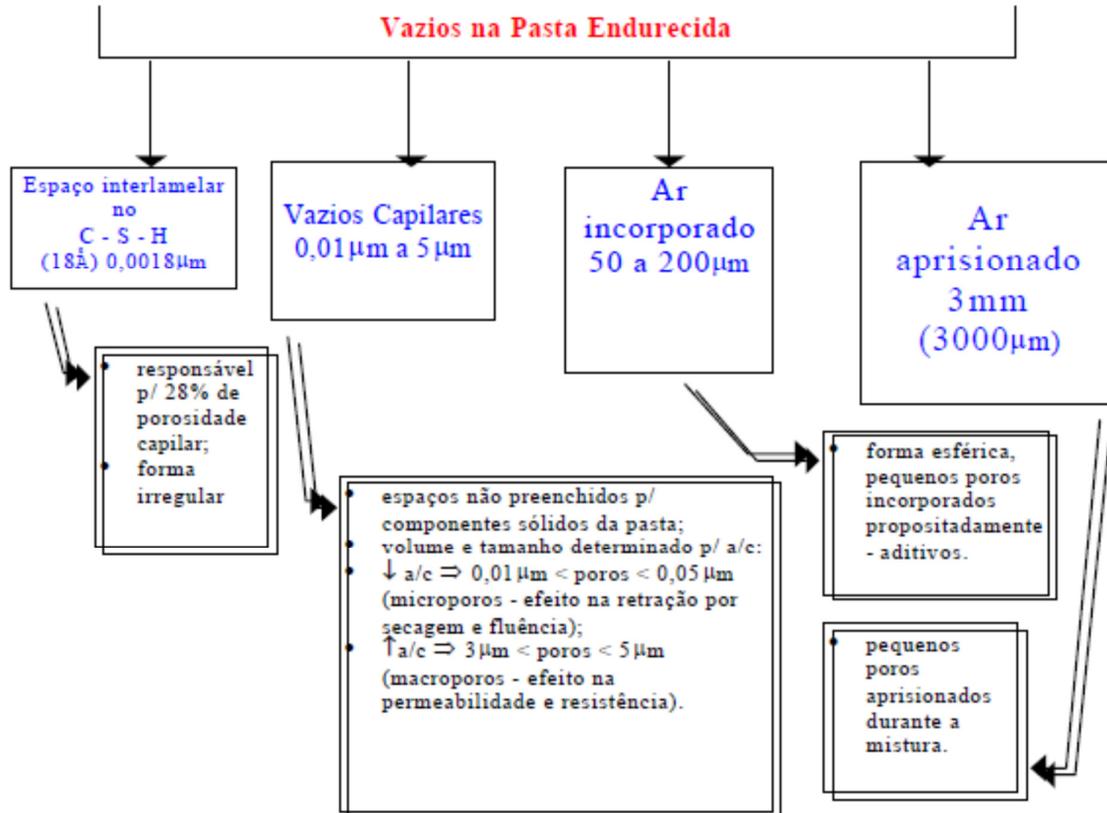


Figura 2.2 Vazios na pasta de cimento endurecida.

MELO (2000)

IV-ÁGUA DE AMASSAMENTO

A pasta de cimento não tratada é capaz de reter uma grande quantidade de água. Esta água na pasta pode estar presente de várias formas. Sua classificação é feita em função do grau de dificuldade ou de facilidade com que pode ser removida. Nos poros vazios ou parcialmente preenchidos a água na pasta pode existir nos seguintes estados:

Água capilar: esta é água presente nos vazios maiores 50nm. Pode ser descrita como o volume de água que está livre da influência das forças de atração exercidas pela superfície sólida. Pode ser dividida em água livre, situada em vazios grandes, com diâmetros maiores que 50 nm (0,05µm), pois que sua remoção não causa qualquer variação de volume e água retida por tensão capilar em capilares pequenos (5 a 50 µm) cuja remoção pode causar a retração do sistema.

Água adsorvida: é a água que está próxima à superfície do sólido; ou seja, sob influência das forças de atração, as moléculas de água estão fisicamente adsorvidas na superfície dos sólidos na pasta. Esta água pode ser perdida por secagem da pasta a 30% de umidade relativa. Esta perda é responsável principalmente pela retração da pasta na secagem.

Água interlamelar: também conhecida como água de gel, está associada à estrutura do CSH. Esta água é perdida somente por secagem forte, ou seja, abaixo de 11% de umidade relativa. A estrutura do CSH retrai bastante quando esta água é perdida.

Água quimicamente combinada: é conhecida também como água de cristalização é parte integrante da estrutura de vários produtos hidratados do cimento. Esta água não é perdida na secagem; é liberada quando os produtos hidratados são decompostos por aquecimento. Figura 2.3 mostra os vários tipos de vazios presentes na pasta de cimento Portland.

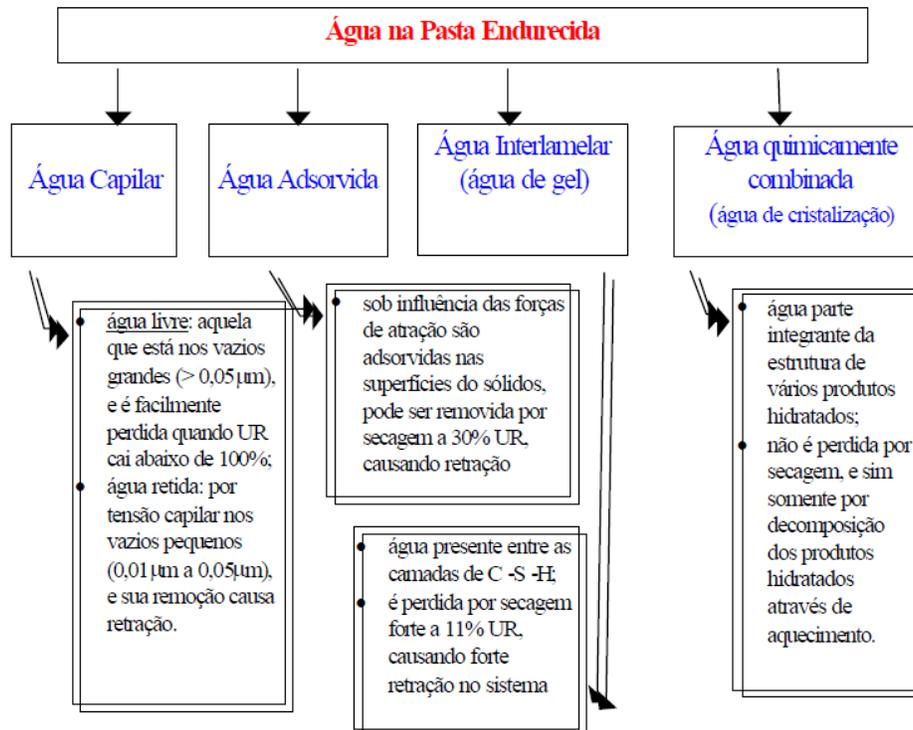


Figura 2.3 Quantidades e tipos de vazios presentes na pasta de cimento Portland

MELO (2000)

V-ADIÇÕES

O uso de adições minerais na construção civil é anterior à invenção do cimento, tendo iniciado, conforme Malhotra e Metha (1996, apud DAL MOLIN; D. C. C., 2005), no período de 1500 a.C. na Grécia, onde se adotava um material de origem vulcânica, originado de erupções ocorridas na ilha de Santorini. Essas adições difundiram-se por todo o império romano para execução de várias obras; o monte Vesúvio era a principal fonte das cinzas vulcânicas utilizadas.

Aditivos minerais são materiais silicosos finamente moídos, adicionados ao concreto em quantidades relativamente grandes, geralmente de 20% a 100% da massa de cimento Portland. Segundo Metha e Monteiro (1994) podem-se dividir os aditivos minerais mais importantes em dois grupos.

- Materiais naturais: materiais que tenham sido processados com o único propósito de produzir uma pozolana. O processamento consiste usualmente de britagem, moagem, e classificação por tamanho.

- Subprodutos: materiais que não são produtos primários de suas respectivas indústrias produtoras. Subprodutos industriais podem ou não requerer um processamento qualquer secagem e pulverização- antes de serem empregados como aditivos minerais.

De todos os materiais pozolânicos naturais apenas as terras diatomáceas não são derivados de rochas ou minerais vulcânicos.

As adições minerais, de acordo com sua ação físico-química, classificam-se em três grupos:

- **material pozolânico**
- **material cimentante**
- **fíler**

O material pozolânico definido pela ASTM C 618 (1978) e pela NBR 12653 - 1992, como material silicoso ou sílico-aluminoso que por si só possui pouco ou nenhuma propriedade cimentante, mas, quando finamente dividido e na presença de umidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente, para formar compostos com propriedades cimentantes. Exemplos destes são cinza volante com baixo teor de cálcio, pozolana natural, sílica ativa, cinza de casca de arroz e o metacaulim.

O material cimentante não necessita do hidróxido de cálcio presente no cimento Portland para formar produtos cimentantes como o C-S-H. No entanto sua auto-hidratação é normalmente lenta, e a quantidade de produtos cimentantes formados é insuficiente para aplicação do material para fins estruturais. Quando usado como adição ou substituição ao cimento Portland, a

presença de hidróxido de cálcio e gipsita acelera sua hidratação. Como exemplo, tem-se a escória granulada de alto forno.

Fíler é uma adição mineral finamente dividida sem atividade química, ou seja, sua ação restringe-se a um efeito físico de empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação para os grãos de cimento. O Tabela 2.1 a seguir ilustra estas adições.

Tabela 2.2 - Classificação das adições minerais para concreto

Cimentantes	Escória granulada de alto-forno
Cimentantes e pozolânicas	Cinza volante com alto teor de cálcio (CaO<10%)
Superpozolanas	Sílica ativa, metacaulim, cinza de casca de arroz produzida por combustão controlada.
Pozolanas comuns	Cinza volante com baixo teor de cálcio (CaO<10%), argilas calcinadas e cinzas vulcânicas.
Pozolanas pouco reativas	Escórias de alto forno resfriadas lentamente, cinza de casca de arroz predominantemente cristalina.
Fíler	Calcário, pó de quartzo, pó de pedra

METHA; MONTEIRO (1994), e RILEM (1998) apud Dal Molin (2005).

2.3 A LATERITA

2.3.1 Processo de formação

Segundo Queiroz de Carvalho (1979) o termo laterita apareceu na literatura pela primeira vez em 1807. Atribuído a um engenheiro britânico, Francis Buchanan, enquanto trabalhava na região que hoje é conhecida como Índia, o qual descobriu um material (solo) o qual inicialmente chamou de argila endurecida; posteriormente sugeriu que o termo inglês “laterite” seria mais bem apropriado. Este material tinha a propriedade de endurecer quando exposto ao ar ou já estava endurecido no lugar de origem e formação. Como dureza era de difícil interpretação e/ou definição, a cor vermelha ou avermelhada passou a ser um critério para definição de laterita. Até o início do século passado os viajantes dos trópicos referiam-se a todos os solos vermelhos como lateritas, Martin; Doyne (1927 apud QUEIROZ DE CARVALHO, 1976).

