

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE

Área de Concentração: Geotécnica

ESTUDO DAS CONCREÇÕES LATERÍTICAS DE TOCANTINS COMO
AGREGADO GRAÚDO NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND DESTINADO A PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

ROBSON BARROS ARAÚJO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande-PB, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

Campina Grande – Paraíba

Dezembro de 2009

ROBSON BARROS ARAÚJO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós –
Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da
Universidade Federal de Campina Grande – Campina
Grande, como parte dos requisitos necessários para
obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA
CIVIL E AMBIENTAL**

Área de Concentração: Geotécnica

Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho
Orientador

Campina Grande, Dezembro de 2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B277e

2009 Araújo, Robson Barros.

Estudo da concreções lateríticas de Tocantins como agregado graúdo na fabricação de concreto de cimento portland destinado a pavimentação rodoviária / Robson Barros Araújo. — Campina Grande, 2009.

110f.: il. Color.

Referências.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho.

1. Pavimento Rígido. 2. Agregado Graúdo. 3. Concreções Lateríticas. I. Título.

CDU 625.84 (043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Robson Barros Araújo

Título: Estudo das Concreções Lateríticas de Tocantins como Agregado Graúdo na Fabricação de Concreto de Cimento Portland Destinado a Pavimentação Rodoviária

Dissertação defendida em 18/12/2009

Banca Examinadora

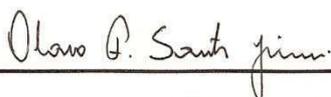
(Assinatura)



Prof. D. Sc. (Orientador) Milton Bezerra das Chagas Filho

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

(Assinatura)



Prof. D. Sc. (Examinador externo) Olavo Francisco dos Santos Junior

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

(Assinatura)



Prof. D. Sc. (Examinador Interno) Adriano Elísio de Figueirêdo Lopes Lucena

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

(Assinatura)



Prof. D. Sc. (Examinador Interno) Raimundo Leidimar Bezerra

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Absolon e Marly, pelo incentivo, amor, paciência e por acreditarem na minha pessoa e no meu sucesso.

Ao meu irmão, por sua admiração.

E em especial, minha avó, Elvira Santos, que sempre teve um carinho especial por mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela iluminação e força tão importantes na conclusão de mais uma etapa acadêmica;

A Universidade Federal de Campina Grande, através do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil e Ambiental;

Ao Professor Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho, pela orientação e apoio que proporcionaram a conclusão do trabalho;

Ao Professor Dr. Olavo Francisco dos Santos Junior, da UFRN, pelas valiosas contribuições e disponibilidade na análise do trabalho;

Ao Professor Dr. Adriano Elísio de Figueirêdo Lopes Lucena, pelos conselhos e análise do trabalho;

Ao Professor Dr. Raimundo Leidimar Bezerra pela sua contribuição na análise final do trabalho;

Ao Professor Dr. Kennedy Guedes Rodrigues, pelos ensinamentos e incentivos durante todo o período do mestrado;

Ao CNPq pela bolsa de estudo concedida;

À Empresa ATECEL, por disponibilizar o laboratório e fornecer equipamentos e recursos para o desenvolvimento do trabalho;

À secretária do programa de Pós-Graduação, Josete Barros, pela atenção e amizade;

Aos amigos de curso: Adma leal, André Quintans, Emerson Santana, Lêda Christiane, Paulo Feitosa, Saul Guedes, Washington Santos e em especial Danilo Medeiros e Hugo Jordão pela força e auxílio para a conclusão do trabalho;

Aos funcionários da ATECEL, em especial Lelé, pelo auxílio durante a realização dos ensaios;

A amigos e familiares especiais: Diego Barros, Elaine Kristina, Giscard Agra, Hugo Jordão, Katiuscia Nobrega, Katyene Farias, Julia Assunção, Jalisson Barros, Marcelo Muniz, Milka Santos e Rodolfo que fortaleceram os alicerces do trabalho, cada um com uma forma especial e por sempre estarem disponíveis para um apoio, uma força;

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a finalização do trabalho.

RESUMO

É de fácil constatação de que a maior proporção das rodovias do Brasil foi e é executada em CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), isto é, pavimento flexível, ao invés do CCP (Concreto de Cimento Portland), conhecido como pavimento rígido, apesar de os estudiosos da área terem o conhecimento das vantagens deste último tipo de pavimento, como durabilidade e melhor manutenção. Entre os maiores empecilhos para que se prefira o uso do pavimento flexível ao invés do pavimento rígido é o custo na execução deste último, o qual é agravado pelo valor da brita granítica, utilizada como agregado graúdo, quando direcionado a regiões onde há escassez de jazidas de tal material. Nestes locais, o valor do metro cúbico da brita granítica pode ficar 48% mais elevado do que em regiões onde há facilidade de se obter este tipo de agregado. Devido aos valores elevados para a execução do pavimento em CCP e tendo conhecimento que 40% das terras emersas do globo, entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, são recobertas por lateritas, atingindo tal percentual 60% do território do Brasil, é que se viu a necessidade de uma análise da laterita como agregado graúdo destinado a pavimento rígido. Para isso, foram realizados ensaios físicos das concreções e ensaios mecânicos com o concreto laterítico, verificando e comprovando a viabilidade do uso de tal agregado em concreto destinado a pavimentação rodoviária, tornando esse material uma alternativa para regiões onde há escassez de jazidas de rocha de brita granítica, como o Norte brasileiro e determinadas regiões do Planeta.

PALAVRAS-CHAVE: pavimento rígido, agregado graúdo, concreções lateríticas.

Abstract

It is easily observed that major number of highways in Brazil have been made in CBUQ, that is, flexible pavement, instead of CCP, better known as rigid pavement, although professionals of this area know the advantages of this kind of pavement, such as durability and easy manutention. Among the major reasons flexible pavement is preferred than rigid pavement it is the cost in working with rigid pavement, that becomes higher by granite brite cost, used as coarse aggregate, when applied in places where there is a lack of jazides of that material. For those places, the final cost of granite brite cubic meter can increase over 48 p.c., if the same is compared to places where this is easily found. Because of the high costs for the execution of pavement in CCP, and knowing that 40 p.c. of emerse lands of the Earth, between tropics of Cancer and Capricorn, are cover by laterites and that, in Brazil, that percentage comes close to 60 p.c. of the total area of the country, that there has been seeing the need of analyzing lateritic as coarse aggregate due to rigid pavement. In order to do that, physic experiments were done to concretions and mechanic ones to lateritic concrete, verifying the viability on usage that kind of aggregate in concrete due to highway pavement, showing that kind of material an alternative to places where granitic brites are low, as like North of Brazil and others places on Earth.

KEY WORDS: rigid pavement; coarse aggregate; lateritic concretions

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Custo acumulado total na construção e manutenção para ambas as alternativas de pavimento	24
Figura 2.2 - Pavimento rígido (BR 101)	25
Figura 2.3 - Diferenças Básicas entre os Pavimentos Rígidos e Flexíveis	27
Figura 2.4 – a) Construção de barragens e b) pavimentação de ruas utilizando CCR	31
Figura 2.5 - Agregados lateríticos [Fonte: CHAGAS FILHO 2005)]	36
Figura 2.6 - Classificação dos Solos pelo Método MCT [Fonte: Medina (2007)]	38
Figura 2.7 - Regiões do mundo onde existem jazidas de solo laterítico [Fonte: CHAGAS FILHO (2005)]	40
Figura 3.1 - Laterita britada e peneirada utilizada na pesquisa	45
Figura 3.2- Fluxograma da Pesquisa	46
Figura 3.3 – a) Colocação da latrita na peneira ABNT 4,8 mm b) para lavagem	47
Figura 3.4 – Preparo do traço do concreto: a) colocação do material na betoneira e b) retirada do concreto	52
Figura 3.5 - Moldagem dos corpos – de – prova a) cilíndricos, para os ensaios de compressão simples e b) prismáticos para os ensaios de tração na flexão	52
Figura 3.6 - Diagrama de Dosagem [Fonte: Helene e Terzian, (2004)]	54
Figura 3.7 – Colocação da água na betoneira para fabricação do concreto destinado a moldagem dos corpos – de – prova	55
Figura 3.8 – Corpos – de – prova moldados: a) prismáticos e b) cilíndricos ..	56
Figura 3.9 Prensa hidráulica, utilizada para o ensaio de compressão simples	57
Figura 3.10 – Curvas médias de correlação entre resistência à compressão	

axial e relação água/cimento para Cimento Portland comum CP 32.....	58
Figura 3.11 – Ensaio de tração na flexão sob dois cutelos.....	64
Figura 4.1 Curva granulométrica das concreções lateríticas.....	69
Figura 4.2 Curva granulométrica do agregado miúdo.....	74
Figura 4.3 Cura dos corpos – de – prova cilíndricos e prismáticos.....	76
Figura 4.4 – Determinação das características do concreto através da estipulação de resistência utilizando o diagrama de dosagem da pesquisa..	78
Figura 4.5 - Evolução da resistência à compressão simples do concreto laterítico.....	81
Figura 4.6 - Evolução da resistência à tração na flexão do concreto laterítico.....	81
Figura 4.7 – a) Preparo do CCR e b) moldagem dos corpos – de – prova cilíndricos para os ensaios de compressão simples.....	89
Figura 4.8 – a) Falhas nos corpos – de – prova cilíndricos de CCR descartados e b) corpos – de – prova de CCR utilizados nos ensaios.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Agregados miúdos (NBR 7211).....	16
Tabela 2.2 - Valores máximos recomendados para a relação água/cimento..	19
Tabela 2.3 - Limites granulométricos de agregado miúdo, recomendados para concretos de Pavimentação.....	21
Tabela 2.4 - Faixa granulométrica recomendada pela AASHTO e pelo Forschungsgessellschaft für das Strabenwesen e. V.....	22
Tabela 2.5 - Tipos de cimentos fabricados no Brasil.....	22
Tabela 2-6 – Vantagens do pavimento em CCP em relação ao pavimento asfáltico.....	24
Tabela 2.7 - Composição granulométrica da brita graduada para o uso nas camadas de base ou sub – base.....	29
Tabela 2.8 - Faixa Granulométrica Recomendada para Base Drenante.....	30
Tabela 2.9 – Controle Estatístico.....	35
Tabela 2.10 – Valores de K.....	35
Tabela 2.11 – Propriedades dos agregados lateríticos.....	37
Tabela 2.12 – Resistência à compressão simples dos corpos – de – prova para traços diversos sem lavagem das concreções lateríticas.....	41
Tabela 2.13 – Parâmetros utilizados para moldagem dos diversos traços de concreto laterítico, sem lavagem dos agregados.....	41
Tabela 3.1 – Ensaios de caracterização para o agregado miúdo.....	47
Tabela 3.2 – Ensaios de caracterização do agregado graúdo.....	48
Tabela 3.3 - Determinação da Composição “Ideal”	49
Tabela 3.4 – Correção do traço do concreto utilizando os valores do ensaio de compresso simples.....	60
Tabela 3.5 – Influência das operações de ensaio na estimativa da resistência característica.....	62
Tabela 3.6 - Número de corpos-de-prova utilizados na pesquisa para os ensaios de compressão.....	64
Tabela 3.7 - Número de corpos-de-prova utilizados na pesquisa para os ensaios de tração na flexão.....	65

Tabela 4.1 - Composição granulométrica das concreções lateríticas.....	68
Tabela 4.2 - Caracterização do agregado graúdo.....	68
Tabela 4.3 - Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Abrasão Los Angeles da laterita em estudo.....	70
Tabela 4.4 – Características físicas das concreções lateríticas de diferentes jazidas.....	70
Tabela 4.5 - Determinação da composição “ideal” entre pedra britada laterítica n° 1, n° 0 e n° 2, através da massa unitária no estado compactado seco.....	72
Tabela 4.6 - Caracterização do agregado miúdo.....	73
Tabela 4.7 - Composição granulométrica do agregado miúdo (série normal)	73
Tabela 4.8 - Características dos traços de concreto utilizados na pesquisa	76
Tabela 4.9 - Resultados dos ensaios de compressão simples.....	79
Tabela 4.10 - Resultados dos ensaios de tração na flexão.....	79
Tabela 4.11 – Correlação entre as resistências à tração e à compressão simples através das equações de LOBO CARNEIRO e da ABCP.....	83
Tabela 4.12 – Relação entre as resistências à compressão simples e à tração na flexão, em porcentagem.....	83
Tabela 4.13 – Valores das resistências à compressão simples.....	86
Tabela 4.14 – Parâmetros para a correção do traço do concreto.....	88
Tabela 4.15 - Características do traço do CCR.....	89
Tabela 4.16 - Resultados dos ensaios de compressão simples para o CCR	90

LISTA DE ABREVIações, SIGLAS E SÍMBOLOS

σ_r	Tensão de Ruptura
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
a/c	Fator Água/Cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
a/gl	Relação água/aglomerante
a_p	Relação agregado miúdo seco/cimento em massa, em kg/kg, para o traço “pobre”
a_r	Relação agregado miúdo seco/cimento em massa, em kg/kg, para o traço “rico”
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATECEL	Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior
C	Consumo de Cimento
CBR	California Bearing Ratio
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado à Quente
CCP	Concreto de Cimento Portland
CCR	Concreto de Cimento Rolado
CLR	Concreto Laterítico de Referência
CP	Corpo –de -prova
DNER/PR	Departamento Nacional de Estradas e Rodagens/Paraná
DNIT	Departamento Nacional de Infra - estrutura e Transporte
ES	Especificação de Serviço
ESAL	Equivalent Single Axel Load - Pavement Interactive
EUA	Estados Unidos da América
f_{cj}	Resistência à Compressão do concreto aos j dias
f_{ck}	Resistência Característica do Concreto à Compressão

$f_{ck,est}$	Valor Estimado da Resistência Característica à Compressão
$f_{cmj,est}$	Valor Estimado da Resistência Média do Concreto à Compressão aos j dias
$f_{ct,f}$	Resistência do Concreto à Tração na Flexão
ISC	Índice de Suporte Califórnia
J	Coefficiente de transferência de carga
MCT	Miniatura, Compactado, Tropical
MO – PA	Mosqueiro, Pará
PCA	Portland Cement Association
P_p	Relação agregado gráudo seco/cimento em massa, em kg/kg, para o traço “pobre”
pH	Potencial Hidrogeniônico
P_r	Relação agregado gráudo seco/cimento em massa, em kg/kg, para o traço “rico”
PSI	Perda de Serventia
sa	Sílica ativa
s_c	Desvio – padrão, oriundo dos resultados da produção do concreto
s_d	Desvio – padrão de dosagem
SL - MA	São Luiz – Maranhão
SP	Superplastificante
SP – PB	Sapé - Paraíba
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
VDM	Volume Diário Médio
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	
1- INTRODUÇÃO.....	10
1.1- OBJETIVO.....	10
1.1.1- Objetivos específicos.....	11
1.2- ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	12
CAPÍTULO 2	
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1- CONCRETO.....	13
2.1.1- Definição e materiais constituintes.....	13
2.1.2- Concreto para pavimentação.....	17
2.2- PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA.....	23
2.2.1- Pavimentos Rígidos.....	24
2.2.1.1- Definição.....	24
2.2.1.2-Tipos de pavimento rígido.....	28
2.3- DESCRIÇÃO DE BRITA GRADUADA COMO CAMADA DE PAVIMENTO.....	29
2.4- CCR.....	31
2.4.1- Definição.....	31
2.4.2- Condições gerais.....	32
2.4.3- Materiais.....	32
2.4.4- Granulometria da mistura.....	33
2.4.5- Resistência do projeto.....	34
2.5- CARACTERÍSTICAS DAS CONCREÇÕES LATERÍTICAS.....	36
2.6- UTILIZAÇÃO DO AGREGADO LATERÍTICO NA FABRICAÇÃO DO CONCRETO NÃO – CONVENCIONAL.....	39
2.7- O USO DA LATERITA COMO MATERIAL DE PAVIMENTAÇÃO.....	42
CAPÍTULO 3	
3- MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
3.1- MATERIAIS.....	44
3.1.1- Agregado Miúdo.....	44

3.1.2- Agregado Graúdo.....	44
3.1.3- Cimento.....	45
3.1.4- Água.....	45
3.2- MÉTODOS.....	45
3.2.1- Fluxograma da Pesquisa.....	45
3.2.2- Beneficiamento dos Agregados.....	46
3.2.3- Caracterização	dos
 Agregados.....	47
3.2.4- Determinação da Curva Granulométrica dos Agregados	
 Graúdos.....	48
3.2.5- Determinação as Mistura de Agregados Graúdos.....	48
3.2.6- Determinação do teor ideal de argamassa.....	50
3.2.7- Determinação dos Traços Auxiliares.....	53
3.2.8- Determinação do Traço Unitário do Concreto.....	54
3.2.9- Preparo do Concreto.....	55
3.2.10- Moldagem e Cura dos Corpos – de – Prova.....	56
3.2.11- Caracterização do Concreto Fresco.....	56
3.2.12- Caracterização do Concreto Endurecido.....	57
CAPÍTULO 4	
4- RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	66
4.1- ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	66
4.1.1- Ensaio de caracterização das concreções lateríticas como	
 agregado graúdo.....	66
4.1.2- Determinação da mistura ideal de agregados.....	70
4.1.3- Ensaio de caracterização do agregado miúdo.....	73
4.1.4- Ensaio físicos nos corpos – de – prova.....	75
4.1.5- Correlação entre os resultados da resistência à compressão	
 simples e à tração na flexão para o concreto	
 laterítico.....	82
4.1.6- Correção do traço através dos resultados do ensaio de compressão	
 simples.....	84
4.1.7- Ensaio com CCR.....	86
4.1.8- Análise das concreções lateríticas como brita	
 graduada.....	89

CAPÍTULO 5

5- CONCLUSÕES.....	90
5.1- DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES.....	90
5.2- DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	91
5.3- DO CCR.....	91
5.4- DA BRITA GRADUADA.....	92
5.5- CONCLUSÕES FINAIS.....	92
5.6- SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	93
6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
ANEXOS.....	99

1 - INTRODUÇÃO

Sabe-se que os custos para a execução de obras de pavimento rígido, em CCP (Concreto de Cimento Portland) são mais elevados se comparado ao pavimento flexível, em CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado à Quente).

Tal custo é agravado nas regiões onde é escassa ou não há existência de jazidas de rocha granítica, como é o caso da região Norte e de algumas localidades do Nordeste do Brasil.

Apesar do custo elevado, a longo prazo o uso do CCP na pavimentação de vias proporciona um melhor custo-benefício se comparado a pavimentos executados com CBUQ. Por ter uma coloração clara, o pavimento em concreto proporciona também melhor visibilidade para o motorista a noite, possuindo baixo custo de manutenção e maior vida útil.

Devido ao bom desempenho do CCP em pavimentos rodoviários, pesquisadores, ao longo dos anos, passaram a estudar formas que tornasse mais viável o uso deste tipo de pavimento.

Uma das formas estudadas para reduzir os custos foi à substituição da brita granítica, como agregado graúdo, por outro, que proporcionasse resultados semelhantes na fabricação do concreto e que fosse encontrado nas regiões onde fossem escassas jazidas de rocha granítica.

Este estudo vem sendo realizado há anos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), onde se realizam pesquisas para utilização das concreções lateríticas e rochas calcárias na fabricação de concreto voltado para os diversos ramos da engenharia, obtendo-se resultados satisfatórios.

E estimulado pelos bons resultados obtidos no uso destes agregados graúdos alternativos, especificamente as concreções lateríticas, estuda-se o uso deste agregado na execução de pavimento em CCP.

1.1 - OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho foi o estudo da utilização das concreções lateríticas como agregado graúdo na fabricação de concreto destinado a execução

das placas do pavimento, verificando sua viabilidade através dos resultados obtidos nos ensaios de compressão simples e tração na flexão.

Ainda como forma preliminar, procurou-se verificar também a utilização das concreções lateríticas como camada regularizadora da base e sub-base de uma via, na forma de brita graduada e de CCR (Concreto Compactado com Rolo).

Para isto, usaram-se como parâmetros os valores estabelecidos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), DNIT (Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes) e DNER (Departamento Nacional de Estradas e Rodagens) para o pavimento rígido utilizando a brita granítica como agregado graúdo.