Francis Buchanan (1807) cita que o material era cheio de cavidades e poros, contendo uma grande quantidade de ferro nas tonalidades vermelho e amarelo. Usualmente os nativos

cortavam o material na forma de tijolos para construção e o designavam de pedra-tijolo (Itica cullu) no seu dialeto e que após lixiviado apresentava tonalidade escura.

Ainda segundo Queiroz de Carvalho (1976), as primeiras conceituações químicas das lateritas parecem ter sido introduzidas por Mallet (1883), citadas por Gidigazu (1976). Onde o ferro e o alumínio eram os principais elementos responsáveis pela natureza das lateritas. Warth; Warth (1903), observaram que algumas lateritas eram ricas em ferro e pobres em alumínio enquanto que outras eram pobres em ferro e ricas em alumínio. Concluíram que laterita é bauxita em vários graus de pureza. Nesta época, Mc Farlane (1976 apud QUEIROZ DE CARVALHO, 1979), surgiu a celeuma de como definir o material. Os que achavam predominância de óxido de alumínio no material designavam-o como bauxita; aqueles que encontravam ferro em predominância defendiam o termo laterita como proposto por Buchanan. No auge desta discussão, Leigh Fermor (1911), tomando como base o modo de formação e o conteúdo de óxidos de alumínio, ferro, titânio e manganês, sugeriu um sistema de classificação no qual a laterita seria designada por: laterita verdadeira, laterita “lithomargic”, laterita lago, laterita quartzosa, laterítico e lateritóide.

Com o passar do tempo, estudiosos ampliaram o termo que passou a designar solos, formações superficiais, couraças, carapaças, etc. Outros limitaram o termo a formações ferruginosas endurecidas. Com isto, geólogos, pedólogos, engenheiros não definem o mesmo objeto assim como o significado torna-se diferente. Shellmann (1982 apud MELFI, 1994) definiu laterita como acumulações superficiais ou subsuperficiais de produtos provenientes de intenso intemperismo de rochas, desenvolvidas sob condições favoráveis a uma maior mobilidade dos elementos alcalinos, alcalinos terrosos e de sílica, e imobilização de ferro e de alumínio. Para Melfi (1997), as lateritas a despeito de serem formadas a partir de um único processo, englobam vários produtos, desde que a intensidade varia de local, do tipo de material de origem, do tempo de atuação do processo, etc.

Segundo Costa (1991), o termo laterita, designa rochas formadas ou em processo de formação por meio de intenso intemperismo químico de rochas pré-existentes, incluindo as lateritas antigas, sob condições tropicais ou equivalentes. São ricas em Fe e Al e pobres em Si, K e Mg, se comparadas com a rocha que lhe deu origem, podem ser compactas, maciças, coesas e incoesas, com colorações variando do vermelho, violeta, amarelo, marrom e até branco. Em sua composição mineralógica encontram-se geralmente oxi-hidróxidos de ferro (hematita, magemita e goethita), de alumínio (gibsitita, boehmita e Al-goethita), de fosfatos de alumínio (crandalita-goyasita, variscita, angelita, vardita), de manganês (litoforita, todokorita), de argilo-minerais (caulita, esmectita, halloysita), e resistatos (turmalina, cassiterita, rutilo, etc).

Denomina-se laterização, ao conjunto de complexas reações químicas, mineralógicas e bioquímicas interligadas (hidrólise, hidratação, oxi-redução, quelação e redução), atuando sobre rochas pré-existentes. Estas reações sobre as rochas são devido ao seu contato com o meio ambiente de clima de florestas tropicais e subtropicais que ao longo do tempo transformam as rochas em lateritas.

Para 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 CO₂. O gás carbônico confere às soluções de alteração caráter levemente ácido, pH variando entre 5,5 e 6,0. Nestas 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 e a sílica mobilizada, porém com velocidade mais baixa que os alcalinos, com possibilidades em certas situações de recombinação de parte da sílica com o alumínio que permaneceu “in situ”, gerando argilominerais.

Os solos lateríticos são típicos de regiões tropicais e subtropicais da terra. No território brasileiro, são encontrados nas regiões identificados como latossolo, podzólico e terra roxa e solos lixiviados sob floresta. No Brasil, existem em grandes extensões. São resultados dos processos de transformação ocorridos nas rochas pelo intemperismo físico e químico. Chuvas abundantes e períodos de estiagem regular aceleram os processos de intemperismos desintegrando as rochas mais rapidamente. O ciclo de molhagem e secagem através da hidrólise faz com que os silicatos das rochas sejam atacados surgindo a formação de (K⁺, Ca²⁺, Na²⁺, Mg²⁺ e Si⁴⁺), ferro, alumínio e silício, entre outros. Se existe uma boa drenagem estas são carregadas pelas águas das chuvas, havendo concentração de compostos de ferro, alumínio e silício que são mais resistentes ao carreamento, formando um complexo de óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e silício como elementos predominantes.

A este complexo denomina-se fenalítico ou complexo de meteorização fenalítico. O encouraçamento, que é um processo de formação das concreções, é feito quando o ferro passa do estado ferroso (Fe²⁺) para o estado férrico (Fe³⁺) pela irrigação e precipitação, que com a continuada desidratação dos géis dão origem a hematita (Fe₂O₃), a menos que sejam criadas condições que favoreçam à redução.

Na precipitação do óxido de ferro hidratado, podem ser incorporadas outras partículas de solos, que cimentadas formam estruturas granulares cristalizadas e porosas à medida que o processo de desidratação continua. Quando ocorre a precipitação ao redor do núcleo, a forma produzida

é o pisólito, que é um elemento concrecionado em blocos soltos ou módulos, semelhantes aos seixos rolados com formas alongadas ou arredondadas.

Quando o encouraçamento - formação de concreções - ocorre no complexo ferralítico, é conhecido como acumulação relativa de sesquióxidos e quando fora deste, acumulação absoluta de sesquióxidos. Estas variações levam às diferentes propriedades características das concreções a exemplo de dureza variável, estrutura bem cimentada com poucos vazios ou aqueles pouco cimentados com porosidade. Com intemperismo atuando continuamente e ciclicamente, segundo leis da natureza, as concreções podem desagregar-se formando os cascalhos lateríticos, que por sua vez, podem agregar-se ou não para formar novos conglomerados. Os principais elementos presentes nas concreções são os óxidos de ferro Fe_2O_3 , alumínio Al_2O_3 e silício SiO_2 .

Segundo Maignen (1966 apud NETO, 1976), o óxido de ferro é a base do processo de endurecimento de materiais lateríticos e seus estudos mostram que quanto maior o conteúdo de sesquióxidos, maior o endurecimento, e que comumente na mesma ocorrência de materiais lateríticos a parte mais antiga e mais desidratada é mais dura que a parte mais recente. A Figura 2.4 mostra esta afirmação.

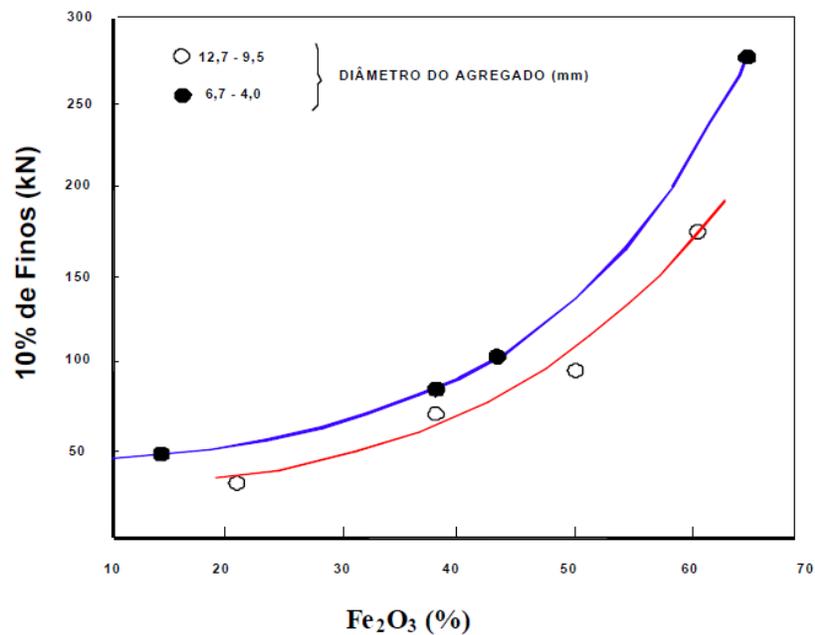


Figura 2.4 Efeito do conteúdo de óxido de ferro na resistência de agregados lateríticos

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

Como se observa, os conceitos encontram opiniões entre os diversos autores, principalmente quando se trata de definições e classificações. Queiroz de Carvalho (1979, 1985, 1986, 1997) pesquisou os mais diversos termos e conceitos que melhor podem ser atribuídos aos solos lateríticos e as concreções lateríticas. Concluiu que os mesmos têm que serem utilizados com cautela, devido à natureza complexa destes solos e um simples termo poderá defini- los inadequadamente.

2.3.2 - Jazidas de Concreções Lateríticas

Este material é encontrado em grandes extensões, da ordem de 40% das terras emersas, na região entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, faixa situada entre os paralelos 30° N e 30° S de latitude do planeta, conforme Figura 2.5. A América do Sul, África e Norte da Ásia e parte da Oceania possuem grandes reservas destes solos. Para Melfi (1997), áreas situadas fora da cintura tropical podem apresentar formações lateríticas (Sibéria, Europa Central, etc.).