1.1.1 – Objetivos específicos

- analisar a granulometria e o Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou CBR da laterita em estudo, comparando os resultados com os especificados para camadas de brita graduada;
- analisar a resistência à compressão simples do concreto utilizando as concreções lateríticas como agregado graúdo, em três traços diferentes de concreto;
- determinar o diagrama de dosagem, com os dados obtidos no ensaio de compressão simples, para encontrar um traço que proporcione uma resistência aceitável para pavimentos e com um consumo de cimento mais adequado;
- verificar a confiabilidade das equações de LOBO CARNEIRO e da ABCP através dos resultados obtidos na compressão simples;
- analisar a resistência à tração sob dois cutelos para os mesmos três traços utilizados no ensaio de compressão simples, procurando constatar a possível viabilidade do uso deste “novo” agregado graúdo na pavimentação em CCP;
- realizar ensaios de compressão simples utilizando a laterita no traço para CCR, verificando os resultados e comparando com os especificados pela ABNT;

1.2 – ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O texto da dissertação encontra-se distribuído da seguinte maneira:

[Capítulo 1] Introdução, objetivos e organização do trabalho – descreve-se, neste primeiro capítulo, uma visão global do trabalho, destacando os objetivos a serem alcançados e a justificativa para sua realização;

[Capítulo 2] Revisão bibliográfica – encontram-se parâmetros referentes a pesquisas realizadas com as concreções lateríticas, químicos e granulométricos até seu uso como material para a pavimentação de rodovias;

[Capítulo 3] Materiais e métodos – são apresentados os materiais e os métodos utilizados durante a pesquisa;

[Capítulo 4] Resultados e discussões – encontram-se os resultados obtidos nos ensaios e a análise dos mesmos;

[Capítulo 5] Conclusões e sugestões – apresentam-se as devidas conclusões do trabalho e sugestões para futuras pesquisas que envolvam o mesmo tema;

[Capítulo 6] Referências bibliográficas.

Ao fim, em anexo, encontram-se as referências bibliográficas citadas durante o trabalho, tabelas e gráficos dos ensaios realizados na análise granulométrica da laterita utilizada na pesquisa.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta revisão apresentam-se os trabalhos que contribuem para o objetivo desta pesquisa, abordando desde a fabricação do concreto com agregado graúdo de brita granítica, dito tradicional, definições para pavimento rígido, até o uso das concreções lateríticas como agregado graúdo no concreto laterítico, considerado aqui como não-convencional.

Para isso, serão observados:

2.1 – Concreto:

- Definição e materiais constituintes,
- Concreto para pavimentação,

2.2- Pavimentação Rodoviária:

- Definição;
- Pavimentos rígidos,
- Tipos de pavimento rígido,

2.3- Descrição de brita graduada como camada de pavimento;

2.4- CCR;

2.5- As características das concreções lateríticas;

2.6- A utilização do agregado laterítico na fabricação do concreto não-convencional;

2.7 - O uso da laterita como material para pavimentação.

2.1 – CONCRETO

2.1.1 – Definição e materiais constituintes

O concreto é constituído essencialmente de agregados, graúdo e miúdo, e cimento, podendo ou não haver a presença de aditivos que influenciem na resistência ou na pega do produto final.

Sua fabricação é feita pela mistura dos agregados com cimento e água, à qual, conforme a necessidade são acrescentados aditivos, que influenciam as

características físicas e químicas do concreto fresco ou endurecido (Leonhardt e Mönnig, 1979).

Tal fabricação pode ocorrer de duas formas:

- a) no canteiro de obras, por meio de betoneira;
- b) em usinas, o qual é transportado em caminhões betoneira até os canteiros de obra e lançados, por meio de bombeamento, nas peças a serem concretadas.

No caso do concreto usinado, há melhor controle de qualidade e desperdício do que na produção do concreto feito no canteiro de obras.

Algumas propriedades físicas, químicas e mecânicas de seus constituintes influenciam de modo substancial no desempenho do concreto.

Atributos e propriedades destes constituintes e suas respectivas Normas Brasileiras NBRs de ensaio são apresentadas:

- a) Cimento: Produto de textura fina que funciona como ligante no concreto, o qual deve ser observado:

- Finura (NBR 5732): fator importante que influencia a velocidade da reação de hidratação. Além disto, o aumento da finura implica em uma melhor resistência, particularmente a das primeiras idades, diminuindo a exsudação e outros tipos de segregação, aumentando a impermeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão do concreto. Todavia, ocorre liberação de maior quantidade de calor e uma retração maior, sendo os concretos mais sensíveis ao fissuramento;

- Perda ao Fogo e Resíduo Insolúvel (NBR 5743): “Fornecer indicações sobre até que ponto ocorreu a carbonatação e hidratação devido a exposição do cimento ao ar, ou seja, o envelhecimento do cimento” (Helene e Terzian, 1993). Detecta também substâncias estranhas inertes no cimento;

- Resistência à Compressão (NBR 5739), (3, 7, 28 e 91 dias): “através desta verificação é possível conhecer previamente o comportamento mecânico do cimento” (Helene e Terzian, 1993).

b) Agregados miúdos: Geralmente são areias naturais quartzosas, podendo, ainda, serem empregadas areias artificiais. Para ambos os casos, é importante analisar:

- Granulometria (NBR 7217): influencia a qualidade do concreto, atuando na compactidade e resistência do mesmo;

- Módulo de Finura (NBR 7217): como está relacionado com a área superficial do agregado, altera a água de molhagem para uma determinada consistência;

- Massa Unitária (NBR 7251): relação entre a massa total de um certo volume de agregado e esse volume. Utilizado para a transformação dos traços em massa para volume e vice-versa;

- Massa Específica (NBR 9776): relação entre a massa e o volume dos grãos dos agregados;

- Inchamento (NBR 6467): aumento do volume da massa do agregado devido à absorção de água. Importante na determinação da dosagem dos materiais em volume no traço do concreto;

- Coeficiente de Inchamento e Umidade Crítica (NBR 6467): o coeficiente de inchamento mede o inchamento sofrido por uma massa de agregados, enquanto que a umidade crítica é aquela em que o coeficiente de inchamento torna-se constante;

- Apreciação Petrográfica: determinação das características físicas e químicas do agregado, as quais podem intervir no comportamento do concreto;

- Curvas Normalizadas (NBR 7211): determinada pelos limites granulométricos;

- Classificação de Areias pelo Módulo de Finura: referente às zonas das curvas de normalização (Tabela 2.1), cuja granulometria não deve variar mais de 0,2mm para um material da mesma origem, para cada zona indicada.

Tabela 2.1 – Agregados miúdos (NBR 7211).

Peneiras (mm)	Porcentagens acumuladas em massa			
	Zona 1 (muito fina)	Zona 2 (fina)	Zona 3 (média)	Zona 4 (grossa)
6,3	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8	0 a 5	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4	0 a 5	0 a 15	0 a 25	5 a 40
1,2	0 a 10	0 a 25	10 a 45	30 a 70
0,6	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3	50 a 85	60 a 88	70 a 92	80 a 95
0,15	85 a 100	90 a 100	90 a 100	90 a 100

[Fonte: Helene e Terzian, (1993)]

c) Agregados graúdos: são pedregulhos ou pedras britadas provenientes de rochas estáveis, ou a mistura de ambos e que, como nos agregados miúdos, a determinação da granulometria, da massa específica e da apreciação petrográfica são de grande importância para a obtenção de um bom traço de concreto. Além disto, outros dois fatores têm grande influência na resistência e trabalhabilidade do mesmo:

- Dimensão Máxima Característica (NBR 7217): “quanto maior, mais econômico o concreto. Está relacionada à trabalhabilidade do concreto fresco, portanto, depende das fôrmas, do espaçamento entre as armaduras e do processo de transporte do concreto” (Helene e Terzian, 2004);

- Mistura de Agregados Graúdos (NBR 7810): a mistura de diferentes granulometrias de agregados graúdos permite diminuir o custo do concreto final. Para isso, utiliza-se o método da NBR 7810 – Agregado em Estado Seco – Determinação da Massa Unitária (Helene e Terzian, 2004).

d) Aditivo: são materiais ou agentes que alteram as características químicas e físicas do concreto. Na necessidade do uso de algum tipo de material ou agente aditivo, é importante analisar as seguintes características:

- massa Específica;
- aspecto;
- desempenho.

2.1.2 – Concreto para pavimentação

O concreto destinado a pavimentação possui parâmetros específicos para este tipo de obra.

Para o dimensionamento de pavimentos em CCP é de importância a resistência característica à tração na flexão, $f_{ctM,k}$, determinada em corpos – de – prova prismáticos, carregados nos terços de vão. A moldagem dos corpos – de – prova e o ensaio segue a norma C-78 da American Society for Testing and Materials (ASTM).

Os valores típicos da resistência característica à tração na flexão dos concretos de pavimentação estão no intervalo entre 3,8 MPa e 5,0 MPa, raramente ocorrendo maiores valores – as vezes, em projetos de aeródromos de grande porte ou em certos pavimentos sujeitos a cargas muito especiais e abrasão excepcionalmente forte, podem chegar a 5,5 MPa (Pitta, 1985).

Segundo Pitta, usualmente, quando não se pode realizar o ensaio de tração na flexão, devido a particularidades na realização deste ensaio, como dificuldade de moldagem e manuseio dos corpos – de – prova e dispersão acentuadas dos resultados, faz-se uma correlação com a resistência à compressão simples.

É importante salientar que qualquer correlação matemática entre as resistências, de base experimental ou não, carece de uma abrangência universal, dependendo tanto das características dos constituintes quanto da composição do concreto.

Entre as diversas equações que correlacionam às duas resistências, podemos destacar as de LOBO CARNEIRO, ACI e ABCP:

$$- f_c = 0,82(f_{ctM} + 1,4)^2 \rightarrow \text{ LOBO CARNEIRO;} \quad (1)$$

$$- f_c = k \bar{f}_{ctM^2} \rightarrow \text{ ACI;} \quad (2)$$

$$- f_c = \left(\frac{f_{ctM}}{0,56} \right)^{1,67} \rightarrow \text{ ABCP.} \quad (3)$$

Dentre estas equações apresentadas pode-se destacar a referente à ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), pois se trata de uma correlação moderna e de boa confiabilidade estatística, derivada de uma extensa e abrangente pesquisa nos laboratórios da mesma. Todavia, é coerente que se escolha a equação que mais se enquadre na experiência regional a que se refere à obra.

Contudo, tanto a resistência de dosagem à compressão simples quanto à tração na flexão deve ser referente a ensaios de corpos – de – prova com 28 dias de idade, com exceção de pavimentos cujo carregamento seja muito bem controlado ou de pequena monta nos primeiros tempos de utilização (aeródromos, por exemplo), admitindo-se uma resistência de dosagem aos 90 dias. (Pitta, 1985)

Em relação ao fator água/cimento, este deve ser o mais baixo possível, de forma que se produza um concreto de consistência e trabalhabilidade compatíveis com o tipo e a capacidade de produção do equipamento de construção e com uma resistência capaz de assegurar durabilidade à estrutura, levando em consideração às condições de exposição e o período de projeto.

A relação máxima água/cimento será função do grau de severidade da exposição e da solicitação do pavimento (Tabela 2.2).

Já a respeito da consistência do concreto simples para pavimentação deve ser de certa forma seca, compatível com a maciça presença de agregado graúdo na massa.

O método de abatimento de tronco de cone, usualmente utilizado para determinar a consistência do concreto corrente de edificações, pode ser usado em obras de pavimento, só que, métodos de ensaio de natureza dinâmica podem aplicar-se melhor, já que detectam com mais precisão nuances e pequenas variações na consistência do que o procedimento estático (Pitta, 1985).

Tabela 2.2 Valores máximos recomendados para a relação água/cimento.

Descrição das condições de exposição e solicitação do pavimento	Classificação	Máxima relação água/cimento
Clima brando, sem alternância brusca de temperatura nem de umidade. Presença de sub-base ou, então, inexistência de sulfatos na fundação, solicitação não abrasiva da face de rolamento.	Condições moderadas exposição	0,55
Clima com alternância brusca e ampla de temperaturas, umidade relativa do ar permanentemente alta ou freqüentes ciclos diários de molhagem e secagem. Inexistência de sub-base, combinada com fundação contendo até 2.000 mg/kg de Sulfatos. Eventualmente, abrasão da face de rolamento.	Condições rigorosas exposição	0,50
Clima extremamente severo. Ataque químico quer pela face de suporte, quer pela de rolamento. Forte solicitação abrasiva.	Condições severas exposição	0,45

[Fonte: PITTA (1985)]

Caso seja feito o uso do ensaio de abatimento do tronco de cone, recomenda-se que o valor do mesmo seja fixado em função do tipo de equipamento de construção do pavimento:

- a) equipamento reduzido e equipamento sobre fôrmas-trilhos – abatimento máximo de $5\text{cm} \pm 1\text{ cm}$;
- b) equipamento de fôrmas deslizantes – abatimento máximo de $2\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$.

Quanto à trabalhabilidade, esta deve ser obtida por meio de parâmetros previamente estabelecidos no projeto ou nas especificações gerais da construção:

- a) dimensão máxima do agregado;
- b) espessura da placa do concreto;
- c) consumo de cimento;
- d) consistência;
- e) teor de argamassa.

O importante é que se ajuste a trabalhabilidade aos padrões do pavimento que se deseja obter.

Quanto aos agregados utilizados no concreto destinado a pavimentação, alguns critérios devem ser seguidos:

- Agregado miúdo: para concretos de pavimentação, Pitta (1985) sugere a utilização de grãos com diâmetros no intervalo $0,075\text{ mm} \leq d \leq 4,8\text{ mm}$; ele deverá satisfazer as prescrições da NBR 7211". Recomenda-se que as granulometrias estejam enquadradas nas Zonas 2 e 3 (zonas fina e média, respectivamente, da Norma NBR 7211), as quais se encontram representadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Limites granulométricos de agregado miúdo, recomendados para concretos de Pavimentação.

Peneira ABNT (mm)	Porcentagem retida acumulada, em massa	
	Zona 2 (fina)	Zona 3 (média)
9,5	0	0
6,3	0 – 7	0 – 7
4,8	0 – 10	0 – 11
2,4	0 – 15	0 – 25
1,2	0 – 25	10 ^a – 45
0,6	21 – 40	41 – 65
0,3	60 - 88	70 – 92
0,15	90 - 100	90 - 100

[Fonte: Pitta (1985)]

Areias da Zona 4 (grossas) ocorrem de forma reduzida e seu uso no concreto de pavimentação deve ser acompanhado de correções da porosidade. Já as areias da Zona 1 (muito finas) requerem, como forma de economia no custo do concreto, correções com areias artificiais ou aditivos plastificantes.

- Agregado graúdo: devem ser pedregulhos ou pedras britadas provenientes de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, com graduação granulométrica entre 50 mm e 4,8 mm. “A dimensão máxima característica do agregado graúdo é função da espessura da placa de concreto, recomendando-se que não exceda $\frac{1}{4}$ desta, nem 50 mm, obedecido o valor menor” (Pitta, 1985). Contudo, é difícil, na prática, estabelecer faixas ideais de granulometria para os agregados graúdos destinados aos pavimentos. A Tabela 2.4 ilustra uma graduação recomendada nos EUA e na República Federal da Alemanha onde, a maior dimensão do agregado graúdo é de 38 mm.

Tabela 2.4 Faixa granulométrica recomendada pela AASHTO e pelo Forschungsgessellschaft für das Strassenwesen e. V.

Peneira ABNT (mm)	Porcentagem passando, em massa (%)
38	95 – 100
19	35 – 70
9,5	10 – 30
4,8	0 - 5

[Fonte Pitta(1985)]

Além disto, recomenda-se valor de Abrasão Los Angeles de, no máximo, 55% para pavimentos rodoviários.

A água a ser utilizada, deve ser potável ou ter um pH entre 5,0 e 8,0.

Na utilização de aditivos, caso seja necessário, na pavimentação são empregados, de forma mais esparzida, os redutores de água – plastificantes –, incorporadores de ar e os aceleradores de endurecimento.

Por fim, o cimento a ser escolhido numa obra de pavimentação irá depender da resistência mecânica, consistência desejada, como também se deve levar em consideração a exsudação de água e a economia pretendida.

No Brasil, pode-se fazer escolha por qualquer cimento produzido pela indústria nacional (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 Tipos de cimentos fabricados no Brasil.

Norma	Tipo de cimento
NBR 5732	Cimento Portland Comum, classes 25, 32 e 40
NBR 5733	Cimento Portland de Alta Resistência Inical - ARI
NBR 5735	Cimento Portland de Alto – Forno, classes 25 e 32
NBR 5736	Cimento Portland Pozolâmico, classes 25 e 32
NBR 5737	Cimento Portland de Moderada Resistência aos Sulfatos e Moderado Calor de Hidratação

2.2 – PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

De acordo com a norma brasileira de pavimentação, NBR 7207/82, da ABNT, e citado por Medina e Motta (2005), o pavimento é uma estrutura construída após terraplanagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a:

- a) resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- b) melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- c) resistir aos esforços horizontais que atuam, tornando mais durável a superfície e rolamento.

Essa definição descreve a função básica e histórica que se procura para um pavimento rodoviário, a qual é melhorar as estradas de terra, protegendo-as da ação da água, do desprendimento de poeira e pedras, tornando-as mais cômodas, seguras e duráveis ao tráfego.

Os primeiros revestimentos de estradas foram feitos de solos argilosos e que, por causa do seu desgaste durante as épocas chuvosas, passaram a ser encascalhadas e ensaibradas sendo, posteriormente, substituídas por macadame ou pedra britada.

Com a tecnologia já existente do concreto de cimento Portland, ao se iniciar a pavimentação de estradas no século XX, proporcionou o surto do pavimento rígido (Medina e Motta, 2005).

Enquanto isto, o cimento asfáltico filerizado na natureza, em ocorrência à superfície do terreno, permitiu uma opção mais fácil e econômica de execução, tendo seu auge a partir de 1950, com o desenvolvimento da indústria de refinação de petróleo, nas quais o resíduo asfáltico passou a ser abundante.

Nos dias atuais os olhares de governantes e empresas do setor de engenharia de pavimentação estão voltados novamente para o pavimento rígido, em CCP. Isto se deve, principalmente, devido à diminuição das reservas de petróleo, com um aumento considerável dos custos nos últimos anos deste produto não renovável, além de fatores ecológicos e outras vantagens que o pavimento rígido tem quando comprovado ao flexível, pavimento asfáltico, como pode ser observado nas Figuras 2.1 e 2.2.

Tabela 2.6 Vantagens do Pavimento em CCP em Relação ao Pavimento Asfáltico

USUÁRIO	GOVERNO/CONCESSIONÁRIA
Segurança (iluminação e frenagem)	Maior integração ambiental
Menos interrupções	Maior durabilidade
Economia de combustível	Menos intervenções
Menor tempo de percurso	Gasto menor com manutenção
	Menor consumo de iluminação
	Garantida de durabilidade

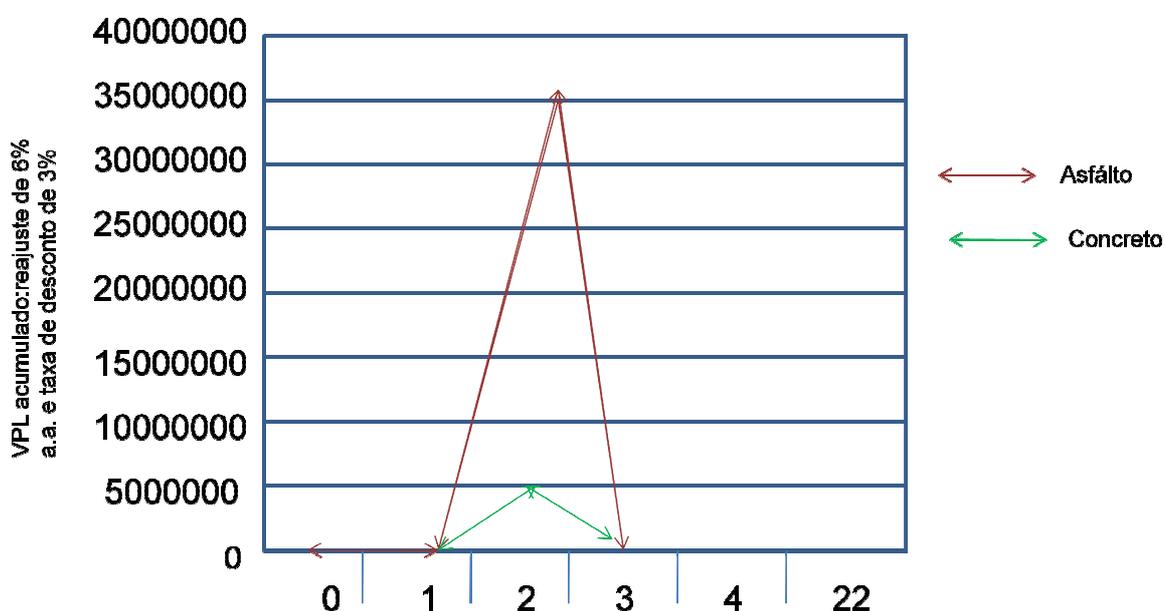


Figura 2.1 Custo acumulado total na construção e manutenção para ambas as alternativas de pavimento

[Fonte: <http://www.coenge.ufcg.edu.br/disciplinas.php>, acesso em 15/05/2007]

2.2.1- Pavimentos Rígidos

2.2.1.1– Definição

De acordo com Baptista (1976), pavimentos rígidos são aqueles em que o ligante é constituído de cimento e sua espessura é função da resistência à flexão das lajes (Figura 2.3).

Todavia, alguns autores classificam como pavimento rígido, além dos executados com concreto de cimento, os pavimentos em macadame cimentado e paralelepípedos rejuntados com cimento, devendo, neste último tipo, ser assentes sobre camada devidamente adensada de solos granulares.

No caso do revestimento em concreto, este deve ser constituído por uma mistura relativamente rica de cimento Portland, areia, agregado graúdo e água e, se necessário, algum tipo de aditivo, distribuído de uma forma devidamente adensada.

A estrutura de um pavimento de concreto encontra-se sujeita a ações mecânicas e ambientais. As ações das cargas, as variações de temperaturas e a umidade do meio podem exigir elevadas resistências a tração e compressão simples.



Figura 2.2 – Pavimento rígido (Duplicação da BR 101)

Além disso, o pavimento de concreto tem proporção entre área e volume muito grande e condições peculiares de concretagem, o que requer geralmente um tipo de concreto duro, de consistência seca, mas com certa trabalhabilidade mínima que lhe permita, em função do tipo de equipamento empregado, resultar homogêneo, denso e de grande impermeabilidade (Pitta, 1985).

Devido a esses fatores condicionantes é que o concreto utilizado em pavimentos deve ser dosado de acordo com os seguintes pré-requisitos:

- a) alta resistência mecânica;
- b) baixa relação água/cimento;
- c) consumo mínimo unitário de cimento;

- d) Limitação da dimensão máxima característica do agregado;
- e) Consistência seca;
- f) Trabalhabilidade.

Quanto ao dimensionamento de um pavimento rígido, pode-se seguir um dos dois métodos abaixo:

- PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA - 1984);
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO – 1993).

Para o método PCA, os parâmetros que são levados em consideração no dimensionamento do pavimento são os modelos de comportamento de fadiga, erosão e escalonamento.

Já para o método AASHTO, os parâmetros utilizados são:

- Número de eixos equivalentes ao eixo padrão de 18-kip (ESAL's);
- Fator confiabilidade (R);
- Desvio padrão (S_0);
- Módulo de reação do subleito (k_d);
- Perda de serventia ($\Delta PSI = p_i - p_f$);
- Propriedades do concreto;
- Coeficiente de transferência de carga (J);
- Coeficiente de drenagem.

Em relação à estrutura de um pavimento rígido, deve-se a Harald Malcm Westergaard (1926) a primeira análise estrutural do pavimento de concreto. Considerou o pavimento como uma placa delgada homogênea, isotrópica e elástica, apoiada no subleito. Admitiu que o subleito oferecesse reação apenas verticalmente, como um feixe de molas paralelas, independentes umas das outras (Medina e Motta, 2005).

Segundo a Norma NBR 7207/82, divide-se as camadas de um pavimento em:

- a) subleito é o terreno de fundação do pavimento ou revestimento;
- b) sub-base é a camada corretiva do subleito, ou complementar à base, quando por qualquer circunstância não seja aconselhável construir o pavimento diretamente sobre o leito obtido pela terraplenagem;
- c) base é a camada destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos dos veículos sobre a qual se constrói um revestimento;

d) revestimento é a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos, que se destina, econômica e simultaneamente:

- i – a melhorar as condições do rolamento quanto à comodidade e segurança;
- ii – a resistir aos esforços horizontais que nele atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

No caso do pavimento rígido, as placas preenchem as finalidades próprias de revestimento e base, simultaneamente, resumindo-se sua estrutura a apenas placa de concreto, sub-base e subleito, conforme Figura 2.4.

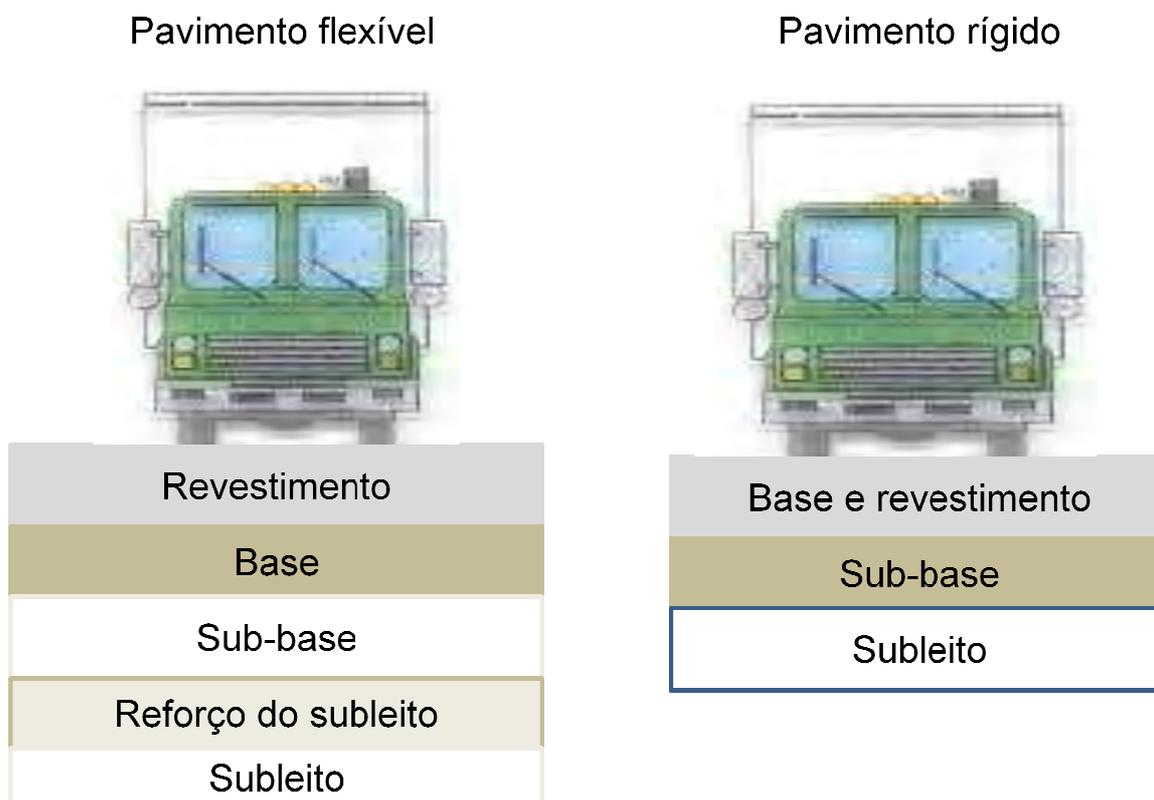


Figura 2.3 Diferenças Básicas entre os Pavimentos Rígidos e Flexíveis

[Fonte: <http://www.coenge.ufcg.edu.br/disciplinas.php>, acesso em 15/05/2007]

2.2.1.2 – Tipos de pavimento rígido

De acordo com o Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2005), os tipos existentes de pavimento rígido CCP em nosso país são:

- a) Pavimento de Concreto Simples: este tipo de pavimento pode ser projetado de duas formas:
 - Sem dispor de nenhuma armadura de aço, no qual as tensões solicitantes são combatidas tão somente pelo concreto, exigindo, com isso, placas curtas de 5 m a 6 m;
 - Com barras de transferências, dotados de um sistema artificial de transmissão de cargas, formado por barras curtas de aço liso, colocadas na meia - seção das juntas transversais e com comprimento de placas de 9 m a 12 m;
- b) Pavimento de Concreto compactado a Rolo: também conhecido como concreto pobre rolado e concreto compactado com rolo. É um concreto seco, de consistência rija e trabalhabilidade tal que possa ser compactado com rolos compressores, vibratórios ou não;
- c) Pavimento tipo Whitetopping: consiste numa camada rígida de reforço para a reabilitação de pavimentos asfálticos, executado com concreto de cimento Portland;
- d) Pavimento Estruturalmente Armado: Pavimento de concreto armado, com armadura para suportar as tensões oriundas do tráfego, geralmente disposta na parte inferior da placa e uma armadura para combater os esforços de retração e empenamento, disposta na parte superior. Todavia, essa armação pode ser apenas simples, com a função de retração;
- e) Pavimentos com Peças Pré-Moldadas de Concreto: Aplicado principalmente em acostamentos, recuos, pátios e outros locais onde o tráfego, além de ser pequeno, flui com baixa velocidade. No mercado encontram-se várias peças pré - moldadas de concreto para pavimentação, cujas tolerâncias dimensionais, qualidade e resistência do concreto devem obedecer os requisitos da norma NBR 9781.

Além destes tipos de pavimentos rígidos, existem ainda:

- Pavimentos com fibra de aço ou de prolipolileno;
- Pavimentos sobre – lajes de obras de artes especiais.

2.3 - BRITA GRADUADA COMO CAMADA DE PAVIMENTO

Brita graduada é a camada de base ou sub – base, composta por mistura em usina de produtos de britagem, apresentando granulometria contínua, cuja estabilização é obtida pela ação mecânica do equipamento de compactação (DNER/PR – 2005).

Para que a brita graduada seja utilizada como base ou sub – base de um pavimento, alguns pré - requisitos devem ser observados:

- a) a composição granulométrica da brita graduada deve estar enquadrada em uma das seguintes faixas (Tabela 2.7):

Tabela 2.7 Composição granulométrica da brita graduada para o uso nas camadas de base ou sub – base

Peneira de malha quadrada		Porcentagem passando, em peso		
ABNT	Abertura, mm	Faixa I	Faixa II	Faixa III
2”	50,8	100	-	-
1 1/2”	38,1	90-100	100	100
1”	25,4	-	-	77-100
3/4”	19,1	50-85	60-95	66-88
3/8”	9,5	35-65	40-75	46-71
Nº 4	4,8	25-45	25-60	30-56
Nº 10	2,0	18-35	15-45	20-44
Nº 40	0,42	8-22	8-25	8-25
Nº 200	0,074	3-9	2-10	5-10

[Fonte: DNER/PR (2005)]

- b) quando ensaiada de acordo com a norma NBR 9895, na energia modificada, a mistura deve ter CBR igual ou superior a 100% e expansão igual ou inferior a 0,3%;
- c) o desgaste no ensaio de abrasão Los Angeles, conforme NBR NM 51 deve ser inferior a 50%;
- d) no caso da utilização de brita graduada simples como base drenante e em acostamentos, deve-se utilizar faixa granulométrica indicada na Tabela 2.6;
- e) a porcentagem do material que passa na peneira nº 200 não deve ultrapassar 2/3 da porcentagem que passa na peneira nº4.

Tabela 2.8 Faixa granulométrica recomendada para base drenante.

Peneira em Malha Quadrada		% em Massa, Passando	Tolerância
ASTM	mm		
1 1/2"	38,1	100	±7
1"	25,4	90-100	±7
3/4"	19,1	75-99	±7
3/8"	9,5	45-64	±7
Nº 4	4,8	30-45	±5
Nº 10	2,0	18-33	±5
Nº 40	0,42	7-17	±5
Nº 80	0,18	1-11	±3
Nº 200	0,074	0-8	±2

[Fonte: DNER/PR(2005)]

Outros requisitos devem ser levados em consideração a respeito do agregado miúdo utilizado na composição da camada de brita graduada. Todavia, este estudo está relacionado às características e qualidades dos agregados graúdos, direcionando seu uso para as diversas camadas de um pavimento rígido.

2.4 – CCR

2.4.1 - Definição:

Cimento de Concreto Rolado ou Concreto Compactado com Rolo (CCR) refere-se a um concreto simples, para emprego em sub-base com baixo consumo de cimento e consistência bastante seca, permitindo a compactação com rolos compressores ou equipamento similar. (DNIT – 056/2004)

A utilização do concreto de cimento rolado não é uma técnica nova de engenharia. Modernamente, a experiência com o CCR aplicada à pavimentação teve início na Grã – Bretanha, por volta de 1944, aplicado às estradas de Crawley, com 70 km, e Londres – Birmingham, com 100 km (Oliveira, 2000).

Nos dias atuais, o CCR é utilizado na construção de barragens, em camadas de sub-base para pavimentos, como também na execução da placa do pavimento rígido (Figuras 2.4a e 2.4b).



(a)



(b)

Figura 2.4 – (a) Construção de barragens e (b) pavimentação de ruas utilizando CCR

[Fonte: www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/125/artigo59009-3.asp, acesso em 15/09/2009]

2.4.2 – Condições gerais

O Concreto Compactado a Rolo deve apresentar as seguintes características:

- a) ser dosado por método racional, de modo a obter-se com os materiais disponíveis, uma mistura fresca, de trabalhabilidade adequada para ser compactada com rolo liso vibratório, e resulte em produto endurecido com grau de compactação e resistência à compressão exigidos por Norma;
- b) a camada de Concreto Compactado a Rolo, que atenda as exigências desta Norma, também poderá ser empregada como base de pavimento flexível;
- c) ter um teor de cimento, na proporção cimento/agregado, entre 1:12 e 1:24;
- d) alcançar resistência à compressão mínima de 15MPa, quando o uso do CCR for direcionado a sub-base de pavimentos.

As misturas mais ricas podem apresentar fissuras e trincas e os teores mais baixos, normalmente, acarretam em heterogeneidade da mistura do cimento com o agregado, criando pontos de enfraquecimento (Oliveira, 2000).

2.4.3 – Materiais

Quanto aos materiais utilizados na execução do CCR, algumas especificações devem ser seguidas:

- a) Cimento: deve atender a especificação da DNIT 050/2004, podendo ser empregados:
 - cimento Portland comum - NBR 5732;
 - cimento Portland composto - NBR 11578;
 - cimento Portland de alto-forno - NBR 5735;
 - cimento Portland pozolânico - NBR 5736.
- b) Agregado: Os agregados gráudo e miúdo devem ser constituídos de grãos duráveis, limpos, isentos de matéria orgânica, torrões de argila e outras substâncias prejudiciais à hidratação do cimento e devem atender às exigências da NBR 7211, tendo dimensão máxima característica de 25 mm. E

de acordo com o Departamento de Estradas e Rodagem - SP, 2004, os agregados graúdos que podem ser utilizados segundo essa Norma são: pedra britada, seixo rolado e cascalho.

c) Água: água de amassamento deve estar isenta de matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais à hidratação do cimento. Deve atender aos requisitos estabelecidos pela NBR NM137.

Com relação ao produto final, o Concreto Compactado com Rolo, além das condições gerais citadas no item 2.4.2, deve atender aos seguintes requisitos, segundo DNIT 056/2004:

- possuir consumo mínimo de cimento entre 80 kg/m³ e 120 kg/m³;
- Resistência à Compressão (f_{ck}) aos 7 dias, determinada em corpos – de – prova moldados de maneira indicada no item 7.2.3 da Norma DNIT 056/2004 e rompidos segundo ABNT – 5739 com $f_{ck} = 5,0$ MPa;
- Resistência à Compressão aos 28 dias ≥ 15 MPa, para o uso como sub – base de pavimento rígido;
- deve-se estabelecer uma curva granulometria do projeto da mistura em função dos materiais utilizados e a respectiva faixa de trabalho definida pela tolerância da abertura das peneiras.

2.4.4 – Granulometria da mistura

A variação granulométrica admitida é a definida pela tolerância da abertura das peneiras, conforme especificada abaixo:

- peneiras 1 1/2" a 3/8" , tolerância de $\pm 7\%$;
- peneiras n.º 4 a n.º 40, tolerância de $\pm 5\%$;
- peneira n.º 80, tolerância $\pm 3\%$;
- peneira n.º 200, tolerância $\pm 2\%$.

2.4.5 Resistência do projeto

Segundo DNIT/ ES – 056/2004, os lotes de cada trecho inspecionado devem possuir no mínimo 6 amostras e no máximo 32 amostras.

Ainda de acordo com a Norma DNIT 059/2004 – ES, DNIT 056/2004 e ABNT – 5739, a resistência à compressão para o CCR destinado a sub – base de um pavimento, aos 7 dias, deve ser $f_{ck} \geq 5\text{MPa}$, e ao alcançar aos 28 dias, $f_{ck} \geq 15\text{MPa}$.

Já a resistência característica estimada à compressão simples deve ser determinada na idade definida em projeto, sendo calculada de acordo com a equação apresentada nas Tabelas 2.9 e 2.10.

Os lotes serão aceitos desde que:

$$- f_{ck,est} \geq f_{ck} \quad (4)$$

Onde:

- ✓ $f_{ck,est}$ = resistência característica do concreto pobre rolado estimada à compressão ;
- ✓ f_{ck} = resistência característica do concreto pobre rolado à compressão simples, definida em projeto.

Se o lote for rejeitado, isto é, se as resistências características estimadas forem inferiores à especificada devem ser extraídos, as expensas do consultor, pelo menos 6 corpos-de-prova cilíndricos, conforme NBR 7680, que correspondam a um máximo de 100 m³ de concreto ou 500 m² de área pavimentada. Havendo nova rejeição a parte condenada deve ser demolida e reconstruída (Departamento de Estradas e Rodagem - SP, 2004).

Tabela 2.9 – Controle Estatístico.

Parâmetros		
Média aritmética da amostra (\bar{x})	$\bar{f}_{ctM,j}$ ou $\bar{f}_{cj} = \frac{\sum_{i=1}^N f_i}{N}$	✓ Onde: f_i – Resistência de um determinado exemplar;
Desvio-padrão da amostra (s), da resistência à tração na flexão	$S = \sqrt{\frac{\sum (\bar{f}_{ctM,j} - f_i)^2}{N-1}}$	✓ $\bar{f}_{ctM,j}$ - resistência característica médio do concreto da amostra à tração na flexão, na idade de j dias;
Desvio-padrão da amostra (s), da resistência à compressão	$S = \sqrt{\frac{\sum (\bar{f}_{cj} - f_i)^2}{N-1}}$	✓ \bar{f}_{cj} - resistência média do concreto da amostra à compressão, na idade de j dias;
Resistência característica estimada do concreto à tração na flexão	$f_{ctM,est} - \bar{f}_{ctM,j} - ks$	✓ N = número de amostras;
Resistência característica estimada do concreto à compressão simples	$f_{ck,est} - \bar{f}_{cj} - ks$	✓ K = parâmetros estatísticos que variam de acordo com o número de amostras.

[Fonte: Departamento de Estradas e Rodagem – SP (2004)]

Tabela 2.10 – Valores de K.

N	6	7	8	9	10	12	15	18	20	25	30	32	>32
K	0,920	0,906	0,896	0,883	0,883	0,876	0,868	0,863	0,861	0,857	0,854	0,842	0,842

[Fonte: Departamento de Estradas e Rodagem – SP (2004)]

2.5 - CARACTERÍSTICAS DAS CONCREÇÕES LATERÍTICAS

Os solos lateríticos são solos bem intemperizados, característicos de áreas bem drenadas, que ocupam as camadas mais superficiais. Apresentam coloração que predominam os matizes vermelho e amarelo, com uma macroestrutura aparentemente homogênea e isotrópica. Sua constituição mineralógica é caracterizada pela presença de quartzo e de outros minerais resistentes mecânica e quimicamente - magnetita, ilmenita, turmalina e zircão - na fração areia. A fração argila é constituída de argilo-minerais, geralmente a caulinita, óxido e hidróxido de ferro e alumínio (Nogami e Villibor, 1983 apud Lovato 2004).

No meio rodoviário brasileiro a laterita diz respeito a um solo concrecionado, enriquecido com óxidos hidratados de ferro ou alumínio, possuindo a caulinita como argilo mineral e, de maneira geral, com coloração vermelha, amarela, marrom ou alaranjada (Figura 2.5).



Figura 2.5 - Agregados lateríticos
[Fonte: CHAGAS FILHO (2005)]

De acordo com Marson, L. A. (2004) apud Souza (2007) os solos tropicais lateríticos apresentam características típicas como composição mineralógica, quartzo, caulinita, oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio, grande espessura e horizonte com cores principais, vermelha ou amarela.

Souza (2007) ainda relata que, pedologicamente, os solos lateríticos são uma variedade de solo superficial pedogenético, típico das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas.

Já Guimarães e Mota (2000), e citado por Marques (2001), também é denominada como laterita lavada o agregado resultante do processo de separação dos agregados graúdos deste material, maior que 4,8 mm, por lavagem dos grãos.

Oliveira (2000), refere-se a elas como sendo materiais concrecionados, constituindo um maciço em forma de crosta ou carapaça, de aspecto vesicular,

composto essencialmente de óxido de ferro e alumínio, de silicatos e quantidades variáveis de óxidos de titânio, magnésio e outros. Apresentando coloração amarelo avermelhado, variando em tons vermelho escuro ao negro.