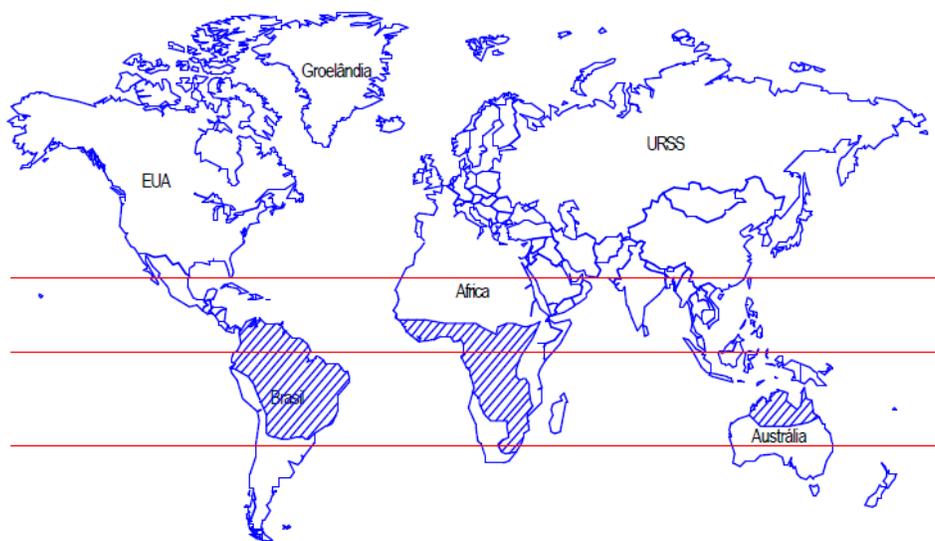


Figura 2.5 Mapa mundial mostrando as regiões de ocorrência de solos lateríticos

O Brasil possui grandes reservas nas regiões Norte e Nordeste. Mais de 60% do seu território é recoberto por formações lateríticas. Diz Melfi (1997), que esta cobertura não é homogênea, pois comporta diversos tipos de materiais lateríticos. O tipo mais comum é aquele representado por materiais argilo-ferruginosos, friáveis, que os processos pedogenéticos transformaram em um solo muito fino, pulverulento, com microagregação característica designados por latossolos. Na região do planalto central, pode-se encontrar mais raramente, formações endurecidas tanto na forma de couraças ou carapaças, ou descontínuas, como alguns solos nodulares do Nordeste Brasileiro cita o autor retro.

A região Norte, composta dos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins perfazem uma área total de 3.869.637 km², com densidade demográfica de 3,31 hab/km². A região Nordeste formada pelos estados do Maranhão, Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, com área total de 1.561.177 km² e tem uma população de 47.693.253 habitantes. A densidade demográfica da região é de 30,54 hab/km², com a maior parte da população concentrada na zona urbana (60,6%).

2.3.3 Escassez de agregados no Brasil

Reconhecidamente o Brasil possui uma grande tecnologia e experiência na fabricação de concreto. O conhecimento do uso das concreções lateríticas em concreto armado passa a ser, portanto, uma alternativa de enorme aplicação prática em regiões onde haja escassez de brita de rocha granítica e abundância daquele material. A Figura 2.6 mostra regiões de ocorrência de rochas graníticas e solos lateríticos no Brasil, respectivamente. No território brasileiro há grande ocorrência deste material. A Figura 2.6 apresenta as áreas do território brasileiro onde afloram predominantemente granitos e gnaisses, constituindo os escudos. Ao Norte, acha-se o escudo Guiano, no centro o central e próximo a costa, o escudo litorâneo. Acham-se separados por bacias de sedimentação antiga de idade paleozóica. Dentro destas áreas dos escudos ocorrem corpos batolíticos de rocha granítica. Observa-se uma grande área do território brasileiro em que não há ocorrência de agregados de rochas graníticas. No processo de obtenção desses agregados ou outros de qualidades equivalentes destinados a o setor construtivo deve ser levado em consideração também as distâncias de transporte. Observa-se que uma grande parte

da faixa litorânea que vai dos estados da Bahia ao Maranhão, onde se concentra um contingente elevado da população urbana, com alta demanda construtiva, não possui agregados graníticos. Agregados alternativos poderão minimizar custo de construção. Países andinos possivelmente também serão beneficiados com novas soluções no setor construtivo.

O termo concreção laterítica aqui, designa o material retido na peneira 4,8 mm. As concreções lateríticas, regra geral, possuem coloração avermelhada com manchas escuras devido a presença da hematita, que na análise química pode representar até 40% dos elementos presentes. A não correção da porosidade no fator a/c fará com que a água utilizada para a mistura seja absorvida pelas concreções influenciando a resistência do concreto.

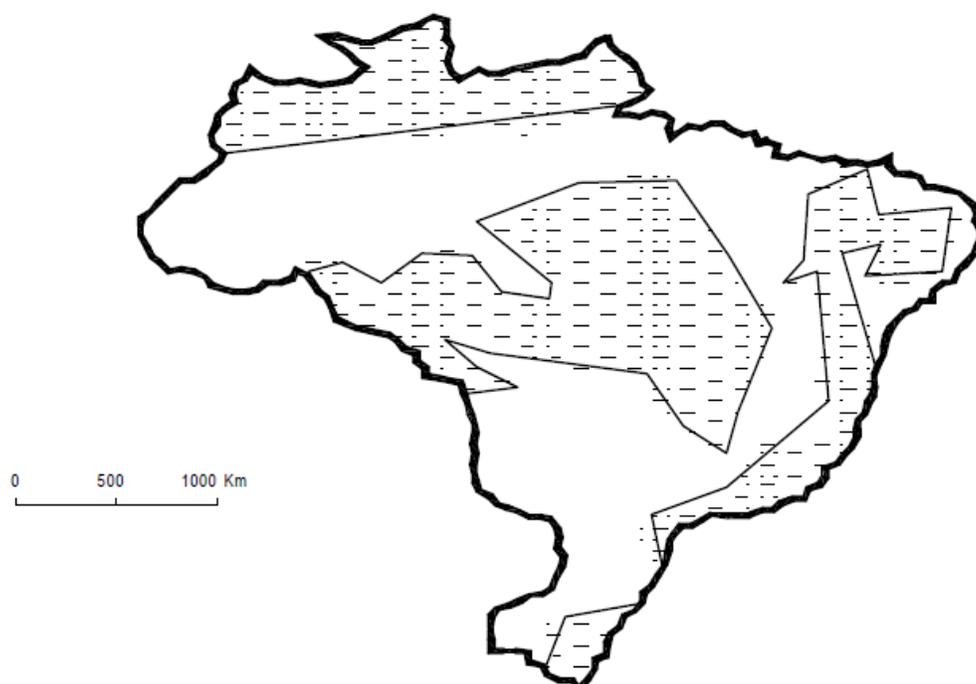


Figura 2.6 Áreas do Brasil onde afloram predominantemente granitos e gnaisses

2.4. CONCRETO LATERÍTICO

Embora haja grande disponibilidade de concreções lateríticas em jazidas no território nacional e no planeta, as informações sobre propriedades do concreto laterítico e do concreto armado laterítico são escassas. Limita-se a poucos estudos de alguns pesquisadores. A seguir, serão apresentados estudos já realizados sobre concreto laterítico.

Valores de resistência à compressão simples, resistência à tração, módulo de elasticidade e tensões de aderência em corpos-de-prova de concreto laterítico foram obtidos usando-se vários

métodos no tratamento do agregado graúdo (laterita). Estes tratamentos podem constar de peneiramento e/ou lavagem dos agregados durante determinados tempos. A resistência também varia com o teor de cimento.

Chagas Filho (1986), obteve o consumo de cimento de 358 kgf/m³ de concreto, no traço 1:2,3:2,7, resistência aos 28 dias da ordem de 20,0 MPa para agregados lateríticos de SP-PB e MO-PA. Os agregados foram usados sem lavagem. O quadro 2.13 apresenta outros valores obtidos por pesquisadores com outros procedimentos. Apresenta-se também a relação entre a resistência à compressão fcc e a resistência à tração fct, o módulo de elasticidade “E” dos concretos lateríticos e do concreto convencional, obtido por ultra-sonografia e determinação de coeficiente de Poisson “*v*”.

A resistência à tração (fct) do concreto laterítico, através do ensaio à compressão diametral, ensaio brasileiro, apresenta valores que variam de 8 a 12 por cento da resistência à compressão simples. Este intervalo corresponde também àquele obtido para o concreto convencional feito com agregado de rocha granítica.

2.5 - AGRESSIVIDADES AOS CONCRETOS

A NBR 6118:2003 no item 5 aborda o conceito de qualidade da estrutura e avaliação de conformidade do projeto. Pode-se entender qualidade como eficácia em satisfazer as expectativas de desempenho. Os requisitos de qualidade das estruturas de concreto são classificados em três grupos pela NBR 6118:2003:

- capacidade resistente adequada. Consiste basicamente na segurança à ruptura. Implica em resistir no todo ou em parte as ações previstas em projeto, sem ruptura e sem perda de equilíbrio;

- bom desempenho em serviço. A estrutura deve ser verificada para evitar fissuração excessiva, deformações abusivas ou incompatíveis com sua finalidade, vibrações indesejáveis;

- durabilidade. Capacidade da estrutura de manter-se em utilização durante o período previsto de vida útil, sem necessidade de reparos adicionais àqueles contidos no manual de manutenção da construção, se mantidas as condições ambientais e de uso estabelecidas quando da elaboração do projeto.

O comitê 201 do ACI (apud METHA e MONTEIRO, 1994), define durabilidade do concreto de cimento Portland como sendo a sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração; isto é, o concreto durável conservará sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao seu meio ambiente. Sarja e Vesikari (1996 apud ANDRADE, 2005), entendem durabilidade como a capacidade de um edifício, componente, estrutura ou produto manter um desempenho mínimo em um determinado tempo, sob a influência de agentes agressivos.

2.6 VIDA ÚTIL DAS CONSTRUÇÕES

Vida útil residual corresponde ao tempo decorrido após realização de uma vistoria, até um dos limites que caracterizem as diversas definições de vida útil. A vida útil de projeto vai do desempenho máximo no tempo inicial até o tempo de despassivação da armadura. A vida útil de utilização segue-se a anterior, manifestando a estrutura sinais patológicos como manchas, fissuras, destacamentos, etc. Se não é feita intervenção sobre a mesma o colapso é atingido sendo este tempo total decorrido considerado como vida útil.

O modelo clássico de vida útil das estruturas de concreto foi proposto por Tuutti (1982) e é mostrado na Figura 2.7. Helene (1993), tomando como base este modelo, apresenta uma conceituação e definição objetiva de vida útil. Diz que podem ser distinguidas pelo menos três situações e suas correspondentes vidas úteis, apresentadas na Figura 2.7, que contempla o fenômeno da corrosão das armaduras por ser o mais frequente, o mais importante e mais conhecido cientificamente, mas que como modelo conceitual aplica-se a todos os mecanismos de deterioração.

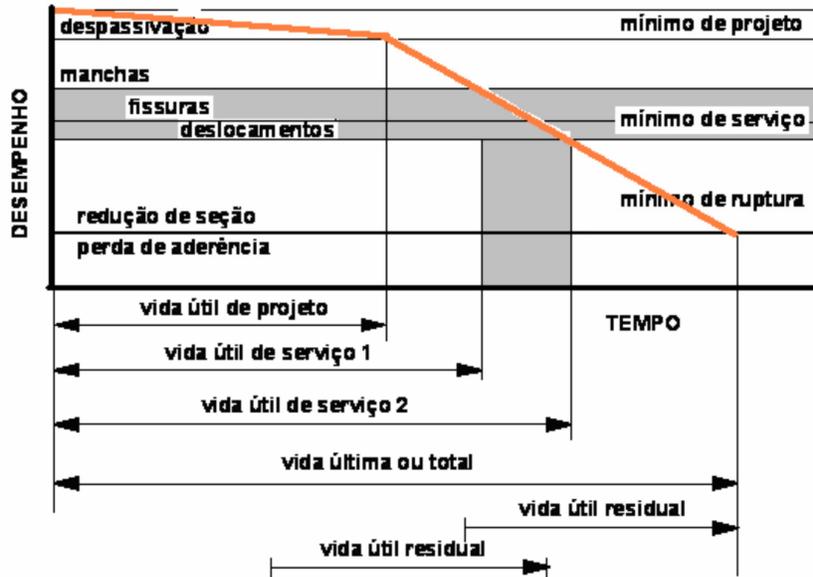


Figura 2.7 Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando como referência a ação química as armaduras.

O conhecido diagrama de Sitter ilustra a variação do tempo em função dos custos de intervenção corretiva nas diversas fases ou etapas do processo construtivo. Nele apresentam-se um custo relativo que aumenta de uma unidade monetária em uma fase de projeto até 125 unidades monetárias numa fase de manutenção corretiva, com o diagnóstico da(s) patologia(s) existente(s), reparos, reforços e proteção de estruturas. Acrescente-se a isto outros transtornos inerentes ao processo.

Em obras de caráter provisório, ou efêmero é tecnicamente recomendável adotar-se vida útil de pelo menos um ano. Para as pontes e outras obras de caráter permanente, poderão ser adotados períodos de 50, 75 ou até mais de 100 anos conforme recomendado pelas normas internacionais, inglesas, BS 754316, apresentada na Tabela 2.3

As normas brasileiras, por enquanto, não especificam vida útil de projeto, infelizmente. Em princípio parece estar subentendido 50 anos (HELENE, 2004).

Tabela 2.3 - Vida útil de projeto recomendada pela norma inglesa

BS7543,1992 Guide to Durability of Buildings and Buildings Elements, Products and Components	
vida útil	tipo de estrutura
< 10 anos	temporárias
> 10 anos	substituíveis
> 30 anos	edifícios industriais e reformas
> 60 anos	edifícios novos e reformas de edifícios públicos
> 120 anos	obras de arte e edifícios públicos novos

Uma classificação mais rigorosa, com base na concentração de certas substâncias agressivas no ambiente que envolve a estrutura ou suas partes, pode também ser utilizada em casos especiais, recomendando-se os limites orientativos constantes da norma do CETESB L 1.007.

Alternativamente em lugar desta norma e no caso de agressividade ao concreto, um outro critério mais rigoroso pode ser a avaliação através de determinações específicas conforme os valores referenciais propostos pelo CEB/FIP Model Code 1990, apresentados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Classificação da agressividade ambiental visando a durabilidade do

Classe de agressividade	pH	CO ₂ agressivo (mg/l)	Amônia NH ₄ ⁺ (mg/l)	Magnésio Mg ²⁺ (mg/l)	Sulfato SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Sólidos dissolvidos (mg/l)
I	>6,0	<20	<100	<150	<400	>150
II	5,9-5,1	20-30	100-150	150-250	400-700	150--50
III	5,0-4,5	30-100	150-250	250-500	700-1500	<50
IV	<4,5	>100	>250	>500	1500	<50

Notas:

1. No caso de solos a análise deve ser feita no extrato aquoso do solo;
2. Água em movimento, temperaturas acima de 30°C, ou solo agressivo muito permeável conduz a um aumento de um grau na classe de agressividade;
3. Ação física superficial tal como abrasão e cavitação aumentam a velocidade de ataque químico.

2.6.1 - A NBR 6118:2003 e as considerações sobre durabilidade

O conceito de vida útil de uma estrutura está intimamente associado ao de durabilidade. A norma NBR 6118:2003 quanto à exigência de durabilidade prescreve que as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto conservem suas segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

Acrescenta que sobre vida útil, entende-se o período durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

O CEB MC 90 conceitua durabilidade de uma estrutura de concreto prescrevendo que ela deve ser projetada, construída e operada de tal forma que, sob condições ambientais esperadas, ela mantenha sua segurança, funcionalidade e aparência aceitável durante o período de tempo, implícito ou explícito, sem a necessidade de elevados custos de manutenção e reparo.

Segundo a NBR 6118:2003, na falta de ensaios comprobatórios de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e nível de agressividade prevista em projeto, quanto aos parâmetros mínimos exigidos e a forte correspondência entre a relação água/cimento, a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se adotar os requisitos mínimos estabelecidos na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto,

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	= 0,65	= 0,60	= 0,55	= 0,45
	CP	= 0,60	= 0,55	= 0,50	= 0,45
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	= C20	= C25	= C30	= C40
	CP	= C25	= C30	= C35	= C40

Notas: O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na

NBR 12655; CA-componentes e elementos estruturais de concreto armado;

CP-componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Capítulo 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

A busca por materiais alternativos para a construção civil com finalidade de baratear custos é imperiosa, diante do crescimento populacional existente, limitação de recursos econômicos e escassez de recursos naturais pelas altas demandas de consumo. A pesquisa sobre agregado laterítico para utilização em concreto é de grande utilidade social, econômica e acadêmica.

3.1 FLUXOGRAMA DA PESQUISA

A Figura 3.1 mostra o fluxograma norteador para a pesquisa, descrevendo a organização das etapas de campo e de laboratório.

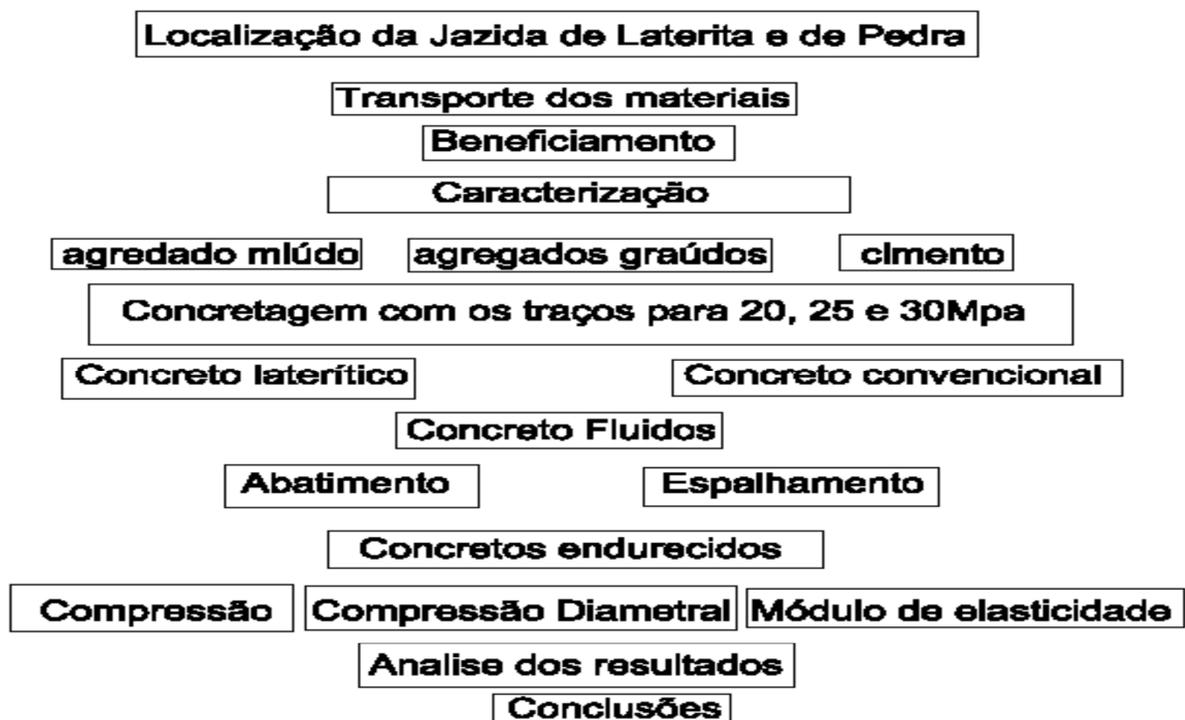


Figura 3.1 Fluxograma de pesquisa

3.2 METODOLOGIA DE PESQUISA

Para este estudo comparativo com objetivo de fazer a análise entre um concreto elaborado com Laterita e outro com Brita de rocha ígnea, foram elaborados 3 traços base para cada material e comparados os resultados de todas as etapas afim de se obter as conclusões do estudo.

O estudo foi dividido em duas etapas:

a primeira – ensaios macro e micro estruturais

a segunda - e análises dos resultados

3.2.1 Primeira etapa

Primeiramente foi definida a origem dos agregados a serem utilizados nos testes de comparação do concreto laterítico e do concreto utilizando pedra convencionalmente utilizada na região.

Após foram feitos os transportes das amostras até o laboratório para o beneficiamento das amostras dos agregados e do aglomerante.

3.2.2 Segunda etapa

A fim de estudar a resistência a esforços mecânicos do agregado laterítico foram realizados uma série de testes normatizados afim de se comprovar a sua aplicabilidade em concretos. Os grãos do agregado devem ser resistentes e duráveis. Eles devem ter resistência maior que a da argamassa que os envolve, pois, do contrário esta não seria totalmente aproveitada e, como se sabe ela é o elemento de custo mais elevado entre os constituintes do concreto.

Os testes efetuados foram:

- 1- ensaios de corpos de prova executados em cubos de 7 x 7 x 7 cm de aresta;
- 2- ensaio de esmagamento que no caso foi executado conforme descreve a NBR 9938;
- 3- resistência a abrasão pelo ensaio Los Angeles;
- 4- resistência ao intemperismo;
- 5- reatividade potencial;
- 6- influencia do agregado no módulo de elasticidade do concreto;

A fim de investigar os resultados dos concretos elaborado com agregado graúdo laterítico e pedra, foram elaborados 36 corpos de prova (CP) cilíndricos com 100 mm de diâmetro por 200mm de comprimento. Como mostrado na figura 3.2. A cura dos mesmos foi realizada em

câmara úmida do laboratório da Pedra Norte LTDA. Posteriormente os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de compressão axial e compressão diametral de acordo com as normas NBR 5739 (ABNT, 2007) e NBR 7222 (ABNT, 2010), respectivamente, nas idades de 7, 14 e 28 dias, sendo com o auxílio de uma prensa universal com capacidade para 200 toneladas força. O módulo de elasticidade foi estimado de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2004).



Figura 3.2 - Concreto imersos para processo de cura

3.3 - MATERIAIS UTILIZADOS NO ESTUDO

3.3.1 - Cimento

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o mais comumente comercializado em Rio Branco/ACRE que é CP-IV Z 32 (CIPLAN). Que cujas características físico químicas atendem as norma 11578 (ABNT, 1991).