Nogami (1985 apud MARSON, 2004) e citado por Souza (2007), argumentam que os solos lateríticos na sua macroestrutura possuem aparência homogênea e isotrópica, sendo que as variedades argilosas exibem aglomeração, formando torrões razoavelmente resistentes mesmo quando imersos na água.

No entanto suas características físicas e químicas podem mudar, substancialmente, de acordo com o local e a jazida de onde foi retirada a amostragem (Tabela 2.11).

Tabela 2.11 – Propriedades dos agregados lateríticos

Parâmetros	(a)	(a)	(b)	(c)	(d)		(e)	(f)
	SP - PB	MO - PA	SL - MA	SP - PB	NIGÉRIA 1 2		CA - PI	CA - PI
Massa específica real (g/cm ³)	3,14	2,59	2,82	2,67	2,79	2,62	3,04	3,10
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,48	1,98	-	1,45	-	-	2,67	2,65
Massa unitária (g/cm ³)	1,43	1,37	-	-	-	-	1,53	1,55
Índice de forma	0,85	0,86	-	-	-	-	0,99	0,98
Coeficiente de vazios (%)	26,6	30,80	-	42,00	-	-	42,70	-
Absorção após 6 horas (%)	9,50	9,60	4,500	3 – 7	7,2	9,2	4,50	5,20
Resistência ao desgaste (%)	42,3	64,8	41,20	44,50	33,2	34,1	35,00	38,00
Resistência ao esmagamento (%)	54,5	40,7	-	12,60	-	-	30,10	32,30
SiO ₂	24,0	40,6	-	22,98	-	-	25,53	-
Al ₂ O ₃	23,1	13,0	-	26,70	-	-	15,20	-
Fe ₂ O ₃	40,7	37,8	-	24,26	22,4	25,4	46,14	-

[Fonte: (a) CHAGAS FILHO; BARBOSA (1992); (b) COSTA; LUCENA (1987); (c) DANIEL DE ASSIS (1992); (d) ADEPEGBA (1982); (e) QUEIROZ DE CARVALHO (1984); (f) CARDOSO COSTA (1996). Convenção: (-) valores não obtidos]

Baseando-se na metodologia MCT de classificação de solos, os solos lateríticos são representados pela letra L e estão subdivididos em três classes ou grupos (Figura 2.6):

1. LA – areia laterítica quartzosa;
2. LA' – solo arenoso laterítico;
3. LG' – solo argiloso laterítico.

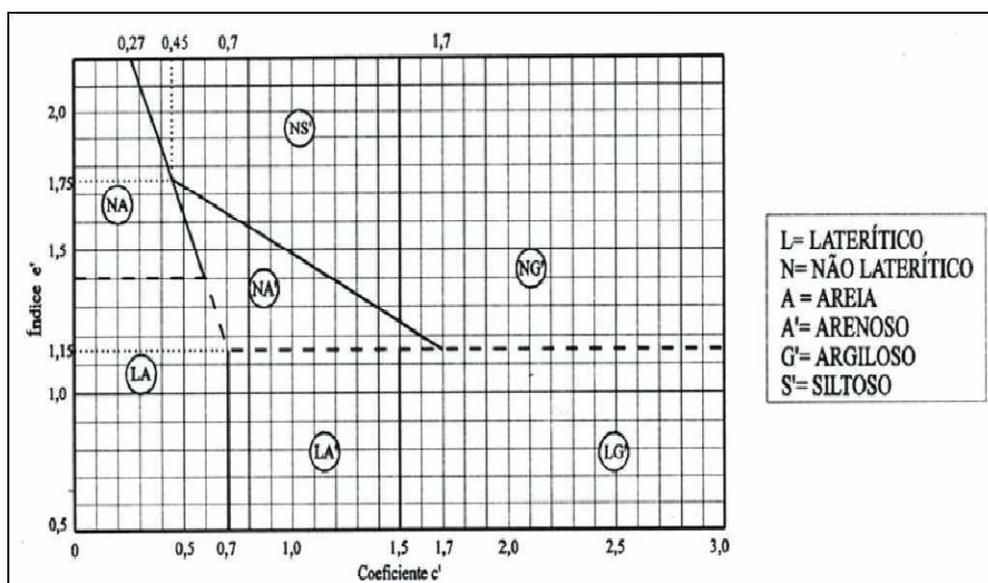


Figura 2.6 - Classificação dos Solos pelo Método MCT
[Fonte: Medina (2007)]

De maneira sucinta, não há um conceito comum entre engenheiros e geólogos em relação à definição de lateritas. O que se pode dizer de forma geral é que tal material se forma devido a uma série de complexas reações químicas, mineralógicas e bioquímicas interligadas, atuando sobre rochas já existentes.

Este tipo de solo, laterítico, é típico de regiões tropicais e subtropicais do planeta, de tal forma que, em relação ao Brasil, encontra-se em 60% do território nacional e, em relação ao globo terrestre, na faixa de 40% das terras emersas entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, como pode ser verificado na Figura 2.8.

2.6 - UTILIZAÇÃO DO AGREGADO LATERÍTICO NA FABRICAÇÃO DO CONCRETO NÃO-CONVENCIONAL

Devido à escassez de jazidas de brita de rocha granítica em determinadas regiões, não só do Brasil, mas de outras regiões do Globo Terrestre, e a procura por materiais alternativos para fabricação de concreto de cimento Portland levaram pesquisadores a analisar e estudar o uso das concreções lateríticas como agregado graúdo.

Nogami e Villibor (1995) destacaram o bom desempenho observado em pavimentos executados com base de solo arenoso fino laterítico, entre as décadas de 50 e 60 do século passado.

Pompeu (1976 apud Conceição 1996) estudou as propriedades de resistência mecânica do concreto laterítico, utilizando várias misturas com diferentes fatores água/cimento, concluindo que o concreto laterítico apresentava comportamento semelhante ao do concreto convencional, podendo ser usado com segurança como material de construção economicamente viável, nas obras de engenharia de menor porte.



Figura 2.7 - Regiões do mundo onde existem jazidas de solo laterítico
[Fonte: CHAGAS FILHO (2005)]

Além disto, Chagas Filho (2005) relatou que os modos de ruptura dos corpos-de-prova de concreto laterítico de sua pesquisa foram semelhantes aos corpos – de – prova cujo agregados graúdos utilizados foram a rocha granítica, denominado concreto convencional.

Ferreira et al (2007) obtiveram em seus trabalhos CBR, na energia modificada, para as concreções lateríticas, resultados superiores a 100%, valor obtido devido aos grumos pela cimentação dos óxidos de ferro.

Quanto à resistência a compressão simples, Chagas Filho (2005) encontrou valores consideráveis, sem o uso de aditivos e sem haver lavagem das agregados lateríticos (Tabelas 2.12 e 2.13).

Todavia, mesmo com resultados encorajadores, no uso dos solos lateríticos na engenharia civil é importante que se façam estudos mais aprofundados dos mesmos por se tratar de um solo com características diferentes entre jazidas.

Tabela 2.12 – Resistência à compressão simples dos corpos – de – prova para traços diversos sem lavagem das concreções lateríticas

Resistência à compressão simples (MPa)					3	7	14	21	28
Dias de idade									
CLR (5,0)	1: 5,0	a/agl	0,75	16,3	18,6	22,4	24,4	25,9	
		sp	0,00%						
		sa	0,00%						
CLR (3,5)	1: 3,5	a/agl	0,42	20,7	26,1	31,1	34,3	38,0	
		sp	0,00%						
		sa	0,00%						
CLR (6,5)	1: 6,5	a/agl	0,71	10,8	12,5	14,5	16,5	18,2	
		sp	0,00%						
		sa	0,00%						

OBSERVAÇÕES: a/agl: fator água/aglomerante; sp: superplastificante; as: sílica ativa

[Fonte: CHAGAS FILHO (2005).]

Tabela 2.13 – Parâmetros utilizados para moldagem dos diversos traços de concreto laterítico, sem lavagem dos agregados

Traço em Massa	Designação do traço	CLR (5,0)	CLR (3,5)	CLR (6,5)
	1: m	1: 5,0	1: 3,5	1: 6,5
	1: a: p₁: p₂	1: 2,78: 1,11: 1,11	1: 1,75: 0,88: 0,88	1: 3,58: 1,46: 1,46
Teor de argamassa	α (%)	63	61	61
Agregado graúdo 0	(kg)	22,5	28,2	32,60
Agregado graúdo 1	(kg)	22,5	28,2	32,60
Agregado miúdo	(kg)	56,4	56,4	79,80
Cimento	(kg)	20,2	32,2	22,30
Água	(l)	15,2	13,5	15,74
Sílica Ativa/cimento	% - g	-	-	-
Aditivo:	% - (g)	-	-	-
Massa específica	kg/m³	2.420,0	2.400,0	2.460,0
Consumo /m³ de concreto	cimento (kg)	358,35	487,8	299,63
	água (l)	268,76	204,9	212,74
Relação a/agl		0,75	0,42	0,71
Abatimento do tronco de cone NBR 7223	(mm)	60	40	20

[Fonte: CHAGAS FILHO (2005)] Convenção: (-) valores não obtidos

Souza (2007) sugere a identificação de solos lateríticos, um fator de grande relevância para a Engenharia Civil, principalmente a respeito da aplicação de tais solos em pavimentos de baixo custo e o seu comportamento como fundação.

Tais estudos mostram a viabilidade e importância de se aprofundar os estudos a respeito das concreções lateríticas direcionadas às obras de engenharia civil, com menores custos, mas resultados semelhantes a materiais convencionais.

2.7 - O USO DA LATERITA COMO MATERIAL PARA PAVIMENTAÇÃO

Alguns estudos já foram realizados, e merecem destaques, a respeito do uso da laterita na fabricação de concreto de cimento Portland destinado à pavimentação de rodovias.

Oliveira (2000) destaca em seu trabalho que a principal vantagem da utilização de um pavimento alternativo é este cumprir sua função com investimentos significativamente menores.

A respeito de valores econômicos, estimativas dos custos do m³ da brita de rocha granítica em determinadas regiões brasileiras mostram necessidades de se procurar materiais alternativos para a engenharia civil.

Segundo Chagas Filho (2000), o preço do metro cúbico da brita de rocha granítica em Belém - PA, por exemplo, pode alcançar um valor 48% superior ao da Região Nordeste. Tal aumento se deve, principalmente, às grandes distâncias existentes entre as jazidas de tal material e os canteiros de obras, chegando a valores de 800 km.

Desta forma, materiais alternativos, como concreções lateríticas, que possuem características semelhantes aos agregados convencionais e que podem baratear os custos finais de construção, em obras de pavimentação, implica grande relevância de um estudo mais aprofundado no uso deste material alternativo em obras rodoviárias. Tal estudo tem maior importância quando é direcionado a países como o Brasil, de dimensões continentais e que tem grande porcentagem da circulação de suas riquezas feitas por vias terrestres e rodoviárias.

Em 1985, como ressaltou Oliveira (2000), foi concluída a pavimentação da rodovia RS/536, trecho Entr. BR/285 – Caibaté, com extensão de 12 quilômetros,

construída com concreções lateríticas nas camadas de base e sub-base. Após 15 anos de tráfego a camada de base apresentava-se em muito bom estado de conservação.

Recentemente foram executados dois novos trechos rodoviários com camadas de base e sub-base de cascalho laterítico, que foram os acessos a São Nicolau - RS, em 1998, e a Sete de Setembro - RS, em 2000.

Ele destaca que a técnica mais adequada para a utilização da laterita como base rodoviária consiste na mistura em usina de solos das concreções lateríticas britadas, mínimo 50% do volume, com os solos lateríticos subjacentes.

Madu (1980 apud Conceição 1996), utilizando sete tipos de concreções de várias regiões da Nigéria, submetidas a um peneiramento prévio, estudou o comportamento da laterita quando utilizados em concretos e em rodovias. Os resultados mostraram que os agregados lateríticos apresentavam bom desempenho, embora com valores bastante inferiores aos obtidos com rochas graníticas.

Medina (2007) destaca o uso da laterita em rodovias de volume de tráfego de baixo a médio, com VDM (Volume Diário Médio) na ordem de 500 veículos, com 30% a 40% de caminhões e ônibus, valorizando, para estes tipos de rodovias, o uso dos solos lateríticos como material de subleito e de camadas do pavimento sendo, para isto, de particular importância, os conhecimentos da pedologia e da identificação deste tipo de solo.

Como visto, o concreto é um excelente material para uso da pavimentação rodoviária, tendo consideráveis vantagens em relação ao CBUQ. No entanto, na sua fabricação, deve ser feita uma análise a respeito de todos os materiais a serem utilizados, desde o agregado miúdo até o ligante, de maneira que o produto final atenda a resistência especificada pela Norma para este tipo de obra.

Além disso, as concreções lateríticas aparecem como uma forma alternativa de agregado graúdo, possuindo resultados consideráveis em diversas áreas da construção civil, surgindo, assim, como uma forma de substituição da brita de rocha granítica na fabricação do CCP para pavimentação rodoviária.

Desta forma, com base nestes dados e em trabalhos realizados por Chagas Filho (2000) e Perazzo (2000), se pretende comprovar a viabilidade técnica do uso das concreções lateríticas na confecção do concreto direcionado para pavimentos, como também o uso destas concreções como brita graduada para pavimentos.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo serão apresentados os materiais utilizados na pesquisa e os métodos utilizados para a realização dos ensaios, apresentado inicialmente as características físicas e mecânicas dos agregados e em seguida os ensaios físicos para o concreto.

3.1 - MATERIAIS:

Para a realização desta pesquisa relacionada às camadas de pavimento rígido, utilizou-se: agregado graúdo alternativo de concreções lateríticas, areia, cimento e água.

Com estes materiais, foram moldados e ensaiados corpos – de - prova e analisado o uso das concreções como brita graduada e CCR , como revestimento da base e sub-base do pavimento rígido.

3.1.1 – Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado foi areia proveniente do município de Barra de Santana - PB.

3.1.2 – Agregado Graúdo

Como agregado graúdo alternativo, foram utilizadas concreções lateríticas originadas da jazida localizada no km 675, da obra de construção da Ferrovia Norte – Sul, no município de Barrolândia – TO (Figura 3.1).



Figura 3.1: Laterita britada e peneirada utilizada na pesquisa

3.1.3 – Cimento

Para a moldagem dos corpos de prova, utilizou-se cimento tipo Portland, CP II Z - 32, Poty, acondicionado em sacos de 50 kg.

3.1.4 – Água

A água utilizada na pesquisa foi a destinada ao consumo, fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA.

3.2 – MÉTODOS:

A seguir apresenta – se a metodologia utilizada na pesquisa.

3.2.1 – Fluxograma da Pesquisa

No fluxograma ilustrado na Figura 3.2 encontram-se os procedimentos utilizados e realizados na pesquisa, desde a coleta das amostras até as conclusões.

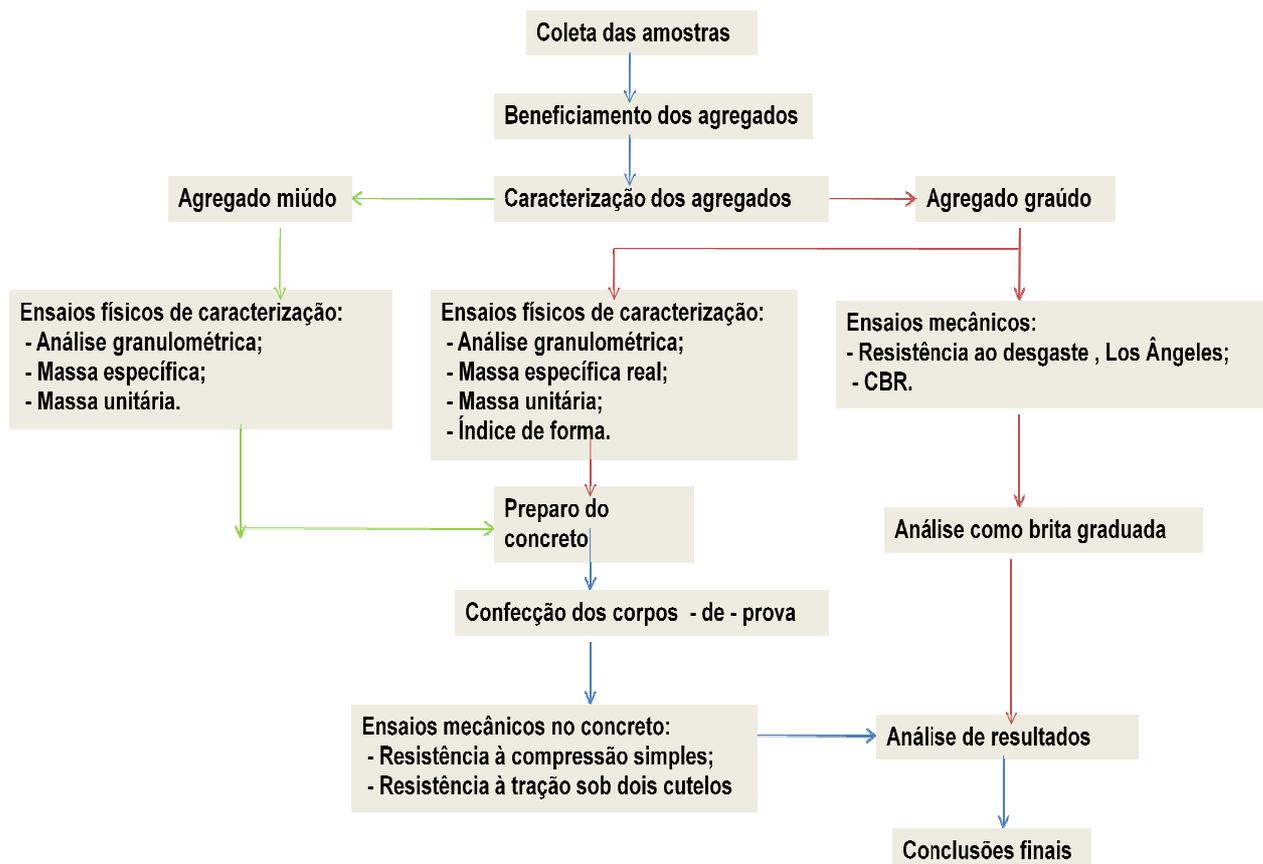


Figura 3.2 - Fluxograma da Pesquisa

3.2.2 – Beneficiamento dos Agregados:

Devido à presença de material pulverulento nos agregados e a mistura de diferentes granulometria da amostra adquirida de laterita, foi necessário um beneficiamento prévio dos agregados para que não afetasse o resultado da resistência do concreto.

Para o agregado miúdo foi feita a eliminação de todo o material retido na peneira ABNT 4,8mm.

Já para o agregado graúdo, no caso as concreções lateríticas, foi realizado, inicialmente, um peneiramento manual através das peneiras 25mm, 19mm, 10mm e 6,3mm.

Deste peneiramento, foi eliminado o material retido na peneira de 25 mm e o material que passou pela peneira 6,3mm.

Os materiais retidos nas demais peneiras foram lavados com uso de mangueira na peneira de nº4 – malha 4,8 mm – durante um tempo de 3 a 4 minutos para retirada do material pulverulento.

Depois de retiradas dos materiais pulverulentos, as concreções lateríticas foram secas ao ar, ensacados e pesados para posterior uso na moldagem dos corpos – de – prova de concreto.



Figura 3.3 – a) Colocação da laterita na peneira ABNT 4,8 mm b) para lavagem

3.2.3 – Caracterização dos Agregados:

Os ensaios de caracterização realizados foram:

- a) Agregado Miúdo:

Tabela 3.1 – Ensaios de caracterização para o agregado miúdo

Ensaio	Norma
Análise granulométrica	ABNT NBR 7217 (1987)
Massa específica do agregado	ABNT NBRs 6474 (1998) E 9776(1987)
Massa unitária no estado solto	ABNT NBR 7219 (1982)

b) Agregado Graúdo:

Tabela 3.2 – Ensaio de caracterização do agregado graúdo

Ensaio	Norma
Análise granulométrica	ABNT NBR 7217 (1987)
Massa específica do agregado	ABNT NBRs 6474 (1998) E 9776(1987)
Massa unitária	ABNT NBR 7251 (1982)
Índice de forma	ME 86 (DNER, 1964)
Absorção de água	ABNT NBR 9937 (1987)

- Ensaio Mecânicos:

- Abrasão “Los Angeles” – ABNT NBR 6465 (1984);
- CBR – NBR 9895/87

3.2.4 – Determinação da Curva Granulométrica dos Agregados Graúdos:

Para o ensaio granulométrico das concreções lateríticas utilizou-se as normas ABNT NBRs 7217 (1987) e 7219 (1987).

3.2.5 – Determinação da Mistura de Agregados Graúdos

Como forma de diminuir o custo do concreto e aproveitar ao máximo as concreções lateríticas disponíveis para a moldagem do concreto, pode ser feita uma composição de agregados graúdos correspondente as pedras britadas nº 0, 1, 2, de acordo com a metodologia do IPT.