3.3.2 - Agregado miúdo

Foi utilizada uma areia proveniente do Rio Acre, com massa específica **2,63 kg/dm³** e massa unitária de **1,61 kg/dm³**, determinadas de acordo com a NBR 7251/1982 e NBR 9779/1987. A composição granulométrica foi definida atendendo as recomendações da NBR 7217/1987. A Figura 3.3 mostra a curva granulométrica da areia.

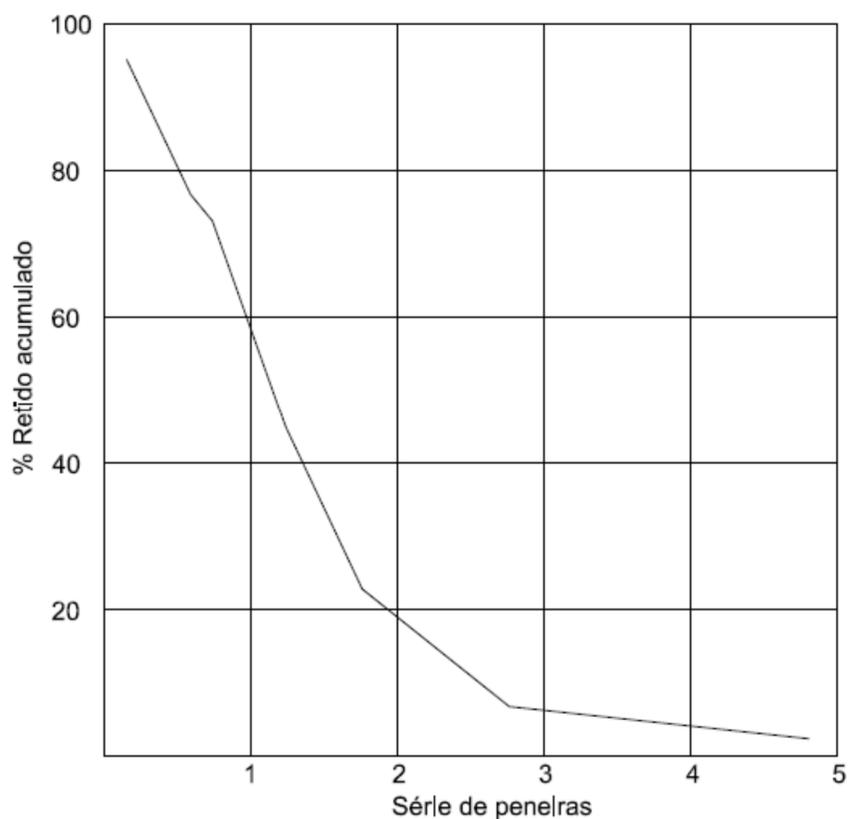


Figura 3.3 - Curva granulométrica da areia utilizada

3.3.3 - Agregados graúdos

I-LATERITA

Para os ensaios foram testados uma série de Lateritas provenientes de uma jazida localizada no município vizinho (Senador Guiomard) que fica a 28KM de Rio Branco.

A massa específica encontrada foi de **2,41 kg/dm³**, absorção de **8,53%** e a massa unitária de **1,40kg/dm³**, foram calculados de acordo com a NM 53 (ABNT, 2009) e NM 45 (ABNT, 2006), respectivamente. O índice de materiais pulverulentos, **0,93%**, e a perda de massa por abrasão “Los Angeles”, **32,54%**, foram determinados de acordo com as normas MB 9 (ABNT, 1987) e NM 51 (ABNT, 2001).

Nesta pesquisa, frente às dificuldades e impossibilidades encontradas na execução dos ensaio que iriam verificar este possível reatividade, teve que recorrer às informações colhidas junto a profissionais que exercem suas atividades na cidade de Cruzeiro do Sul / ACRE, onde foram constatadas diversas edificações construídas por volta da década de 50 e que ainda se encontram em utilização. Uma delas é a Catedral da Igreja Católica que esta não apresenta trincas ou fraturas, que seriam evidência da expansão do concreto. Por este motivo, face crer que o agregado utilizado nesta obra é um agregado inócuo. No entanto, pelo fato de a laterita ser formada através de intemperismo, esta tem grande variação no que diz respeito às suas qualidades. Observa-se, que mesmo em jazidas relativamente próximas, podem ocorrer variações no tamanho, forma, cor resistência e constituição mineralógica dos grãos de concreção. Por este motivo não se pode concluir que a lateria utilizada nesta pesquisa seja, também inócua.

A amostra utilizada para efetuar a análise química, foi retirada do material que passa na peneira de malha quadrada, com abertura de 38mm e fica retida na 4,8mm. Este ensaio foi executado no laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do ACRE e teve como composição química apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Composição química da Laterita utilizada nos ensaios

Perda ao fogo	7,95%
SiO ₂	24,02%
TiO ₂ + Al ₂ O ₃	14,81%
Fe ₂ O ₃	52,94%
CaO	Traços
MgO	Traços
Na ₂ O	0,083%
K ₂ O	0,46%

Este resultado da análise química revela que o material está altamente laterizado, haja vista que os elementos lateríticos, isto é, o ferro, a alumina e o óxido de titânio, perfazem um total de **67,75%**, sobressaltando o ferro com **52,94%**.

II-PEDRA BRITADA

Para este agregado, não foram realizados todos os ensaios físico químicos realizados para o agregado anterior, visto que o mesmo já é indiscutivelmente mais resistente a todas as características. Tal agregado já é utilizado em nossa região e neste estudo serve apenas de parâmetro referencial afim de se chegar as conclusões da viabilidade técnica da aplicação do agregado laterítico.

Desta forma este foi apenas classificado afim de aproximar-se em termos granulométricos do agregado anterior afim de servir como referencial. Na dosagem foram utilizados os parâmetros já aferidos pela empresa que nos forneceu este item do concreto.

3.3.4 - Granulometria

O material remetido ao laboratório não reproduziu a real granulação da jazida da qual foi explorado, até porque não é objetivo deste a caracterização do jazida especificamente. Logo para a análise das resistências o material foi separado na série de peneiras afim de se obter as quantidades de matérias necessárias ao desenvolvimento do traço a ser proposto. Tal procedimento fora realizado para a Laterita como para a Pedra Britada.

INDICES DE QUALIDADE

Para a elaboração deste quadro, todos os ensaios que foram realizados com a Laterita, foram também realizados com o agregado Ígneo, conforme o demonstrado da Tabela 3.2 a seguir.

Tabela 3.2 - Quadro comparativo das características físicas dos agregados utilizados

Características ou índices de qualidade	Laterita	Pedra Britada (dados da pedreira)
Forma	Arredondada	Irregular
Textura	Áspera	Áspera
Material Pulverolento (%)	0,93	0,75
Resistencia ao esmagamento (%)	31	14
Peso unitário (Kg/dm ³)	1,40	1,63
Massa Específica (Kg/dm ³)	2,41	2,90
Absorção (%)	8,35	0,80



Figura 3.4 - Ensaio de absorção de água

A laterita contém películas de argila que cobrem seus grãos dificultando a aderência destes com a argamassa, o que vem a agravar a já pior aderência apresentada pela lateria, em comparação com a da pedra, devido à forma dos grãos destes agregados.

Como a parte mais débil do concreto é a ligação entre a argamassa e os grãos do agregado, é quase certo que o concreto elaborado com rocha será mais resistente que o da laterita.

Observando as características físicas da laterita, verifica-se que estas são inferiores as da pedra britada, acarretando em menores resistências aos esforços mecânicos. A resistência ao esmagamento e a abrasão da pedra são superiores.

Uma observação deve ser feita quanto a porosidade da laterita, pois esta condição vacuolar, leva a uma absorção de 8,35%, enquanto que a pedra leva a uma absorção de 0,80%. Este problema poderá ser solucionado fazendo-se uma correção na quantidade de água de amassamento do concreto, de forma a ser mantida a quantidade de água desejada por proporcionar ao concreto as características desejáveis. Outra forma de solucionar este inconveniente é, antes de se efetuar a mistura do concreto com laterita, é fazer a imersão deste agregado em água, por um período de no mínimo meia hora, para que seus poros vazios sejam preenchidos, No momento da mistura, a superfície do grão deve estar seca.

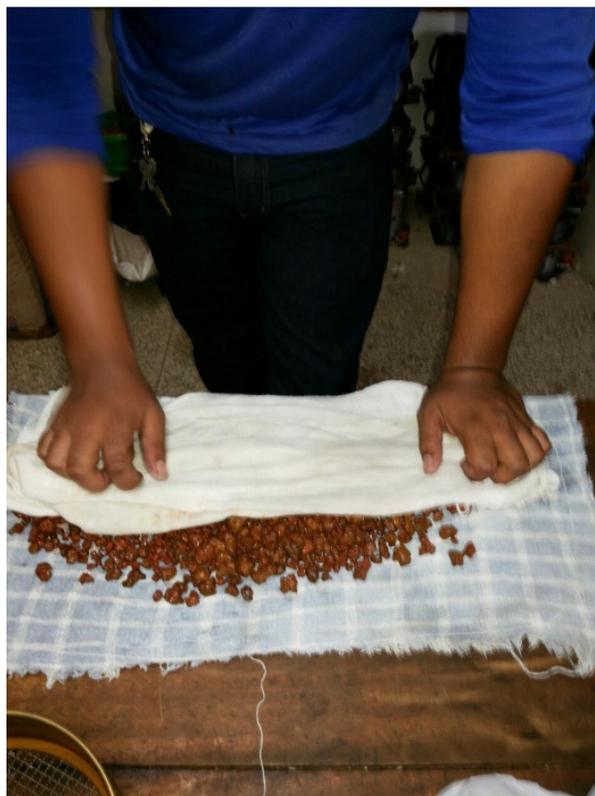


Figura 3.5 – Pré-secagem da laterita



Figura 3.6 - Agregados comparados e sua forma características.

3.4 DOSAGEM

O método de dosagem utilizado foi o preconizado pelo American Concrete Institute (ACI) em seu comitê 613. Efetuaram-se 3 misturas de concreto com agrado laterítico e 3 misturas com concreto convencional (pedra britada). Para estes traços procurou-se abranger a faixa de consumo de cimento de 400 a 450 kg/m³, variando este parâmetro.

Para cada mistura foram moldados 18 corpos de prova com concreto laterítico sendo 6 para cada faixa de resistência de 20, 25 e 30Mpa e 18 corpos-de-prova com concreto convencional para as mesmas faixas de resistência. Foram também elaborados 2 corpos de prova de cada traço ou seja 6 no total nas dimensões de (150 x 300 mm) para posterior ensaio de tração por compressão diametral aos 28 dias conforme ABNT 7222:1994 para a comparação.

Tabela 3.3 – Traço com GRANITO, 400 Kg de cimento e a/c 0,60

TRAÇO COM GRANITO					400 kg/m ³		
MATERIAIS	VOL. 1m ³	PESO ESP.	PESO 1 m ³	MARCA	A/C	0,600	
Cimento	129,45	3,090	400	CIPLAM CPII - Z 32			
Água	240,00	1,000	240,00		% Arg. Vol.	0,520	
Areia lavada	265,62	2,625	697,25		Abatimento	100mm	
BRITA 19mm	218,88	2,710	593,16				
BIRTA 9,5mm	145,92	7,710	1125,04				

COMPONENTES	Cimento	Areia lavada		brita 9,5mm	brita 19mm		Água
Traço unitário	1	1,744		0,989	1,483	0,000	0,6
Quant. p/ 1m ³	9,00	15,696		8,901	13,346	0,000	5,400

Tabela 3.4 - Traço com LATERITA, 400 Kg de cimento e a/c 0,64

TRAÇO COM LATERITA					400 kg/m ³		
MATERIAIS	VOL. 1m ³	PESO ESP.	PESO 1 m ³	MARCA	A/C	0,640	
Cimento	129,45	3,090	400	CIPLAM CPII - Z 32			
Água	256,00	1,000	256,00		% Arg. Vol.	0,520	
Areia lavada	257,43	2,625	675,75		Abatimento	80mm	
Agregado 19mm	214,27	2,770	593,53				
Agregado 9,5mm	142,85	2,770	395,69				

COMPONENTES	Cimento	Areia lavada		Laterita 9,5mm	Laterita 19mm		Água
Traço unitário	1	1,689		0,989	1,484		0,64
Quant. p/ 1m ³	9,00	15,204		8,903	13,355		5,760

Tabela 3.5 - Traço com GRANITO, 436 Kg de cimento e a/c 0,62

TRAÇO COM BRITA					436 kg/m ³	
MATERIAIS	VOL. 1m ³	PESO ESP.	PESO 1 m ³	MARCA	A/C	0,620
Cimento	141,10	3,090	436	CIPLAM CII - Z 32		
Água	270,32	1,000	270,32		% Arg.	0,520
Areia lavada	238,33	2,625	625,62		Vol.	100mm
BRITA 19mm	210,15	2,710	569,51			
BRITA 9,5mm	140,10	2,710	379,67			
Total	1000,00					

COMPONENTES	Cimento	Areia lavada		brita 9,5	brita 19mm		Água
Traço unitário	1	1,435		0,871	1,306		0,62
Quant. p/ 1m ³	9,00	12,914		7,837	11,756		5,580

Tabela 3.6 - Traço com LATERITA, 436 Kg de cimento e a/c 0,58

TRAÇO COM LATERITA					436 Kg/m ³	
MATERIAIS	VOL. 1m ³	PESO ESP.	PESO 1 m ³	MARCA	A/C	0,588
Cimento	141,10	3,090	436	CIPLAM CII - Z 32		
Água	256,37	1,000	256,37		% Arg.	0,520
Areia lavada	245,59	2,625	644,67		Vol.	80mm
Agregado 19mm	214,17	2,770	593,24			
Agregado 9,5mm	142,78	2,770	395,49			

COMPONENTES	Cimento	Areia lavada		Laterita 9,5mm	Laterita 19mm		Água
Traço unitário	1	1,479		0,907	1,361		0,588
Quant. p/ 1m ³	9,00	13,307		8,164	12,246		5,292

Tabela 3.7 - Traço com GRANITO, 450 Kg de cimento e a/c 0,64

TRAÇO COM BRITA					450 kg/m³		
MATERIAIS	VOL. 1m ³	PESO ESP.	PESO 1 m ³	MARCA			
Cimento	145,63	3,090	450	CIPLAM CPII - Z 32		A/C	0,640
Água	288,00	1,000	288,00			% Arg. Vol.	0,520
Areia lavada	224,61	2,625	589,60			Abatimento	100mm
BRITA 19mm	205,06	2,710	555,70				
BRITA 9,5mm	136,70	2,710	370,47				

COMPONENTES	Cimento	Areia lavada		BRITA 9,5mm	BRITA 19mm		Água
Traço unitário	1	1,310		0,823	1,235		0,64
Quant. p/ 1m ³	9,00	11,792		7,409	11,114		5,760

Tabela 3.8 - Traço com LATERITA, 450 Kg de cimento e A/C 0,64

TRAÇO COM LATERITA					450 Kg/m³		
MATERIAIS	VOL. 1m ³	PESO ESP.	PESO 1 m ³	MARCA			
Cimento	145,63	3,090	450	CIPLAM CPII - Z 32		A/C	0,640
Água	288,00	1,000	288,00			% Arg. Vol.	0,520
Areia lavada	224,61	2,625	589,60			Abatimento	100mm
Agregado 19mm	205,06	2,770	568,01				
Agregado 9,5mm	136,70	2,770	378,67				

COMPONENTES	Cimento	Areia lavada		Laterita 9,5mm	Laterita 19mm		Água
Traço unitário	1	1,310		0,841	1,262		0,64
Quant. p/ 1m ³	9,00	11,792		7,573	11,360		5,760

3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS (LATERITA E BRITA)

3.5.1 Laterita

A Laterita pesquisada, fica em uma jazida localizada na BR-317 no município de Senador Guimard a 32 Km de Rio Branco. Fica próxima ao presídio daquele município em terras de propriedade particular devidamente localizada nas seguintes coordenadas: Latitude 10° 6'44.18"S Longitude 67°38'38.60"O.



Figura 3.7 - Foto Google Earth (outubro, 2014) da localização da Jazida de Laterita



Figura 3.8 - Laterita na Jazida - Demonstra a presença de torres



Figura 3.9 - Laterita no estado bruto e com materiais orgânicos

3.5.2 Pedra britada

A pedra utilizada na análise foi a fornecida pela Pedreira PedraNorte LTDA que fica localizada no estado de Rondônia na BR364 a 250km da capital do acre, já próxima a travessia do Rio Madeira conforme localização geográfica:. Latitude $9^{\circ}38'9.65''S$ Longitude $65^{\circ}33'21.45''O$.



Figura 3.10 - Localização da Pedreira estudada, Google Earth (outubro, 2014)



Figura 3.11 material utilizado para estudo



Figura 3.12 - material para estudo com muita presença de finos

3.6 - ENSAIOS

3.6.1 Mistura, Moldagem, Armazenamento e Cura

Todo o procedimento foi feito no laboratório da Concreteira PedraNorte LTDA estabelecida em Rio Branco. As misturas foram feitas em betoneira de 410 litros conforme os traços já mencionados anteriormente.

3.6.2 Consistência do Concreto

A consistência dos concretos foram aferidas através do teste de batimento de tronco-de-cone segundo método ABNT NBR 7223:1998. Para os concretos foram adotados o abatimento de 80,0mm +- 10,00mm.

Foi realizado também o ensaio de espalhamento, onde era verificada a presença de segregação e verificada a consistência utilizando a mesa de Graft e seguindo as orientações da ABNT NBR 9606:1998.



Figura 3.13 - concreto laterítico na betoneira



Figura 3.14 - ensaio de abatimento



Figura 3.15 – a figura mostra o teste do abatimento tronco-de-cone

3.6.3 Adensamento e moldagem dos Corpos-de-prova

Para o adensamento do concreto nas formas, foi utilizado o procedimento da norma ABNT NBR 5738:1994, haste com 60 cm e 1/2" de diâmetro sendo estes preenchidos em 5 camadas sendo aplicadas 12 golpes por camada de modo a evitar vazios em sua moldagem.



Figura 3.16 - preparação dos corpos-de-prova



Figura 3.17 - Capeamento

Capítulo 4 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste ítem, serão apresentados os resultados das propriedades dos concretos endurecidos, verificados nessa pesquisa, seguidos de uma análise qualitativa dos aspectos mais importantes destes resultados.

4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

As tabelas 4.3, 4.4 e 4.5 mostram os resultados comparativos de resistência dos concretos em relação as idades de rompimento conforme os traços propostos.

4.1.1 Resultados da compressão axial com agregado laterítico

A Figura 4.1 mostra as fissuras apresentadas após o ensaio de compressão axial, veja que apresentam-se no sentido normal ao esforço aplicado.



Figura 4.1 - corpo de prova depois de submetido à compressão axial

Tabela 4.1 - resultados da compressão axial traço laterita

Compressão Axial: Traço 1				
CP	Área (mm ²)	Ruptura: 7 dias (MPa)	Ruptura: 14 dias (MPa)	Ruptura: 28 dias (MPa)
1	7.854	14,44	16,15	23,65
2		14,62	15,76	22,78
Média Aritmética		14,53	15,95	23,79
Compressão Axial: Traço 2				
1	7.854	15,40	18,45	26,32
2		16,43	18,76	26,14
Média Aritmética		15,91	18,60	26,23
Compressão Axial: Traço 3				
1	7.854	14,32	23,32	31,34
2		15,43	22,43	32,56
Média Aritmética		14,87	22,87	31,95

4.1.2 Resultados da compressão axial com agregado pedra britada

Tabela 4.2 - resultados da compressão axial traço pedra britada

Compressão Axial: Traço 1				
CP	Área (mm ²)	Ruptura: 7 dias (MPa)	Ruptura: 14 dias (MPa)	Ruptura: 28 dias (MPa)
1	7.854	16,12	18,34	21,23
2		15,23	17,34	21,54
Média Aritmética		15,67	17,84	21,38
Compressão Axial: Traço 2				
1	7.854	16,34	21,45	25,23
2		16,68	21,53	26,87
Média Aritmética		16,51	21,49	26,05
Compressão Axial: Traço 3				
1	7.854	15,34	25,23	33,23
2		15,76	24,76	34,76
Média Aritmética		15,55	24,99	33,99