Para a determinação adequada da mistura entre duas faixas granulométricas, por exemplo, de pedras britadas, pode-se utilizar o método NBR 7810 – Agregado em Estado Compactado Seco – Determinação da Massa Unitária.

A determinação da massa unitária deverá ser feita individualmente em cada mistura de agregados, contendo diferentes teores de cada fração.

Como forma de exemplificar tal procedimento, tem-se a Tabela 3.3 a seguir, na qual apresenta-se, na primeira coluna, a variação adotada (%) na mistura dos dois agregados. A segunda e terceira colunas apresentam as quantidades de agregados necessárias para obter a proporção correspondente e suficiente para encher o recipiente metálico.

A quarta coluna representa o acréscimo da brita nº 0, para este exemplo, necessária para passar de uma composição para a seguinte, aproveitando sempre a mistura realizada anteriormente.

A escolha da composição dita “ideal” irá se basear no maior valor obtido para a massa unitária no estado compactado, calculada da seguinte forma:

$$\text{- Massa unitária no estado compactado} = \frac{(\text{Massa total do recipiente} - \text{tara})}{(\text{volume do recipiente})} \text{ (kg/dm}^3\text{)} \quad (5)$$

Tabela 3.3 - Determinação da Composição “Ideal”

Composição entre os agregados nº 1/0 (%)	Quantidade de pedra britada nº1 (kg)	Quantidade de pedra britada nº 0 (kg)	Acréscimo de pedra britada nº0 para obter a composição desejada (kg)	Massa total do recipiente (agregado + tara) (kg)	Massa unitária no estado compactado (kg/dm ³)
100/0					
90/10					
80/20					
70/30					
60/40					
50/50					
40/60					

[Fonte: Helene e Terzian, (2004)]

3.2.6 - Determinação do teor ideal de argamassa

Para se ter um traço ideal na fabricação do concreto é de suma importância a determinação do teor de argamassa, pois na falta da mesma numa mistura pode acarretar uma maior porosidade do concreto ou falhas, enquanto seu excesso poderá proporcionar aumento no custo por metro cúbico, como também o risco de fissuração por origem térmica e por retração de secagem.

Na determinação do teor ideal de argamassa, foi estabelecido o traço 1:5, e seguido os seguintes passos, segundo a metodologia do IPT (Helene e Terzian, 2004):

- a) Abastece-se a betoneira com uma porção de concreto, maior ou igual a 6 kg, com traço 1:2:3, e $a/c = 0,65$ (Figura 3.4 (a)). Deixa-se o material excedente cair livremente, quando a betoneira estiver com a abertura para baixo e em movimento (Figura 3.4 (b));
- b) Após pesar e lançar os primeiros materiais na betoneira deve-se misturá-los durante 5 minutos, com uma parada intermediária para limpeza das pás da betoneira. Ao final, verifica-se se é possível efetuar o abatimento de cone, observando se há coesão e plasticidade adequada;
- c) Para a introdução dos materiais de modo individual dentro da betoneira, deve-se seguir a seguinte ordem: água (80%); agregado graúdo (100%); agregado miúdo (100%); cimento (100%); e o restante da água;
- d) Após tais procedimentos, são realizados os acréscimos sucessivos de argamassa na mistura, através do lançamento de cimento e areia. É importante observar que a quantidade de agregado graúdo não é alterada;
- e) Por fim, para a definição do teor ideal de argamassa deve - se realizar os seguintes procedimentos, para cada teor de argamassa:
 - Com a betoneira desligada, retira-se todo o material aderido nas pás e superfície interna;

- Com uma colher de pedreiro, coloca-se todo o material para a região inferior da cuba da betoneira, introduzindo os agregados soltos da mistura;
- Passa-se a colher de pedreiro sobre a superfície do concreto fresco. Em seguida, introduz a colher de pedreiro dentro da massa e levanta-se no sentido vertical, verificando-se se a superfície exposta possui vazios, o que indica a falta de argamassa;
- Novamente é introduzida a colher de pedreiro no concreto e retira-se uma parte do mesmo, levantando-o até a região superior da cuba da betoneira. Com o material nesta posição, verifica-se se há desprendimento de agregado graúdo da massa, o que irá indicar também a falta de argamassa na mistura;
- Outro passo para indicar a falta ou não de argamassa é soltar uma porção de concreto da colher e verificar se a mesma cai de modo compactado e homogêneo, o que irá indicar o teor de argamassa ideal;
- Encontrada a mistura que apresente adequabilidade no procedimento anterior, sem vazios na superfície, sem desprendimento de agregados e queda do concreto de modo homogêneo e compactado, realiza-se o abatimento do tronco de cone;
- Realizado o ensaio de abatimento, com o concreto ainda em forma de cone, bate-se suavemente na lateral inferior do mesmo, com o auxílio de uma haste de socamento, verificando-se sua queda. Não havendo desprendimento de porções, o concreto estará com o teor de argamassa bom;
- Outra observação que deve ser feita é se a lateral do concreto está bem compactada, indicando também um bom teor de argamassa;

f) Com o teor de argamassa ideal determinado, realiza-se uma nova mistura com o traço 1:5,0, determinando todas as características do concreto fresco:

- Relação água/cimento;
- Consumo de cimento por metro cúbico de concreto;
- Consumo de água por metro cúbico de concreto;
- Abatimento do tronco de cone.



Figura 3.4 – Preparo do traço do concreto: a) colocação do material na betoneira e b) retirada do concreto.

g) Por fim, moldam-se os corpos-de-prova cilíndricos, para a resistência à compressão, e prismáticos, para a resistência à tração (Figura 3.5).



Figura 3.5 - Moldagem dos corpos – de – prova a) cilíndricos, para os ensaios de compressão simples e b) prismáticos, para os ensaios de tração na flexão.

3.2.7 - Determinação dos Traços Auxiliares

Antes da determinação do traço unitário do concreto, devem-se obter traços auxiliares, para montagem do diagrama de dosagem, de maneira a se obter o traço definitivo da pesquisa.

Tais traços escolhidos variam de uma unidade e meia no teor de agregado total, para mais e para menos, em relação ao traço 1:5,0, o qual é denominado como traço normal.

É importante destacar que, para ambos os traços auxiliares deve-se utilizar o mesmo teor de argamassa determinado para o traço normal.

Para a determinação dos traços auxiliares, segue-se o procedimento abaixo:

a) Obtenção do traço mais rico, em teor de cimento:

- Traço adotado: 1:3,5 (1:m)

$$a_r + p_r = 3,5 \quad (6)$$

$$\frac{1 + a_r}{1 + a_r + p_r} = \alpha \quad \text{Onde:} \quad \begin{aligned} a_r &= \alpha(1 + 3,5) - 1 \\ p_r &= 3,5 - a_r \end{aligned} \quad (7)$$

Onde α é o teor de argamassa seca do traço 1:5,0, já conhecido e a_r e p_r as quantidades de areia e pedra do traço rico.

b) Obtenção do traço mais pobre (em cimento):

- Traço adotado: 1:6,5 (1:m)

$$a_p + p_p = 6,5 \quad (8)$$

$$\frac{1 + a_p}{1 + a_p + p_p} = \alpha \quad \text{Onde:} \quad \begin{aligned} a_p &= \alpha(1 + 6,5) - 1 \\ p_p &= 6,5 - a_p \end{aligned} \quad (9)$$

Onde α é o teor de argamassa seca do traço 1:5,0, já conhecido e a_p e p_p as quantidades de areia e pedra do traço pobre.

3.2.8 – Determinação do Traço Unitário do Concreto:

Para a escolha de um traço ideal para o concreto, foi necessária a montagem do diagrama de dosagem, como mostrado na Figura 3.6, no qual se correlaciona à resistência a compressão, relação água/cimento, o consumo de cimento e a relação agregados secos/cimento (m).

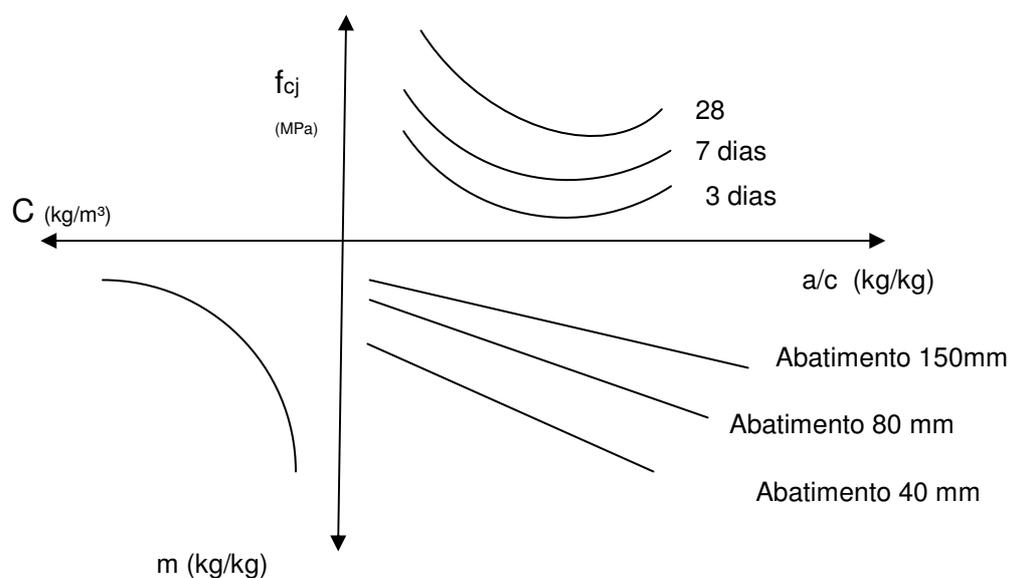


Figura 3.6 - Diagrama de Dosagem
[Fonte: Helene e Terzian, (2004)]

Para este diagrama, o consumo de concreto foi determinado pela equação:

$$C = \frac{\gamma}{1 + a + p + a/c} \quad (10)$$

Onde:

C = Consumo de cimento por metro cúbico de concreto adensado em kg/m³;

γ = massa específica do concreto, medida em kg/m³;

a = relação agregado miúdo/cimento em massa, em kg/kg;

p = relação agregados graúdos secos/cimento em massa, em kg/kg.

3.2.9 – Preparo do Concreto

O concreto utilizado na moldagem dos corpos-de-prova destinados aos ensaios de compressão e tração foi preparado em betoneira de palhetas fixas com capacidade de 50 litros, pertencente ao laboratório da ATECEL®.

Os materiais foram colocados na betoneira na seguinte seqüência:

- 1) 100% do agregado graúdo;
- 2) 20% da água, com a correção, devido à absorção conhecida das concreções lateríticas;
- 3) Rotação por ½ min.;
- 4) 100% do agregado miúdo;
- 5) Mais 20% da água a ser utilizada na moldagem dos corpos – de - prova;
- 6) Novamente, rotação por ½ min.;
- 7) 100% do cimento;
- 8) Por fim, rotação por 2 min., colocando-se o restante da água de forma gradual (Figura 3.7), até atingir a consistência desejada.



Figura 3.7 – Colocação da água na betoneira para fabricação do concreto destinado a moldagem dos corpos – de – prova.

3.2.10 – Moldagem e Cura dos Corpos – de – Prova

A moldagem e cura dos corpos-de-prova foram feitas de acordo com a NBR 5738 (ABNT 1984).

Para cada traço foram moldados seis corpos-de-prova cilíndricos para o ensaio de compressão e três prismáticos, para o ensaio de tração sob dois cutelos (Figura 3.8).

Todos os corpos – de - prova, após 24 horas da concretagem, foram levados à cura, por imersão, em câmara úmida, sendo retirados um dia antes da realização do ensaio.

Os corpos-de-prova forma rompidos a 3, 7 e 28 dias, para os ensaios de compressão simples, e 7, 14 e 28 dias para os ensaios de tração na flexão.

Com os dados dos ensaios de compressão simples, determinou-se também o traço unitário e ideal do concreto através diagrama de dosagem, ilustrado na Figura 3.6, da seção 3.2.8.



Figura 3.8 – Corpos – de – prova moldados: a) prismáticos e b) cilíndricos.

3.2.11 – Caracterização do Concreto Fresco

Nos concretos frescos foram realizados ensaios de abatimento do tronco de cone, com o objetivo de determinar suas consistências, conforme a NBR 7223 (ABNT, 1982).

3.2.12 - Caracterização do Concreto Endurecido

Como forma de avaliar e analisar as qualidades do concreto, utilizando as concreções lateríticas como agregado graúdo, foram realizados os ensaios:

- a) Resistência a Compressão Simples - NBR 5739 (ABNT, 1980);
- b) Resistência a Tração na Flexão – ASTM C 78.

a) Resistência à Compressão Simples

Na realização desta pesquisa, para o ensaio de compressão simples, foram confeccionados corpos – de – prova cilíndricos com dimensões 10 cm x 20 cm para os traços 1:3,5; 1:5,0 e 1:6,5 além de um traço referente ao CCR.



Figura 3.9 Prensa hidráulica, utilizada para o ensaio de compressão simples

Deve ser observado que, após a ruptura dos corpos – de – prova nas idades estabelecidas, os resultados devem ser confrontados com as das curvas de referência (Figura 3.10), para uma possível correção do traço do concreto (Helene e Terzian, 2004).

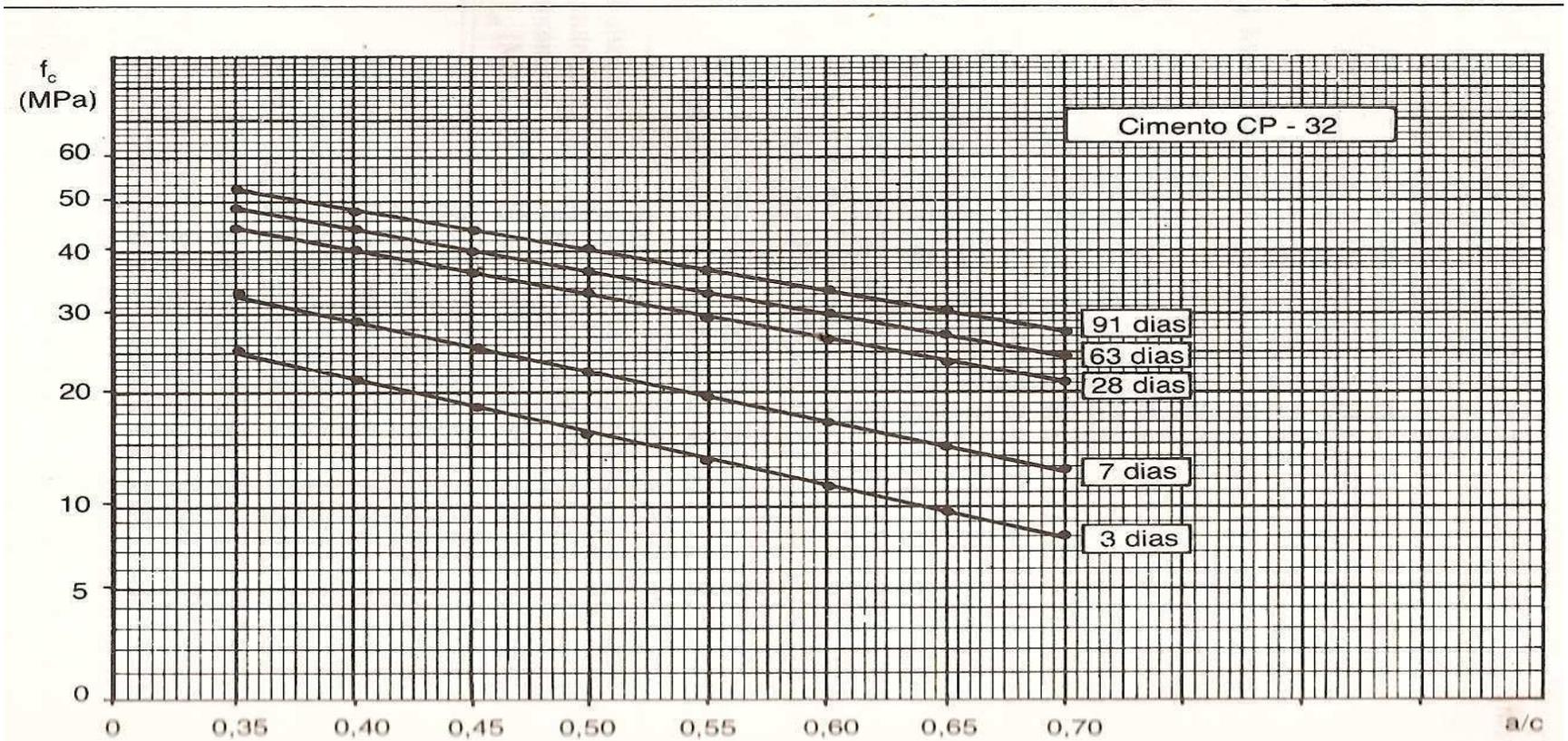


Figura 3.10 – Curvas médias de correlação entre resistência à compressão axial e relação água/cimento para Cimento Portland comum CP 32

[Fonte: Helene e Terzian, (2004)].

A necessidade de uma possível correção do traço do concreto irá depender dos valores obtidos e do sistema de produção do concreto, avaliando a resistência e o desvio – padrão do mesmo.

A Tabela 3.4 apresenta os parâmetros que devem ser seguidos e as possíveis correções no traço, caso sejam necessários.

Tabela 3.4 – Correção do traço do concreto utilizando os valores do ensaio de compresso simples

Condições	Justificativa	Providências
1 - $f_{ck,est} \leq f_{ck}$ e $s_c \leq s_d$	1 - O cimento apresenta resultados inferiores ao da média esperada; 2 - O traço de concreto pode estar errado.	1 - Verificar se o traço está correto; 2 - Se o traço está correto, modificar com o aumento do consumo; 3 - Mudar de fabricante de cimento (quando for possível).
2 - $f_{ck,est} \leq f_{ck}$ e $s_c > s_d$	1 - A produção de concreto não está como planejado.	1 - Mudar o traço com aumento do consumo; 2 - Melhorar a produção de concreto.
3 - $f_{ck,est} > f_{ck}$ e $s_c \leq s_d$	1 - O cimento está na média esperada; 2 - A produção de concreto está conforme esperado.	1 - Manter o traço; 2 - Manter o fornecedor de cimento; 3 - Manter o sistema de produção.
4 - $f_{ck,est} > f_{ck}$ e $s_c > s_d$	1 - O cimento apresenta-se com resultados acima da média; 2 - O traço de concreto pode estar errado; 3 - A produção do concreto não está conforme planejado.	1 - Melhorar a produção de concreto; 2 - Manter o fornecedor do cimento; 3 - verificar se o traço está errado.
5 - $f_{ck,est} > 1,15 f_{ck}$ e $s_c \leq s_d$	1 - O cimento apresenta-se com resultados acima da média; 2 - o traço de concreto pode estar errado.	1 - Verificar se o traço está errado; 2 - Se o traço está correto, modificar com diminuição do consumo; 3 - manter o fornecedor de cimento.

[Fonte: Helene e Terzian, (2004)]

Obs.:

- 1) $f_{ck,est}$ = Resistência característica do concreto estimada;
- 2) f_{ck} = Resistência característica do projeto;
- 3) s_c = desvio – padrão, oriundo dos resultados da produção do concreto;
- 4) s_d = desvio – padrão de dosagem.

No caso do desvio – padrão de dosagem (s_d), sua escolha deve ser de forma subjetiva para situações em que não se conheçam pelo menos 30 resultados da obra em questão. Para isso, utilizam-se os seguintes valores:

- $s_{dj} = 3 \text{ MPa}$, sempre que a produção for em massa, com controle rigoroso da umidade dos agregados;
- $s_{dj} = 4 \text{ MPa}$, sempre que a produção for em volume, com controle rigoroso da umidade dos agregados e com equipe bem treinada;
- $s_{dj} = 5,5 \text{ MPa}$, sempre que a produção for em volume, e com equipe nova em fase de adaptação.

Para a determinação do desvio – padrão (s_c), faz – se uso das equações 11 e 12:

$$f_{cmj,est} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{p1 + p2}{2} \right) i}{n} \quad (11)$$

$$s_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[f_{cmj,est} - \left(\frac{p1 + p2}{2} \right) i \right]^2}{n - 1}} \quad (12)$$

Onde $p1$ e $p2$ são os valores da resistência à compressão e n o número dos pares de exemplares utilizado nos ensaios.

Todavia, é importante salientar que essas equações são válidas para $n \geq 6$.