Tabela 4.3 - resistência a compressão axial traço 1

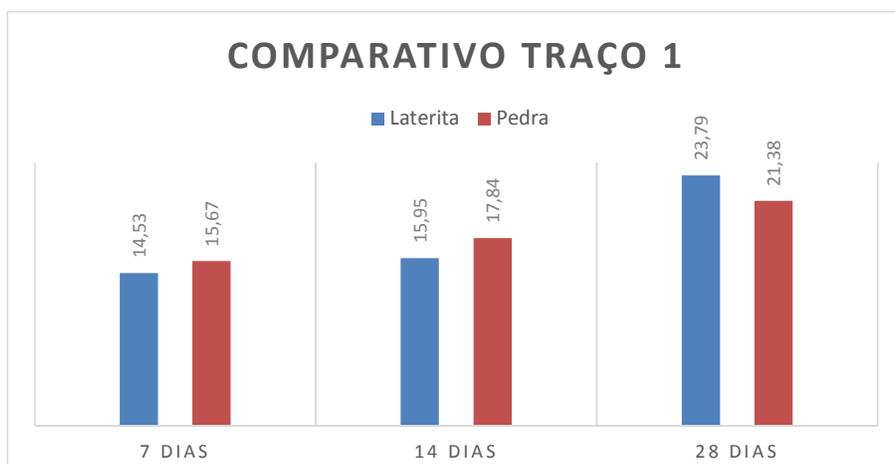


Tabela 4.4 - resistência a compressão axial traço 2

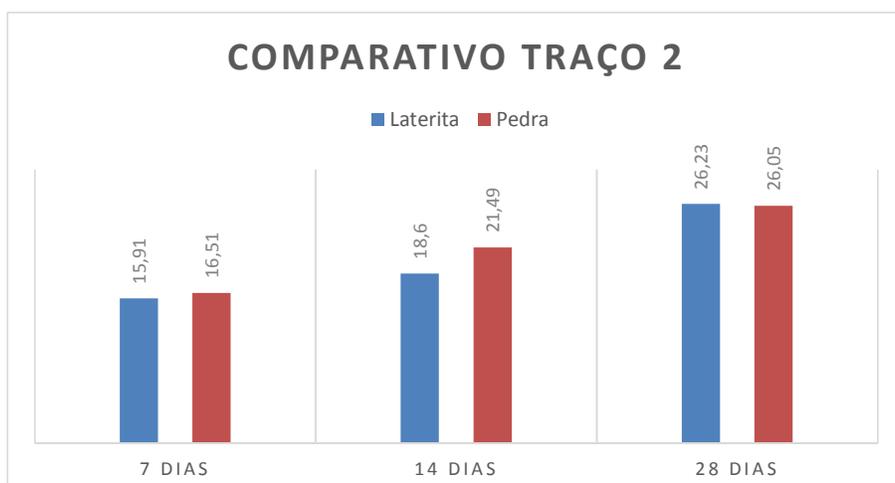
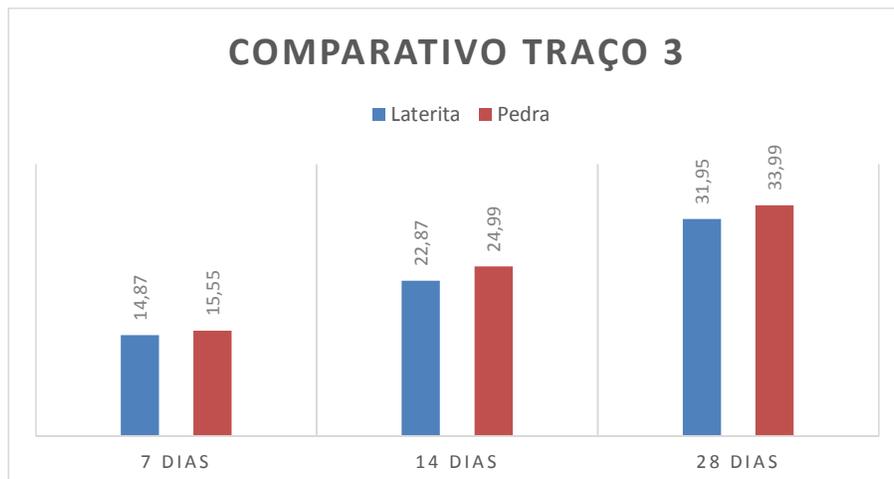


Tabela 4.5 - resistência a compressão axial traço 3



Observamos que neste comparativo a resistência de ambos os concretos ficou muito próxima sendo que nos dois primeiros traços com menor quantidade de cimento, o concreto elaborado com agregado laterítico obteve até resistências superiores.

4.2 TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL



Figura 4.2 - Corpos de prova abertos depois de submetidos a compressão diametral

4.2.1 Resultados da compressão diametral para o agregado com laterita

Tabela 4.6 - resultado do ensaio de compressão diametral (laterita)

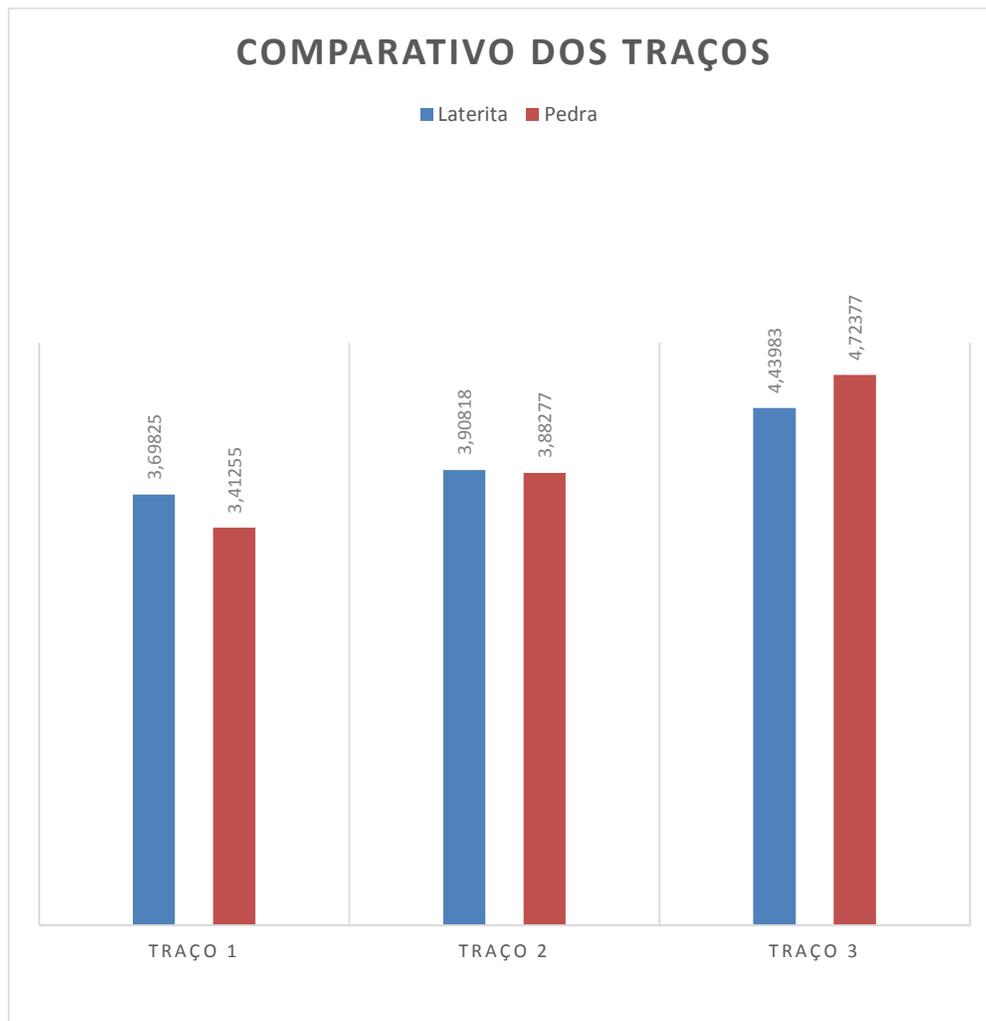
Tração: Traço 1		
CP	Área (mm ²)	Ruptura: 28 dias (MPa)
1	3.140	3,52385
2		3,8726
Média Aritmética		3,698225
Tração: Traço 2		
1	3.140	3,89536
2		3,921
Média Aritmética		3,90818
Tração: Traço 3		
1	3.140	4,41894
2		4,46072
Média Aritmética		4,43983

4.2.2 Resultados da compressão diametral para o agregado brita

Tabela 4.7 - resultado do ensaio de compressão diametral (pedra britada)

Tração: Traço 1		
CP	Área (mm ²)	Ruptura: 28 dias (MPa)
1	3.140	3,16327
2		3,6618
Média Aritmética		3,412535
Tração: Traço 2		
1	3.140	3,73404
2		4,0305
Média Aritmética		3,88227
Tração: Traço 3		
1	3.140	4,68543
2		4,76212
Média Aritmética		4,723775

Tabela 4.8 - Comparativo entre os resultados da compressão diametral



4.3 MÓDULO DE ELASTICIDADE

O módulo de elasticidade para cada amostra, nas idades de 7, 14 e 28 dias foi estimado de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2003) e são apresentados na tabela 11. Segundo esta norma, o módulo de deformação longitudinal depende da resistência à compressão do concreto, e pode ser estimado satisfatoriamente pela equação 1.

$$E_c = 5.600 \cdot \sqrt{f_c}$$

O quadro apresenta os resultados obtidos

Tabela 4.9 – módulo de elasticidade para a laterita

Módulo de elasticidade: Traço 1			
CP	Módulo: 7 dias (MPa)	Módulo: 14 dias (MPa)	Módulo: 28 dias (MPa)
1	21280,00	22504,76	27233,51
2	21412,22	22231,37	26727,90
Média Aritmética	21346,21	22364,97	27314,00
Módulo de elasticidade: Traço 2			
1	21975,99	24053,94	28729,69
2	22699,00	24255,18	28631,28
Média Aritmética	22336,91	24151,52	28680,53
Módulo de elasticidade: Traço 3			
1	21191,39	27042,84	31350,00
2	21997,38	26521,78	31954,37
Média Aritmética	21594,52	26780,65	31653,63

Tabela 4.10 - módulo de elasticidade para a pedra britada

Módulo de elasticidade: Traço 1			
CP	Módulo: 7 dias (MPa)	Módulo: 14 dias (MPa)	Módulo: 28 dias (MPa)
1	22483,84	23982,13	25802,57
2	21854,35	23319,14	25990,28
Média Aritmética	22167,80	23652,96	25893,57
Módulo de elasticidade: Traço 2			
1	22636,75	25935,92	28128,51
2	22871,05	25984,24	29028,32
Média Aritmética	22754,20	25960,09	28581,95
Módulo de elasticidade: Traço 3			
1	21933,13	28128,51	32281,46
2	22231,37	27865,28	33016,26
Média Aritmética	22082,75	27994,40	32648,53

Tabela 4.11 - comparativo entre os módulos de elasticidade traço 1

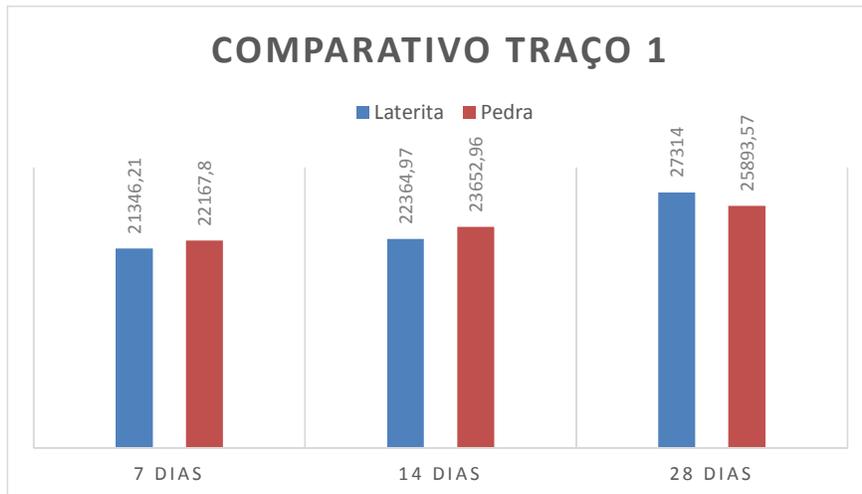


Tabela 4.12 - comparativo entre os módulos de elasticidade traço 2

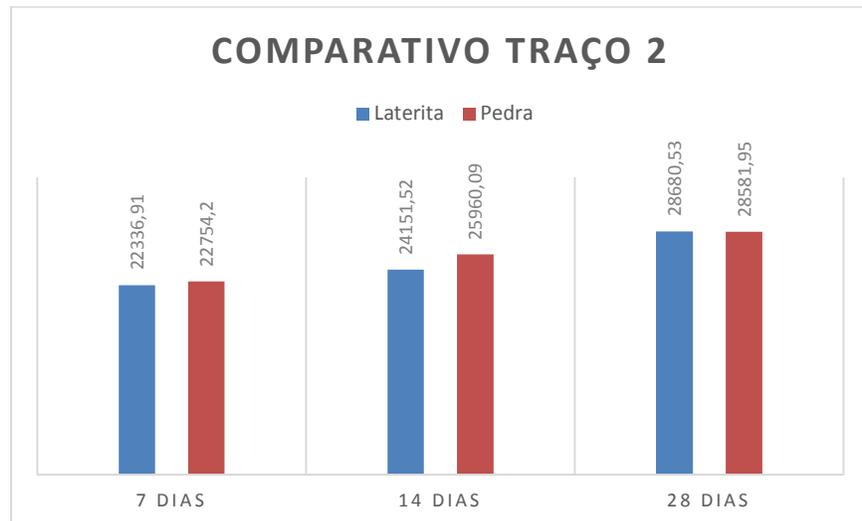
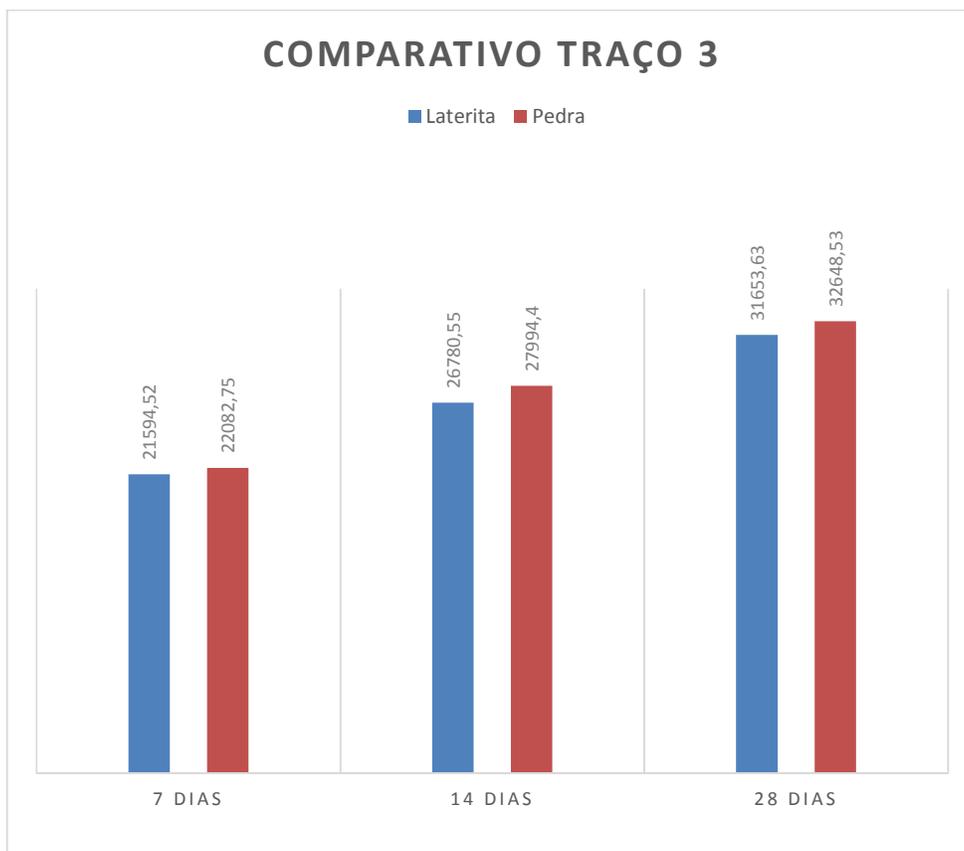


Tabela 4.13 - comparativo entre os módulos de elasticidade traço 3



Capítulo 5 - CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados das concreções lateríticas em relação as concreções com agregado convencional de rochas de origem vulcânicas comumente utilizados em nossa região, podemos concluir que o concreto laterítico é viável tecnicamente para o uso em nossa região.

Como observado nos testes a laterita proveniente da jazida estudada atende as especificações técnicas mínimas para a utilização com concretos destinados a baixas resistências. Resistências estas que atendem as normas vigentes para a utilização em concreto armado.

A laterita, antes de ser utilizada em concreto, deve passar por um beneficiamento de lavagem. Isso pode ser feito no próprio canteiro de obra, utilizando-se uma peneira cilíndrica acoplada por exemplo a uma betoneira afim de dar maior produtividade ao processo de beneficiamento. A quantidade de água de amassamento do concreto laterítico, face a alta absorção da laterita, deverá ser corrigida a manter-se a quantidade de água necessária para proporcionar ao concreto as características desejáveis.

As resistências à compressão e à tração do concreto laterítico aumentam com o aumento de consumo de cimento da mesma forma que o concreto convencional. Constata-se no entanto que a partir de um determinado consumo de cimento, os valores das resistências do concreto laterítico tendem a uma estabilização devido ao fato de estarem limitadas a resistência do agregado. Porém, estes valores estão ainda dentro dos padrões para serem aplicados em obras correntes.

As resistências à compressão e à tração do concreto laterítico aumentam com a diminuição do fator água cimento, conforme acontece com o concreto convencional. Para pequenos valores deste fator, as resistências do concreto laterítico são menores e não tem a mesma progressão que as do convencional.

O módulo de elasticidade do concreto laterítico aumenta com o aumento do consumo de cimento, na mesma proporção que o concreto granítico.

A absorção do concreto laterítico é maior que a do concreto convencional. Isso deve-se a porosidade do agregado. Um dado interessante é que devido ao peso específico menor do agregado alterítico, o concreto elaborado com este é cerca de 7% menor que o convencional.

A laterita, proveniente da jazida estudada, pode ser utilizada como agregado em obras correntes. No entanto, nas obras em que a superfície do concreto fica aparente, não é aconselhado sua utilização devido as manchas aparentes deste agregado que possui um tom avermelhado.

Nas obras especiais, em que são exigidas resistências mais elevadas dos concretos, torna-se necessário efetuar estudos objetivando melhorar as propriedades de resistências deste concreto. Uma solução para estes casos é a utilização seria a mistura da laterita a um outro tipo de agregado de maior resistência.

5.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.

- Pesquisar um novo processo de beneficiamento para a lateria, que seja mais econômico e mais eficiente, além de efetuar estudo visando o tratamento da água de refugo, para que esta não veja a poluir os mananciais em que seja despejada.

- Efetuar estudos de verificação da possível reatividade da lateria com o álcalis do cimento. Entre os ensaios, indica-se o exame petrográfico, medidas de variações volumétricas e de características em barras de argamassa, ensaio químico e ensaio de cilindro de concreto.

- Verificar o comportamento do concreto laterítico em relação às mudanças de volume por variações de umidade (expansões e contrações devidas à absorção e perda de água).

- Estudar as distintas percentagens de agregado de laterita misturado a um outro, originário de uma rocha sã, com o intuito de melhorar as propriedades de resistência mecânica deste concreto, para aplicação em obras especiais.

- Efetuar estudo de verificação do comportamento do concreto sem finos, efetuado com laterita.

- Pesquisar o comportamento das propriedades do concreto lateritico através dos ensaios de resistências aos esforços mecânicos quando para a variação do consumo de cimento e variação do fator água/cimento

-Verificar a possível relação existente o ensaio de esmagamento do agregado e as propriedades de resistência aos esforços mecânicos do concreto efetuado com este agregado.

-Pesquisar qual a influencia do óxido ferroso (Fe_2O_3) existente na laterita nas propriedades do endurecimento do concreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. 2009. *NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro. 8 pp (in portuguese).

MELFI, A. J. Lateritas e Processos de lateritização. Publicação 093/94. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, São Paulo, 1997.

_____. 2006. *NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume vazios*. Rio de Janeiro. 8 pp (in portuguese).

Calister, W.D. 2002. *Ciência e Engenharia dos materiais: Uma introdução*. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, RJ. 589 pp (in portuguese).

_____. 1997. *MB 9: Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos*. Rio de Janeiro. 2 pp (in portuguese).

_____. 2007. *NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndrico*. Rio de Janeiro. 9 pp (in portuguese).

Neto, B.B.P. 1976. *Um estudo sobre as propriedades de resistência mecânica de concreto laterítico*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB. 132 pp (in portuguese).

CHAGAS FILHO, M. B; PERAZZO BARBOSA, N.: Concreto Laterítico armado. Revista estrutura, n 115, Rio de Janeiro, julho de 1996, p. 80 – 87.

CHAGAS FILHO, M. B; PERAZZO BARBOSA, N.: Pesquisa sobre concreto laterítico, Resultados Iniciais. XXIV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural - II Simpósio

HELENE. P. R. L. Vida útil das estruturas de concreto. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

Helene, P.; Terziam. P. 1992. *Manual de Dosagem e Controle do Concreto*. PINI / SENAI. São Paulo, SP. 189 pp (in portuguese).

LIBORIO, J. B. L.; Futida, J. E. C. Utilização do agregado graúdo laterítico em concretos de elevado desempenho. PIBIC/USP/CNPq. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, SP, 2005.

Queiroz de Carvalho, J.B. et al. Estudo de solos lateríticos: definição e classificação. 21^a Reunião Anual de Pavimentação. Salvador-Ba. set. 1986.

SILVA, P.F.A. Durabilidade das Estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana. Ed. Pini. 1995.

SOUZA, A.C.G.; FERRAZ, C. P. Algumas considerações sobre possibilidade de utilização de laterita com o agregado na composição do concreto de cimento Portland. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1979.

ANEXO A



Figura 5.1 amostras de laterita ainda em estado bruto



Figura 5.2 figura mostra rompimento do agregado lateritico no cp de 28 dias



Figura 5.3 classificação dos agregados para os ensaios



Figura 5.4 - balança utilizada para a pesagem dos insumos



Figura 5.5 - detalhe mostra os grãos encontrados na laterita