Enquanto isso, a determinação da resistência característica do concreto estimada ($f_{ck,est}$) pode ser feita por intermédio dos parâmetros estabelecidos na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Influência das operações de ensaio na estimativa da resistência característica

Coefficiente de variação real do processo de produção do concreto $v_{c,real}$ (%)	Coefficiente de variação dos procedimentos de ensaio e controle v_e (%)	Coefficiente de variação total do processo de produção e ensaio do concreto v_c (%) Resistência	Característica do concreto à compressão (estimador clássico) $f_{ck,est}$
9%	Muito bom – 3,0	9,5	0,84. f_{cmj}
Usual em usinas gravimétricas	Razoável – 5,5	10,5	0,83. f_{cmj}
	Deficiente – 7,0	11,4	0,81. f_{cmj}
12%	Muito bom – 3,0	12,4	0,80. f_{cmj}
Usual em canteiro de obras bem administradas	Razoável – 5,5	13,2	0,78. f_{cmj}
	Deficiente – 7,0	13,9	0,77. f_{cmj}
16%	Muito bom – 3,0	16,3	0,73. f_{cmj}
Usual em canteiros de obras mal administradas	Razoável – 5,5	16,9	0,72. f_{cmj}
	Deficiente – 7,0	17,5	0,71. f_{cmj}

[Fonte: Helene e Terzian, (2004)]

Desta forma, pode – se verificar a necessidade de uma correção do traço do concreto utilizado, de maneira que se alcance a resistência desejada no projeto.

b) Resistência a Tração na Flexão

No ensaio de tração na flexão, as fôrmas prismáticas utilizadas tinham as dimensões 50 cm x 15 cm x 15 cm e o concreto nela moldados teve os mesmos traços do ensaio de compressão simples, com exceção do traço para o ensaio CCR.

A resistência à tração, por flexão com carregamentos nos terços de vão, é calculada pela expressão:

$$R = PL/bd^2 \quad (13)$$

Onde:

R = módulo de ruptura;
P = carga máxima;
L = comprimento do vão;
b = largura do CP;
d = altura do corpo de prova.

Se a ruptura estiver fora do terço do vão, ou seja não mais do que 5% do comprimento, usa-se:

$$R = 3 Pa/bd^2 \quad (14)$$

Onde:

a= distância vertical entre a linha de ruptura e o suporte mais próximo.

Quando a ruptura estiver fora do vão mais de 5%, os resultados do ensaio são rejeitados (ASTM C 78).

O ensaio de flexão é muito útil, principalmente para dimensionamento de pavimentos de rodovias e de aeroportos, nos quais a tração na flexão é um fator crítico.



Figura 3.11 – Ensaio de tração na flexão sob dois cutelos.

As Tabelas 3.2 e 3.3 mostram a distribuição dos corpos - de - prova para os ensaios mencionados.

Tabela 3.6 - Número de corpos-de-prova utilizados na pesquisa para os ensaios de compressão.

Tempo para o Ensaio	Traço	Compressão Simples
3 dias	1:3,5	2
	1:5,0	2
	1:6,5	2
	CCR	2
7 dias	1:3,5	2
	1:5,0	2
	1:6,5	2
	CCR	2
28 dias	1:3,5	2
	1:5,0	2
	1:6,5	2
	CCR	2
Total dos corpos-de-prova		24

Tabela 3.7 - Número de corpos-de-prova utilizados na pesquisa para os ensaios de tração na flexão.

Tempo para o Ensaio	Traço	Tração na Flexão
7 dias	1:3,5	2
	1:5,0	2
	1:6,5	2
14 dias	1:3,5	2
	1:5,0	2
	1:6,5	2
28 dias	1:3,5	2
	1:5,0	2
	1:6,5	2
Total dos corpos-de-prova		18

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente serão apresentados e discutidos os resultados dos ensaios de caracterização para os agregados graúdos e miúdos.

Também serão apresentados os resultados dos ensaios mecânicos de CBR e Abrasão Los Angeles para as concreções lateríticas, usadas como agregados graúdos, dados importantes para análise desse agregado como brita graduada.

Para o concreto fabricado com o uso das concreções lateríticas, serão discutidos os valores de resistência à compressão simples e à tração na flexão obtida nos ensaios, comparando os valores obtidos com as expressões de Lobo Carneiro e da ABCP que correlacionam os valores de tais resistências. Além da verificação estatística dos traços utilizados por meio dos resultados do ensaio de compressão e os parâmetros definidos para um melhor aproveitamento do mesmo e obtenção da resistência esperada.

4.1 - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Os ensaios de caracterização referem-se aos indicados na Figura 3.2 para o agregado graúdo e miúdo.

4.1.1 – Ensaio de caracterização das concreções lateríticas como agregado graúdo

A curva de distribuição granulométrica e os valores obtidos estão ilustrados na Figura 4.1 e na Tabela 4.1.

Da Tabela 4.1 desde que 50,62% do material ficou retido na peneira de malha 4,8 mm, caracterizando-se, segundo a NBR 7217 (1987) como pedregulho, enquanto que 40,10% situam-se entre as peneiras de malha 2 mm e 0,074 mm, e os restantes 9,28% com valores menores do que esta última malha. Estas porcentagens caracterizam a grande presença de materiais finos na amostra coletada.

Na Tabela 4.2 apresentam-se as propriedades físicas do agregado graúdo utilizado na pesquisa, segundo as normas na ABNT.

A absorção da água ficou em torno dos 5%. Este índice foi e deve sempre ser levado em consideração no fator a/c para que não haja interferência na moldagem do concreto, tanto antes, em sua trabalhabilidade, quanto depois, na resistência.

Na tabela 4.3 encontram-se os resultados dos ensaios mecânicos para as concreções lateríticas. Os gráficos destes ensaios serão apresentados nos Anexos.

Comparando os valores obtidos nos ensaios de caracterização das concreções lateríticas provenientes de Barrolândia – TO com valores de outras jazidas, como Jacumã – PB e Sapé – PB, estudadas respectivamente por Chagas Filho (2005) e Souza (2007), verifica-se que as características físicas das concreções podem variar substancialmente de acordo com a localização da jazida (Tabela 4.4).

Tabela 4.1 - Composição granulométrica das concreções lateríticas.

Concreções Lateríticas				
Peneiras (mm)	Material retido % amostra total (%)	Massa retida (g)	Massa acumulada (g)	% passando da amostra
50,0	0,00	0,00	0,00	100,00
38,0	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4	6,20	124,00	124,00	93,80
19,1	2,71	54,20	178,20	91,09
9,5	14,89	297,80	476,00	76,20
4,8	26,82	536,40	1012,40	49,38
2,0	21,34	426,80	1439,20	28,04
1,2	-	-	-	28,04
0,6	-	-	-	28,04
0,42	7,60	152,00	1591,20	20,44
0,3	-	-	-	20,44
0,15	-	-	-	20,44
0,074	11,16	223,20	1814,40	9,28
Amostra total (g)			2000,00	

Tabela 4.2 - Caracterização do agregado graúdo.

ENSAIOS	LATERITA TOCANTINS
Massa específica real (g/cm ³)	2,76
Massa unitária (g/cm ³)	1,56
Índice de forma	1,44
Absorção de água após 6hs (%)	4,98

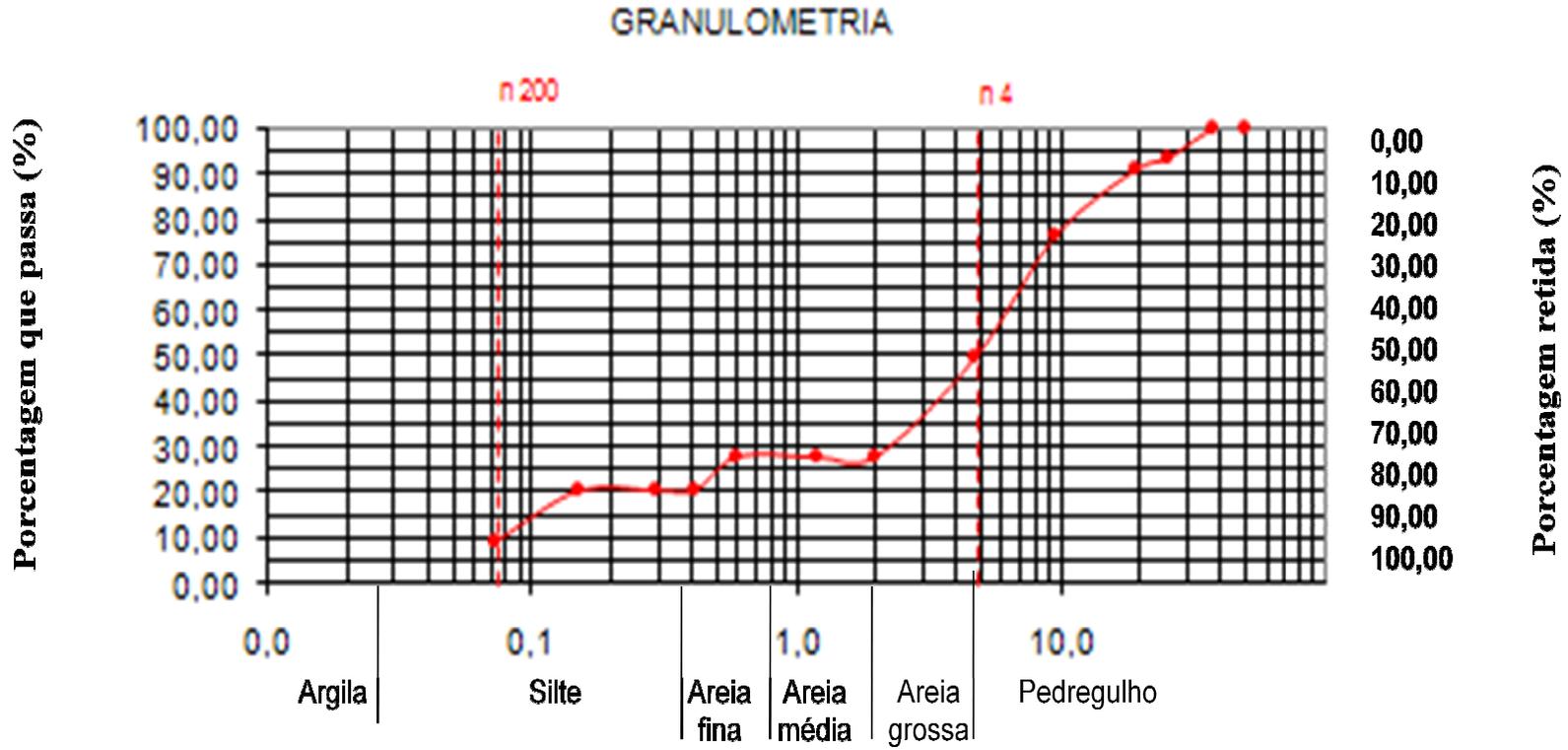


Tabela 4.3 - Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Abrasão Los Angeles da laterita em estudo.

H. Ótima	Dens.	ISC	Expansão	Abrasão Los Angeles
%	Máxima	%		%
	g/m³			
9,4	2.014	59,6	0,45	35,04

Tabela 4.4 – características físicas das concreções lateríticas de diferentes jazidas.

Pesquisador	Abrasão Los	Massa	Absorção
	Ângeles	específica	(%)
	(%)	(g/cm³)	
Chagas Filho (2005) – Jazida Jacumã – PB	76,10	2,3	5,00
Souza (2007) – Jazida Sapé – PB	42,50	3,14	9,50
Material analisado na pesquisa - Jazida Barrolândia - TO	35,04	2,76	4,98

É importante destacar na Tabela 4.3 que, o valor encontrado para o CBR - Índice de Suporte Califórnia - que ficou próximo dos 60%, foi obtido com o material bruto, com a existência de finos e material pulverulento, o que pode ter acarretado em um valor baixo, já que tal ensaio pode atingir, para as concreções lateríticas, valores próximos ou superiores aos 100% (Ferreira et al, 2007).

4.1.2 – Determinação da mistura ideal de agregados

Devido à variação dos diâmetros do agregado graúdo se fez necessário uma composição ou mistura para as concreções lateríticas, de maneira a se aproveitar o máximo possível do material, deixando uma mistura mais homogênea.

Essa composição também é importante para se obter uma melhor resistência, sem afetar a trabalhabilidade do concreto. Além disso, num canteiro de obras, a mistura dos agregados graúdos pode resultar numa redução de custos.

Para as concreções lateríticas foi feita uma mistura de três diferentes diâmetros, utilizando o método da NBR 7810 – Agregado em Estado Compactado Seco – Determinação da Massa Unitária.

Os resultados obtidos na determinação da massa unitária para essas faixas granulométricas dos agregados lateríticos encontram-se na Tabela 4.5.

Por esta tabela, pode-se observar que a massa unitária foi obtida com a composição entre os agregados graúdos nº 0, nº 1 e nº 2 nas porcentagens de 30/60/10 respectivamente. Nesta proporção a mistura apresentou a massa unitária máxima de 1,73 kg/m³, e como a proporção seguinte tal massa foi à mesma, utiliza-se a primeira composição que apresentou o valor máximo.

Com estes percentuais, moldaram-se os corpos – de – prova de concreto laterítico.

Tabela 4.5 - Determinação da composição “ideal” entre pedra britada laterítica nº0, nº1 e nº2, através da massa unitária no estado compactado seco

Composição entre os agregados nº1, nº0 e nº2 (%)	Quantidade da pedra britada laterítica nº1 (kg)	Quantidade da pedra britada laterítica nº0 (kg)	Quantidade da pedra britada laterítica nº2 (kg)	Acréscimo da pedra britada laterítica nº0 (kg)	Acréscimo da pedra britada laterítica nº2 (kg)	massa total do recipiente (agregado - tara) (kg)	massa unitária (kg/dm³)
100/0/0	10,000	-	-	-	-	-	-
90/10/0	10,000	1,110	-	1,110	-	11,110	1,42
80/15/5	10,000	1,875	0,625	0,765	0,625	12,500	1,43
70/23/7	10,000	3,285	1,000	1,410	0,375	14,285	1,63
60/30/10	10,000	5,000	1,665	1,715	0,665	16,665	1,73*
50/38/12	10,000	7,600	2,400	2,600	0,735	20,000	1,73

*Composição “ideal” entre os agregados

4.1.3 - Ensaio de caracterização do agregado miúdo

Os resultados dos ensaios de caracterização para o agregado miúdo encontram-se na Tabela 4.6 e na Figura 4.2.

Tabela 4.6 - Caracterização do agregado miúdo.

Ensaio		Norma	Resultado
Massa específica real (g/cm ³)		NBRs 6474 (1998) e 9776 (1987)	2,62
Massa unitária no estado solto (kg/dm ³)		NBR 7251 (1982)	1,60
D _{máx} (mm)			2,40
Granulometria	MF (%)	NBR 7217 (1987)	2,23

Na Tabela 4.7 tem-se a distribuição granulométrica do agregado miúdo utilizado nos ensaios. O módulo de finura foi de 2,23 e a dimensão máxima 2,40 mm, classificando a mesma como uma areia média.

Tabela 4.7 - Composição granulométrica do agregado miúdo (série normal).

Peneira n°	Abertura mm	Material retido		% que passa da amostra total	
		Peso (g)	% amostra total	% acumulada	
04	4,80	0,00	0,00	0,00	100,00
08	2,40	50,00	5,00	5,00	95,00
16	1,20	106,38	10,64	15,64	84,36
30	0,60	215,34	21,53	37,17	62,83
50	0,30	365,54	36,55	73,72	26,28
100	0,15	177,28	17,73	91,45	8,55
Fundo		85,51	8,55	100,00	0,00
Total:		1000,00	100,00	-	-

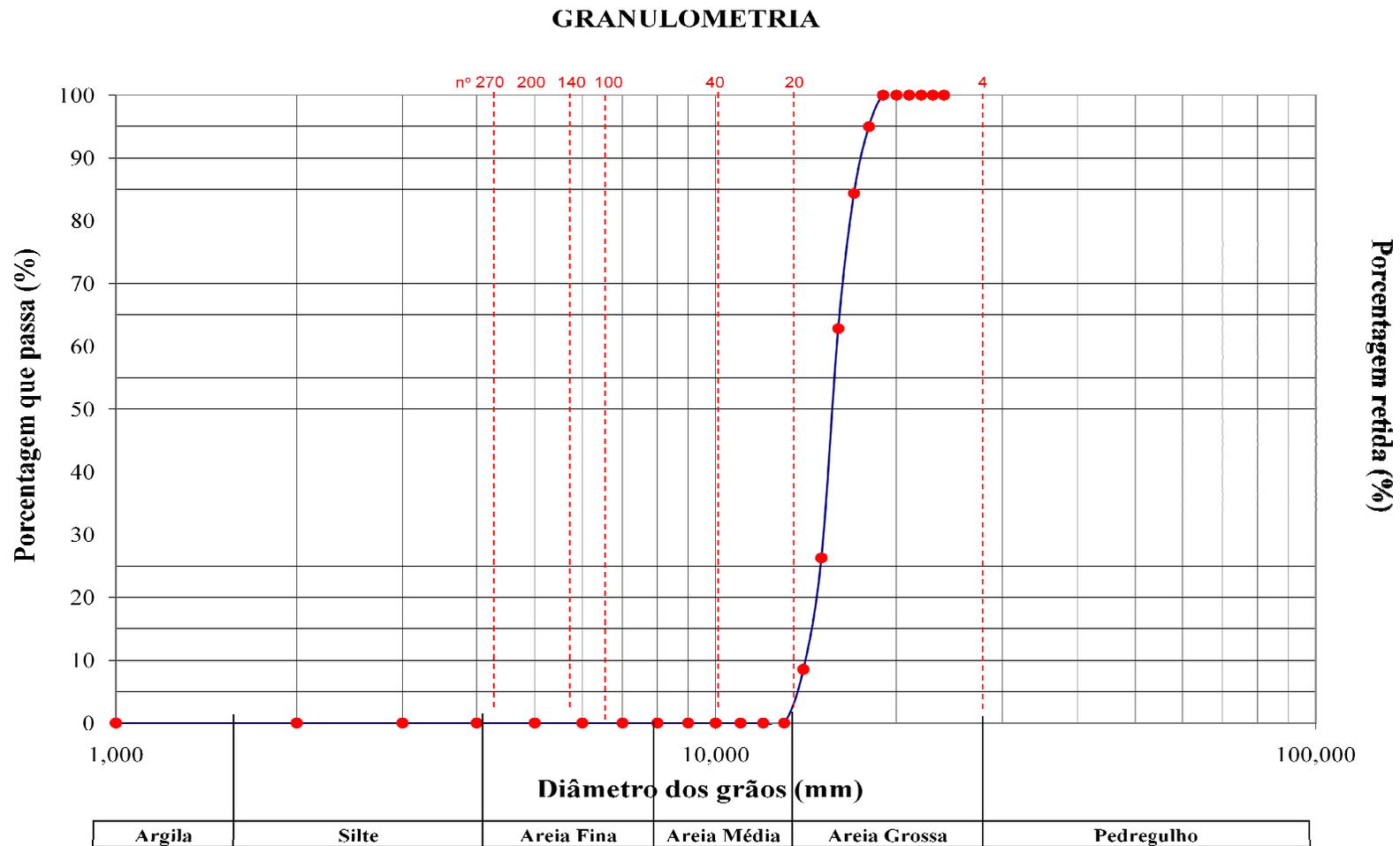


Figura 4.2 – Curva granulométrica do agregado miúdo

4.1.4 – Ensaio mecânicos nos corpos - de - prova

Após os ensaios de caracterização dos agregados utilizados na moldagem do concreto, iniciou-se a moldagem dos corpos – de - prova cilíndricos de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura para a determinação das resistências à compressão, e prismáticos, de 15 cm de altura e largura por 50 cm de comprimento, para a determinação da resistência à tração na flexão.

Inicialmente, foi feita a determinação do teor de argamassa a ser utilizado nos traços do concreto. Para isto, foram feitas variações no teor de argamassa da mistura para o traço estabelecido de 1: 5,0, determinando a proporção adequada através de tentativas e observações práticas, verificando, com o auxílio de uma colher de pedreiro, se a superfície do concreto apresentava-se áspera, se havia excesso de argamassa ou se a massa de concreto se encontrava coesa. Além disto, observou-se a trabalhabilidade e aparência do concreto e sua consistência através do ensaio de abatimento do tronco de cone, slump, de maneira que o teor de argamassa e o fator água/cimento não comprometessem a resistência final do concreto, pois os excessos de argamassa ou de água no traço acarretam menor resistência.

Com isto, procurou-se cumprir os padrões exigidos para pavimentos rígidos (Cap. 2), de maneira a se obter um produto final ideal no uso para a pavimentação.

Ao final das observações, chegou-se a um valor de 61% de argamassa para o traço de 1: 5,0. A partir deste ponto, determinaram-se os traços auxiliares: o traço considerado “rico”, 1: 3,5, e o traço “pobre”, 1: 6,5.

Para estes traços, utilizou-se o mesmo teor de argamassa determinado anteriormente. Contudo, para o traço “pobre”, alterou-se para 51% de argamassa, devido ao baixo valor encontrado para a resistência à compressão simples aos 28 dias (15,0 MPa). Com isso, diminuiu - se o teor de argamassa, aumentando a proporção das concreções.

É importante destacar que para a determinação deste novo teor de argamassa para o traço 1: 6,5 seguiram-se os mesmos procedimentos e observações feitas no traço experimental (1: 5,0), observando a trabalhabilidade e consistência do concreto.

Determinado o teor de argamassa, chegou-se aos seguintes valores para os três traços utilizados na pesquisa:

Tabela 4.8 - Características dos traços de concreto utilizados na pesquisa

Traço	Traço unitário individual	Teor de argamassa (%)	Fator a/c	Consumo de cimento (kg/m ³)	Slump (mm)
1: 3,5	1: 1,74: 1,76	61	0,45	490,00	29,00
1: 5,0	1: 2,66: 2,34	61	0,53	360,72	30,00
1: 6,5	1: 2,82: 3,68	51	0,59	311,10	10,00

Os valores do fator a/c para cada traço do concreto estão direcionados a trabalhabilidade do concreto. O traço “pobre, 1: 6,5 necessitou de um fator a/c maior devido seu teor de argamassa ser menor para uma melhor consistência do concreto. E, mesmo assim, devido a maior presença de agregados no traço, o valor do slump foi o menor, todavia ficando seu valor dentro do limite estabelecido para concreto destinado a pavimentos, 20,00mm \pm 10,00.(Pitta, 1998)

Para cada traço especificado acima, foram moldados seis corpos – de – prova cilíndricos, para o ensaio de compressão simples, e seis vigas prismáticas para os ensaios de tração na flexão (Figura 4.3).

**Figura 4.3** Cura dos corpos – de – prova cilíndricos e prismáticos

Para os ensaios de compressão simples, realizados no laboratório da ATECEL, em Campina Grande, os corpos – de – prova foram rompidos nas idades de 3, 7 e 28 dias. Os resultados podem ser observados na Tabela 4.8.

Utilizando os dados desta tabela e o diagrama de dosagem (Figura 4.4) determina - se o traço desejado e que seja mais viável em relação ao consumo de cimento.

Para esta pesquisa, fixou-se a resistência a compressão em 38 MPa, valor mínimo quando se refere a concreto destinado a pavimentação, determinando, com isso, um consumo de cimento de aproximadamente $425,00\text{kg/m}^3$ e um fator água/cimento próximo aos 0,50 (Figura 4.4).

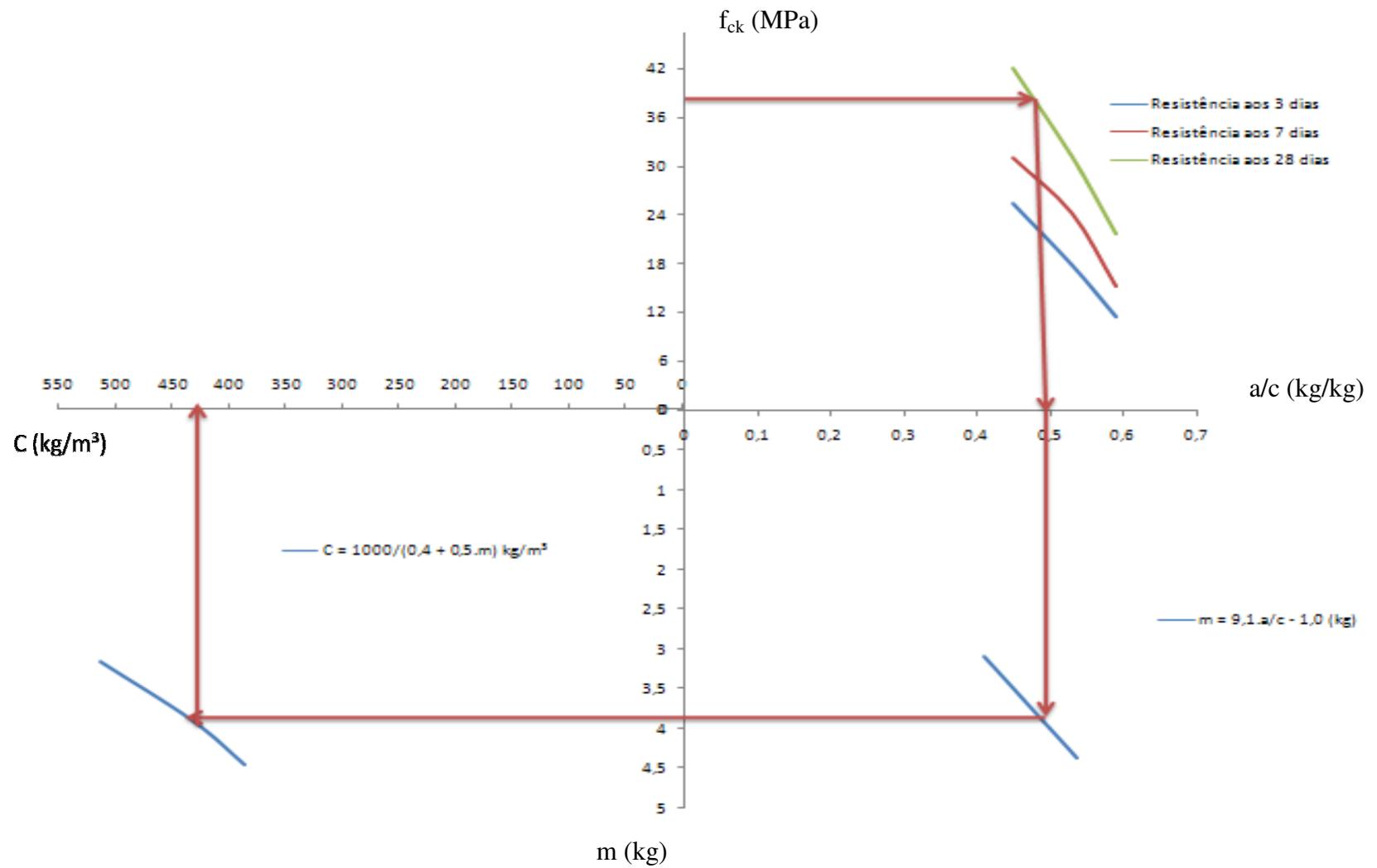


Figura 4.4 – Determinação das características do concreto através da estipulação de resistência utilizando o diagrama de dosagem da pesquisa

Os ensaios de tração na flexão foram realizados no laboratório do SCIENTEC, em João Pessoa. A idade de ruptura dos corpos - de - prova prismáticos foram de 7, 14 e 28 dias (Tabela 4.9).

Tabela 4.9 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples

Traço	Idade de ruptura (em dias)	f_{ck} (MPa)
1: 3,5	3	25,40
	7	31,20
	28	42,00
1: 5,0	3	17,80
	7	24,20
	28	31,20
1: 6,5	3	11,40
	7	15,20
	28	21,70

Tabela 4.10 - Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão

Traço	Idade de ruptura (em dias)	$F_{ct,f}$ (MPa)
1: 3,5	7	2,8
	14	3,6
	28	5,5
1: 5,0	7	2,4
	14	3,0
	28	4,1
1: 6,5	7	2,1
	14	2,8
	28	3,4

As Figuras 4.5 e 4.6 mostram a evolução das resistências à compressão e à tração do concreto laterítico para os traços utilizados nos ensaios.

Pelos gráficos nota-se um ganho de resistência semelhante para os três traços, tanto à compressão simples quanto à tração na flexão; um aumento de resistência praticamente linear, ocorrendo apenas um ganho acentuado nos 7 primeiros dias para a compressão simples.

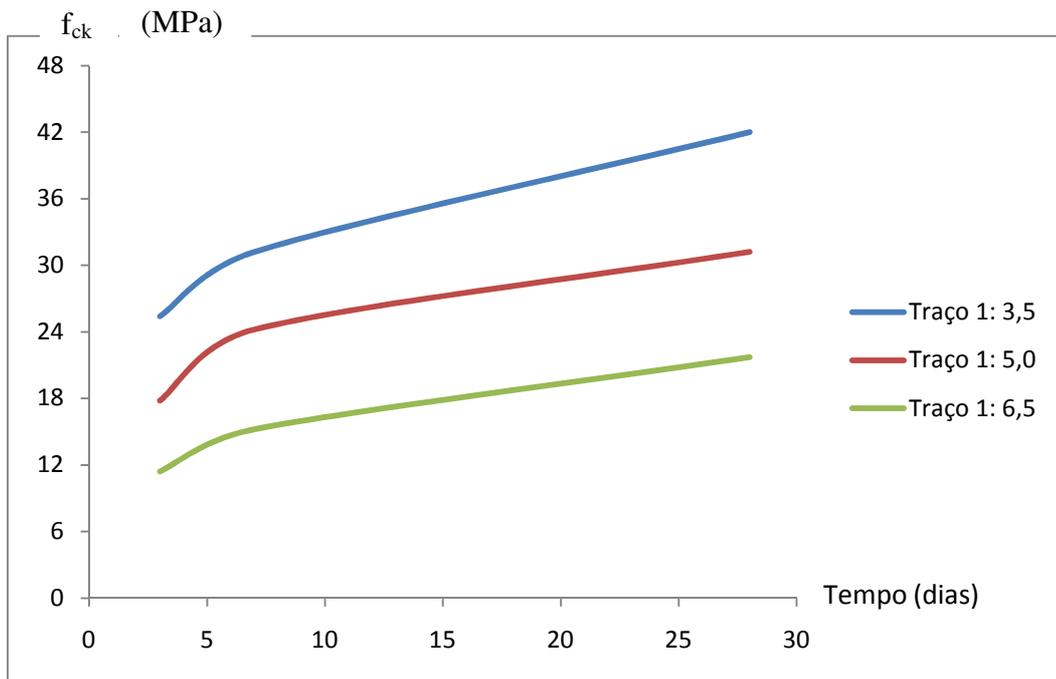


Figura 4.5 – Evolução da resistência à compressão simples do concreto laterítico.

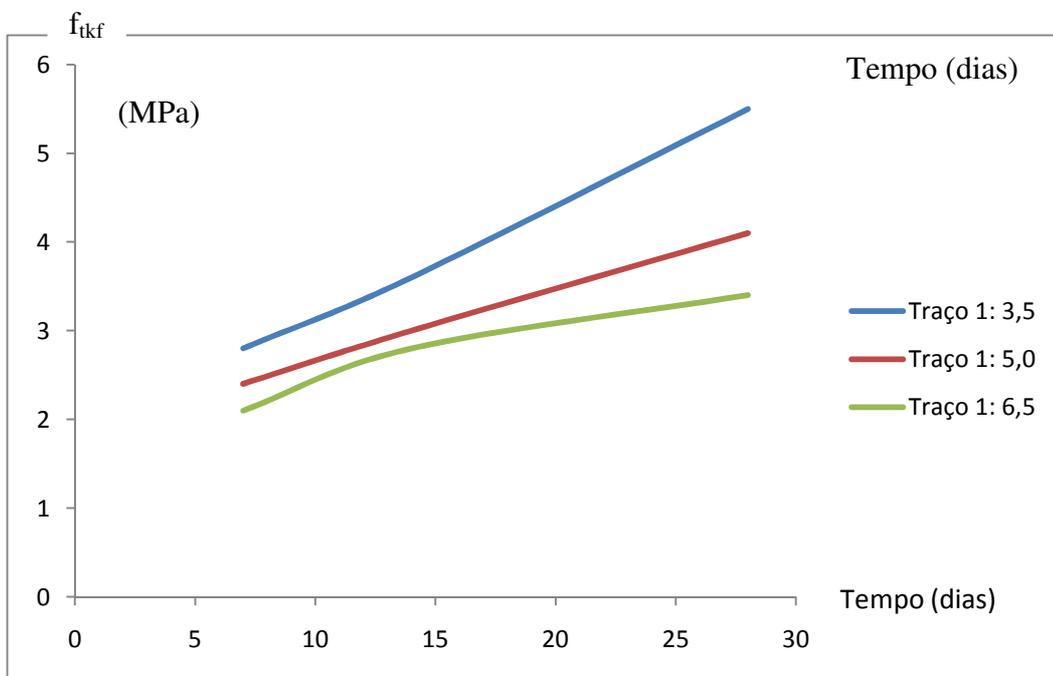


Figura 4.6 – Evolução da resistência à tração na flexão do concreto laterítico.

4.1.5 – Correlação entre os resultados da resistência à compressão simples e à tração na flexão para o concreto laterítico

Quando é realizado apenas ensaios de compressão simples para concreto, considera-se que a resistência à tração na flexão seja equivalente a 10% do valor encontrado na compressão.

Todavia, equações como a de Lobo Carneiro e da ABCP podem fornecer uma relação mais concreta entre essas duas resistências.

Nesta pesquisa, como foram realizados ambos os ensaios, utilizou-se as duas equações citadas acima como forma de verificar a viabilidade de tais fórmulas empíricas através dos valores encontrados nos ensaios.

Para isto, foram utilizados os valores determinados no ensaio de tração aos 28 dias para os três traços e, utilizando as equações da ABCP e de Lobo Carneiro, chegou – se aos valores das Tabelas 4.11 e 4.12.

Tais valores mostram que, apesar dos contratemplos surgidos durante os ensaios de compressão simples, mencionados anteriormente, as correlações ficaram acima ou próximo do esperado por meio das equações utilizadas, comprovando a confiabilidade de tais equações empíricas e dos resultados encontrados, e afirmando a viabilidade do uso das concreções como agregado graúdo para concreto destinado a pavimentação.

Tabela 4.11 – Correlação entre as resistências à tração e à compressão simples através das equações de LOBO CARNEIRO e da ABCP.

Traço	f_{t28} (MPa)	f_{c28} Material analisado na pesquisa (MPa)	f_{c28} Eq. LOBO CARNEIRO (MPa)	f_{c28} Eq. da ABCP (MPa)
1: 3,5	5,5	42,00	39,04	45,39
1: 5,0	4,1	31,20	24,80	31,67
1: 6,5	3,4	21,70	18,90	20,33

Tabela 4.12 – Relação entre as resistências à compressão simples e à tração na flexão, em porcentagem .

Traço	Relação entre f_{t28} / f_{c28} (%)		
	Material analisado na pesquisa	Eq. LOBO CARNEIRO	Eq. Da ABCP
1: 3,5	13,09	14,09	12,12
1: 5,0	13,14	16,53	12,95
1: 6,5	16,13	17,99	16,72

4.1.6 – Correção do traço através dos resultados do ensaio de compressão simples

Utilizando os valores encontrados aos 28 dias para o ensaio de compressão simples e as curvas médias de correlação entre a resistência à compressão axial e a relação água cimento (Figura 3.10), conseguiu-se analisar o traço utilizado na fabricação do concreto, verificando a necessidade ou não da correção do mesmo.

Tabela 4.13 – Valores das resistências à compressão simples

Exemplar	Resistência à compressão (MPa)					
	Corpos – de – prova					
	Traço 1: 3, 5		Traço 1: 5,0		Traço 1: 6,5	
p1	p2	p1	p2	p1	p2	
	42,50	41,50	32,40	30,00	22,90	20,50

Como o número de corpos - de – prova moldados foi inferior a 6 para cada dia de ruptura, o cálculo da resistência média à compressão simples é feita com a média dos valores encontrados, e não pela fórmula 11.

Já o desvio padrão (s_c), pelo número reduzido de corpos – de – prova, é determinado pela equação:

$$s_c = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (13)$$

Desta forma, sendo $n = 2$ determinamos os desvios – padrão e a resistência média estimada para os três traços do concreto laterítico:

- Traço 1: 3,5

$$s_c = \sqrt{\frac{(42,50 - 42,00)^2 + (41,50 - 42,00)^2}{(2-1)}} = 0,71$$

$$f_{cm,j} = f_{cmj,est} = \frac{42,5 + 41,5}{2} = 42,00 \text{ MPa}$$

- Traço 1: 5,0

$$s_c = \sqrt{\frac{(32,40 - 31,20)^2 + (30,00 - 31,20)^2}{(2 - 1)}} = 1,70$$

$$f_{cm,j} = f_{cmj,est} = \frac{32,40 + 30,00}{2} = 31,20 \text{ MPa}$$

- Traço 1: 6,5

$$s_c = \sqrt{\frac{(22,90 - 21,70)^2 + (20,50 - 21,70)^2}{(2 - 1)}} = 1,70$$

$$f_{cm,j} = f_{cmj,est} = \frac{22,90 + 20,50}{2} = 21,70 \text{ MPa}$$

Com os valores das médias da resistência à compressão, e utilizando os parâmetros da Tabela 3.5, considerando as condições onde foram moldados os corpos – de – prova como um canteiro de obras bem administrado e o coeficiente de variação dos procedimentos de ensaio e controle 5,5% (razoável), determina-se a resistência a compressão estimada ($f_{ck,est}$):

$$\text{- Traço 1: 3,5} = f_{ck,est} = 0,78 \times f_{cm,j} = 0,78 \times 42,00 = 32,76 \text{ MPa};$$

$$\text{- Traço 1: 5,0} = f_{ck,est} = 0,78 \times f_{cm,j} = 0,78 \times 431,20 = 24,34 \text{ MPa};$$

$$\text{- Traço 1: 6,5} = f_{ck,est} = 0,78 \times f_{cm,j} = 0,78 \times 21,70 = 16,93 \text{ MPa};$$

Por fim, utilizando o desvio-padrão de dosagem (s_{dj}) de 5,5 MPa, levando em consideração que a produção do concreto foi feita por volume e com equipe em fase de adaptação, e o f_{ck} de projeto, obtido pela Figura 3.6, por intermédio do fator a/c de cada traço chega-se aos seguintes parâmetros para cada traço utilizado (Tabela 4.13):

Tabela 4.14 – Parâmetros para a correção do traço do concreto

	Traço		
	1: 3,5	1: 5,0	1: 6,5
f_{ck}	37,00	33,00	26,50
$f_{ck,est}$	32,76	24,34	16,93
S_c	0,71	1,70	1,70
S_{dj}	5,5	5,5	5,5
	$f_{ck,est} < f_{ck}$	$f_{ck,est} < f_{ck}$	$f_{ck,est} < f_{ck}$
Considerações	$S_c < S_{dj}$	$S_c < S_{dj}$	$S_c < S_{dj}$
Finais			

Com as considerações finais da Tabela 4.12 e baseando-se nos parâmetros apresentados na Tabela 3.4, a respeito de correções do traço do concreto, observa-se que, para os traços utilizados e seus respectivos fatores a/c, a produção do concreto está conforme o esperado, para os três traços.

4.1.7 – Ensaio com CCR

Além dos ensaios de compressão simples e de tração na flexão, utilizando os traços citados anteriormente, foram também realizados, como uma análise complementar da pesquisas, ensaios de compressão simples para concreto de cimento rolado (CCR).

Da mesma forma como foi realizado nos demais traços de concreto da pesquisa, para o CCR também foi determinado o teor ideal de argamassa apropriado para o mesmo, de maneira que não comprometesse a resistência final do concreto ou elevasse o consumo de cimento, já que o CCR trata-se de um concreto com baixo consumo de cimento, não devendo ultrapassar os 120 kg/m³.

Para o agregado graúdo foi utilizada a mesma proporção da composição determinada para o concreto laterítico desta pesquisa.

Como as concreções lateríticas disponíveis na pesquisas tinham uma granulometria reduzidas, com boa parte do agregado com diâmetro inferior à 19 mm,

optou-se pelo traço 1: 12, já que para o CCR o traço pode variar de 1: 12 até 1: 24. Desta forma, procurou - se corrigir o problema as dimensões reduzidas das concreções com um traço mais rico, de maneira a se obter uma resistência mais elevada (Figura 4.8) .

As características definidas para o traço de CCR foram às seguintes:

Tabela 4.15 - Características do traço do CCR.

Traço (CCR)	Traço unitário individual	Teor de argamassa (%)	Fator a/c	Consumo de cimento (kg/m ³)
1: 12	1: 4,8: 7,2	44,62	0,90	110,00

Com esses valores foram moldados seis corpos – de – prova cilíndricos (Figura 4.9) e realizados os ensaios de compressão simples.

Os resultados estão representados na Tabela 4.15.



(a)



(b)

Figura 4.7 – a) Preparo do CCR e b) moldagem dos corpos – de – prova cilíndricos para os ensaios de compressão simples

Tabela 4.16 Resultados dos ensaios de compressão simples para o CCR

Traço	Idade de ruptura (em dias)	f_{ck} (MPa)
1: 3,5	7	6,2
	14	8,1
	28	11,4

Co-relacionando os resultados obtidos e apresentados na Tabela 4.16 com os valores especificados pela Norma DNIT 059/2004 para o CCR destinado a sub-base de pavimentos, observa-se que a resistência à compressão aos 7 dias (6,2 MPa) ficou acima do estipulado pela Norma (5,0 MPa). Contudo, aos 28 dias, os 11,4 MPa ficou abaixo do valor mínimo de resistência à compressão para sub-base em CCR (15,0 MPa).

Esta resistência abaixo do especificado pela Norma pode ser explicado por problemas durante a vibração na moldagem dos corpos – de – prova, o que não permitiu uma homogeneidade adequada do material, de tal maneira que alguns corpos – de – prova foram descartados (Figura 4.9 a). Os utilizados tiveram algumas falhas que pode ter influenciado a resistência final (Figura 4.9 b).



(a)



(b)

Figura 4.8 – a) Falhas nos corpos – de – prova cilíndricos de CCR descartados e b) corpos – de – prova de CCR utilizados nos ensaios

4.1.8 – Análise das concreções lateríticas como brita graduada

Ainda como forma complementar do estudo do uso das concreções lateríticas em pavimentação, analisou – se o uso da laterita, utilizada na pesquisa, como brita graduada em pavimentação, baseando - se em dois pontos principais:

- análise granulométrica;
- CBR.

De acordo com a granulometria, apresentada na Figura 4.2, pode-se observar que as concreções lateríticas em questão se enquadram na faixa I da Tabela 2.5, o que a qualifica para o uso como brita graduada.

Todavia, quando observado o valor do Índice de Suporte Califórnia (CBR), este fica abaixo do especificado para brita graduada. O valor encontrado foi de 59,6%, abaixo dos 100% especificado pela norma.

Contudo, deve-se observar que a laterita utilizada no ensaio de CBR encontrava-se na forma bruta, com finos e impurezas, o que pode ter implicado neste valor, pois relatos de outros pesquisadores, como SILVA *et al* (2007) já destacaram um Índice de Suporte Califórnia (CBR) acima dos 100% para a laterita. Além disto, como visto no início do Capítulo, as características das concreções lateríticas variam substancialmente de uma jazida para outra, o que pode acarretar numa variação de valores, como o de CBR, necessitando de um estudo mais aprofundado.

CAPÍTULO 5

5 – CONCLUSÕES

Neste capítulo apresentam - se as conclusões da análise do uso das concreções lateríticas como agregado graúdo para fabricação de concreto destinado a pavimentos em CCP, baseando – se nos resultados encontrados nos ensaios de compressão simples e de tração na flexão, como também uma abordagem a respeito dos resultados da análise feita para o uso destas concreções como brita graduada e CCR, e sugestões para trabalhos futuros.

5.1 – DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Como já apresentado neste trabalho, o concreto simples destinado a pavimentos deve apresentar resistência à tração igual ou maior que 3,8MPa. Portanto a resistência à compressão simples deve ser na ordem de 38 MPa.

Na pesquisa em questão, tais valores foram encontrados, porém com algumas ressalvas.

Para os ensaios de compressão simples, apenas o traço considerado “rico” (1: 3,5) alcançou valores acima do especificado (42,00MPa), traço esse que necessitou de um consumo de cimento considerado elevado.

Todavia, os valores encontrados para todos os traços ficaram acima dos resultados determinados por pesquisadores, como Chagas Filho (2005), que encontrou para os traços 1: 3,5, 1:5,0 e 1: 6,5 um f_{c28} de 38,0 MPa, 25,9 MPa e 18,2 MPa, respectivamente.

Contudo, com os demais valores de resistência dos traços 1: 5,0 e 1: 6,5 pode-se determinar, fixando o valor mínimo de resistência à compressão simples para pavimentos em CCP (38 MPa), através do diagrama de dosagem, um concreto com um consumo de cimento relativamente mais baixo (420,00 kg/m³) e um fator a/c de 0,5.

Assim, verifica-se que é possível reduzir o consumo de cimento e alcançar uma resistência aceitável do concreto laterítico para pavimentos rígidos, mesmo sem o uso de aditivos.

5.2 – DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os resultados dos ensaios de tração na flexão foram mais satisfatórios, encontrando valores bem acima do especificado pela norma, tanto para o traço 1: 3,5 como para o traço de 1: 5,0. Apenas o traço considerado “pobre” (1: 6,5), com baixo consumo de cimento, ficou abaixo dos 3,8MPa.

É importante observar que os valores da resistência à tração na flexão ficaram acima dos 10% dos seus respectivos valores de resistência a compressão simples. Um dos fatores que podem ter influenciado nos resultados mais aquém dos ensaios de compressão simples foi alguma falha durante a vibração dos corpos – de – prova, não homogeneizando adequadamente o concreto.

Todavia, com o uso das equações de LOBO CARNEIRO e da ABCP verificou-se que a relação entre as resistências à tração na flexão e à compressão simples ficou próximo do esperado, assegurando a confiabilidade dos resultados encontrados e do uso de tais equações empíricas.

Esta constatação é de grande relevância, principalmente quando se refere à equação da ABCP, a qual tem uma boa confiabilidade estatística (Pitta, 1998).

5.3 – DO CCR

Quanto ao uso das concreções lateríticas como agregado graúdo na fabricação de CCR, os resultados obtidos, a princípio, foram satisfatórios perante a Norma DNIT 059/2004, mesmo com os resultados da resistência à compressão simples aos 28 dias terem ficado um pouco abaixo do especificado pela Norma, já que o processo de moldagem dos corpos – de – prova pode ter ocasionado estes valores reduzidos, como já explicado no capítulo anterior.

Todavia, não se pode calcular o valor da resistência à compressão estimada de projeto (Tabelas 2.7 e 2.8), devido ao número reduzido de corpos – de – prova, o que resultaria num desvio-padrão baixo, resultando num valor estimado para a resistência bem abaixo da média encontrada.

Além disto, os ensaios de CCR foram apenas uma análise complementar a respeito das concreções lateríticas, e foram usadas as Normas para CCR vigentes

para britas de rocha granítica, podendo ser necessário o uso de um traço mais “rico” em cimento, já que se trata de um material alternativo, com características relativamente diferentes dos agregados de rochas usuais destinadas a fabricação de concreto.

Desta forma, é importante um trabalho mais aprofundado com diferentes traços de CCR verificando, não só a resistência à compressão simples, como também o desgaste e problemas que podem acarretar o uso do concreto de cimento rolado.

5.4 – DA BRITA GRADUADA

O uso das concreções lateríticas como brita graduada em camada regularizadora de pavimento merece uma maior atenção e um estudo mais aprofundado, já que, pela sua granulometria, é um material adequado para esta função em pavimentos, contudo os valores de CBR ficaram abaixo do especificado.

Com isso, é importante que novos ensaios de CBR, com amostras com o mínimo possível de material fino, sejam realizados para que se consiga o valor desejado (100%), lembrando sempre que as características físicas e químicas das lateritas variam consideravelmente de uma região para outra, sendo interessante fazer uma análise de CBR com amostras de diferentes jazidas.

5.5 – CONCLUSÕES FINAIS

Em meio aos resultados encontrados, principalmente nos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão simples, e às afirmações feitas anteriormente, deve-se levar em consideração a possibilidade do uso das concreções lateríticas como agregado graúdo, principalmente na fabricação de CCP destinado a pavimentação, em substituição da tradicional brita de rocha granítica em regiões onde haja carência deste material.

O importante, neste caso, é que se determine um traço que não onere os custos finais, de maneira que o consumo de cimento não se torne elevado, comprometendo a viabilidade do uso deste agregado graúdo alternativo.

5.6 – SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Novas pesquisas podem e devem ser realizadas para o aprofundamento do estudo deste assunto. Entre estas novas pesquisas, sugere-se:

- 1) Estudo da viabilidade econômica no uso das concreções lateríticas como agregado graúdo em pavimento rígido;
- 2) CCR, utilizando a laterita, como placas de concreto para pavimentos e pátios de carga e descarga;
- 3) Uso das concreções lateríticas como agregado graúdo em pavimento flexível;
- 4) Uso das concreções lateríticas no concreto destinado a barragens, analisando a influência do contato deste concreto com a água;
- 5) Estudo da viabilidade do uso das concreções lateríticas como brita graduada.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6474. Cimento portland e outros materiais em pó – determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 1998.

_____ NBR 5732 Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro, 1991;

_____ NBR 5739 Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____ NBR 5743 Cimento Portland - Determinação de perda ao fogo - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1989.

_____ NBR 6467 Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

_____ NBR 7207 Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro, 1982.

_____ NBR 7211. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____ NBR 7217. Agregado – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_____ NBR 7219. Agregados . Determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987.

_____ NBR 7251. Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

_____ NBR 7680. Concreto - Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. Rio de Janeiro, 2007.

_____ NBR 7810 Agregado em estado compactado seco - Determinação da massa unitária , substituída por NBR NM 45. Rio de Janeiro, 2006.

_____ NBR 9776, Agregados . Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____ NBR 9781 Peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro, 1987.

_____ NBR 9937. Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR NM 51. Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 137. Argamassa e Concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland.

ADEPEGBA, D. Effect of verging sand content in lateritized concret – The Int. Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, v. 4, n.4. 1982.

BERNUCCI, L.L.B. Considerações sobre o Dimensionamento de Pavimentos Utilizando Solos Lateríticos para rodovias de Baixo Volume de Tráfego. Tese de Doutorado, Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP 1995, 237p.

CARDOSO COSTA, C. M. Estudo das deformações instantâneas e ao longo do tempo em vigas e lajes pré – moldadas de concreto armado convencional e alternativo, 1996. 164f. Dissertação. Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Campina Grande – PB. 1996.

CHAGAS FILHO, M.B. Estudo da deformação, segurança e rigidez de vigas de concreto armado laterítico, 1992. 94f. Tese (Concurso Público para Professor Titular), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba. UFPB, Campina Grande – PB, 1992

CHAGAS FILHO, Milton Bezerra. “Estudo de Agregados Lateríticos para Utilização em Concretos Estruturais”. Tese de Doutorado. Campina Grande, PB: Pós-graduação em Engenharia de Processos, CCT/UFCG, 2005.

CHAGAS FILHO, M. B.; PERAZZO BARBOSA, N. “Concreto Armado Laterítico: Nova Alternativa na Fabricação de Concreto para a Construção Civil”. Interação, Campina Grande, n 1, p. 15-20, 2000.

COSTA, C. R.; LUCENA, F. B.: Utilização de um solo laterítico concretionado na fabricação de um concreto de cimento Portland, 22^a Reunião Anual de Pavimentação, Maceió – AL, 1987.

COSTA, Conceição de Maria Cardoso. “Estudo das Deformações Instantâneas e ao Longo do Tempo em Vigas e Lajes Pré-Moldadas de Concreto Armado Convencional e Alternativos”. Dissertação de Mestrado. Campina Grande, PB: Pós-graduação em Engenharia Civil, UFPB Campus II, 1996.

D’ÁVILA, Alfredo L.M.; TERRA, Fabrício da S.; CORRAL, Plínio. “Materiais para Uso em Vias Não-Pavimentadas”. Disponível em: <http://www.camineros.com/docs/cam026.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2008.

DER/PR (DG/AP); Pavimentação: Pavimento Rígido. Disponível em: http://www.pr.gov.br/derpr/pdf/PDF/pdf_Pavimentacao/ES-P35-05PavimentoRigido.pdf Acesso em 15/02/2008.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – Manual de Pavimento Rígido. – Rio de Janeiro, 2005.

DNIT 056/2004 – ES Pavimento rígido - sub-base de cimento de concreto portland compactada com rolo. Rio de Janeiro, 2004.

DNIT 059/2004 – ES Pavimento rígido - pavimento de concreto de cimento portland, compactado com rolo. Rio de Janeiro, 2004.

FERREIRA, Carla Janaina; SILVA, André Luiz A.; VERTAMATTI, Eugênio. “Análise das Curvas Padrão Pressão X Penetração do Ensaio CBR de Solos Tropicais”. CONINFRA – Congresso de Infra-estrutura de Transportes. São Paulo, 2007. Disponível em: http://www.andit.org.br/coninfra_files/Artigos/01-16R.pdf. Acesso em: 15 fev. 2008.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. “Manual de Dosagem e Controle do Concreto”. Ed. PINI; São Paulo – SP, 1993.

LIMA, L.C. O ensaio DCP Aplicado no Controle de Qualidade de Compactação de Obras Viárias Executadas com solos Lateríticos de Textura Fina. Tese de

Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos/SP. 2000, 148p.

LOVATO, Rodrigo Silveira. (2004). “Estudo do Comportamento Mecânico de Um Solo Laterítico Estabilizado com Cal, Aplicado a Pavimentação”. Dissertação Apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, 2004.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. “Procedimentos de Avaliação e Caracterização de Agregados Minerais Usados na Pavimentação Asfáltica”. 1º Seminário de Qualificação Acadêmica ao Doutorado. Rio de Janeiro: PEC/UFRJ, 2001. Disponível em: <http://www.pavimentacao.ufjf.br/Seminario-Agregados.PDF>. Acesso em: 15 fev. 2008.

MARSON, L.A. “Correlações entre CBR e Mini-CBR para Solos Lateríticos”. Dissertação de Mestrado, Instituto tecnológico de aeronáutica, São José dos Campos/SP, 2004, 117p.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. “Mecânica dos Pavimentos”. Rio de Janeiro: 2ª edição, 2005.

NOGAMI, J.A.; VILLIBOR, D.F. (1995). “Pavimentação de Baixo Custo”. São Paulo, 1995, 212p.

OLIVEIRA, José Augusto. “Materiais Alternativos de Pavimentação a Necessidade de Praticá-los”. UNP/DAER – RS, 2000.

POMPEU NETO, B. B. (1976), “Um Estudo Sobre as Propriedades de Resistência Mecânica do Concreto Laterítico”, Tese de Mestrado, UFPB – Campina Grande.

PITTA, Márcio Rocha. “Projeto e Dimensionamento de Pavimentos de Concreto para Corredores de Tráfego Urbanos e Balas de Estacionamento de Ônibus”. São Paulo: ABCP, 1985.

SANTANA, H. (1976) Os Solos Lateríticos e a Pavimentação. DNER – Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro 1976, 37p.

SILVA, André Luiz A.; VERTAMATTI, Eugênio; FERREIRA, Carla Janaina. “Análise das Curvas Padrão x Penetração do Ensaio de CBR de Solos Tropicais”. CONINFRA – Congresso de Infra-Estrutura de Transportes, São Paulo – SP, 2007.

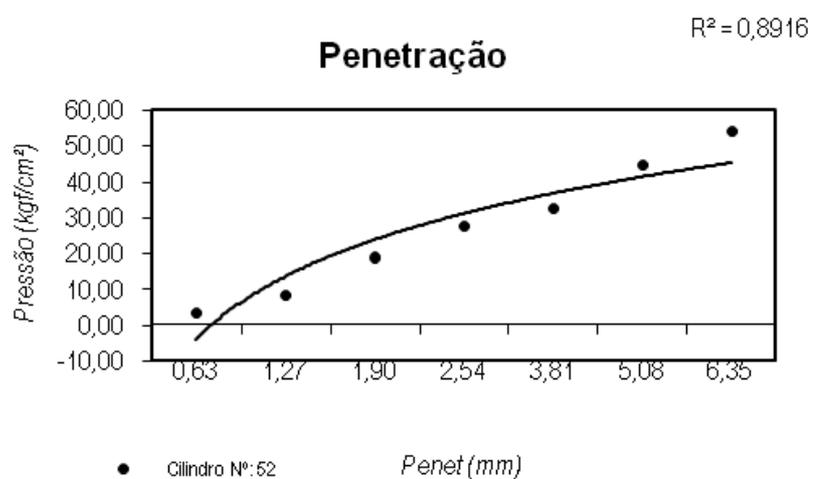
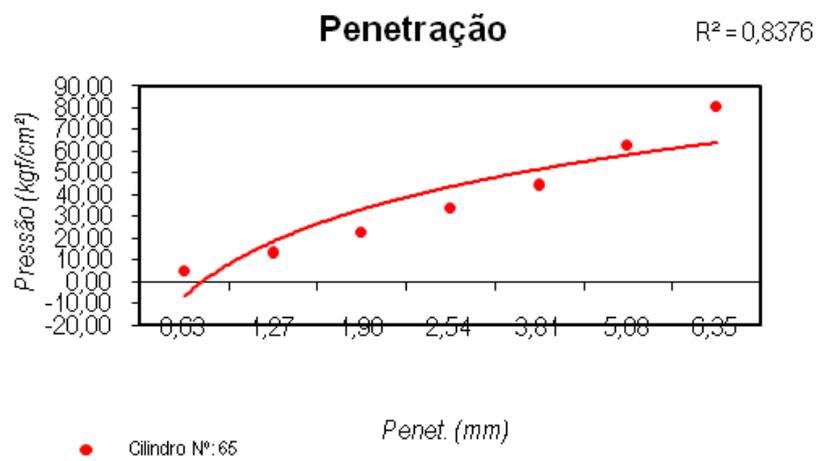
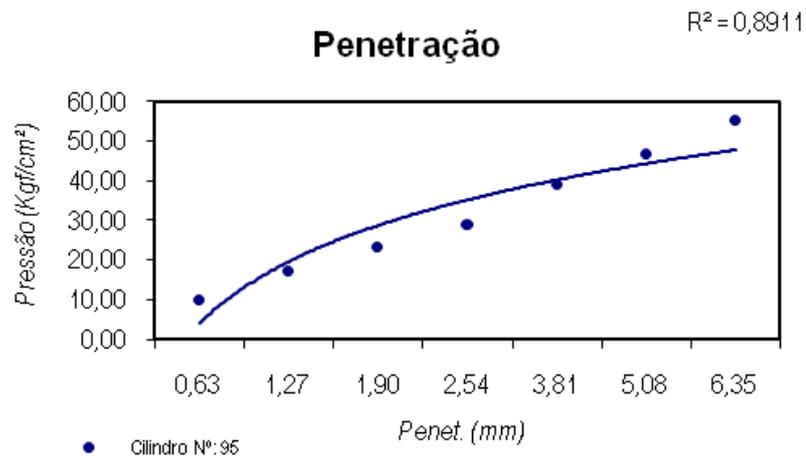
SOUZA, Jorge Luís Firmino. “Estudo de Durabilidade de Concretos e Argamassas Através de RAA em Agregados Convencionais da Região de Campina Grande e Alternativos em Concreções Lateríticas Sapé-PB e Jacumã-PB”. Dissertação de mestrado. Campina Grande, PB: Pós-graduação em Geotecnia CTRN/UFCG, 2007.

ANEXOS

ÍNDICE DE SUPORTE		Camada:
CALIFORNIA		2ª C/ FINAL
		REG: 1563
		14/10/2008

Expansão									
Cilindro Nº: 95			Cilindro Nº: 65			Cilindro Nº: 52			Características
Data	Hora	Leitura	Data	Hora	Leitura	Data	Hora	Leitura	
15/10/2008	10:00	1,00	15/10/2008	10:00	1,00	15/10/2008	10:00	1,00	Estaca
16/10/2008			16/10/2008			16/10/2008			
17/10/2008			17/10/2008			17/10/2008			Altura do Cilindro
18/10/2008	14:00	1,62	18/10/2008	14:00	1,50	18/10/2008	14:00	1,47	11,60 cm
Diferença: 0,62			Diferença: 0,50			Diferença: 0,47			Cte da Prensa
Expansão: 0,53 %			Expansão: 0,43 %			Expansão: 0,41 %			0,0987

Penetração									
Cilindro Nº	Penet. (mm) Tempo (min)	0,63	1,27	1,90	2,54	3,81	5,08	6,35	7,62
		0,50	1,00	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
95	Leitura	101	173	235	294	395	475	560	0
	Pressão (kgf/cm²)	9,97	17,08	23,19	29,02	38,99	46,88	55,27	0,00
	I.S.C.				41,5%		44,7%		
65	Leitura	50	136	230	340	450	634	814	0
	Pressão (kgf/cm²)	4,94	13,42	22,70	33,56	44,42	62,58	80,34	0,00
	I.S.C.				47,9%		59,6%		
52	Leitura	35	85	190	280	330	450	545	0
	Pressão (kgf/cm²)	3,45	8,39	18,75	27,64	32,57	44,42	53,79	0,00
	I.S.C.				39,5%		42,3%		



ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÔRNIA

FERROVIA: NORTE SUL		Trecho: 580+200 A 719+460		Sub-trecho: 676+740 A 677+060		Registro: 1563			
Estaca:	Localização	NORMA: ME 162/94		MATERIAL LATERITA ARENOSA		CAMADA: 2°C/ FINAL			
% Mat. Ret. # N° 4:	Próctor: NORMAL		Golpes: 12		Operador: MANOEL		ESTACA DA COLETA		
Item	Unid.	1	2	3	4	5	6	Umidade Higroscópica	
Cápsula N°	-							21 22	
Peso Bruto Úmido	g							64,47 77,54	
Peso Bruto Seco	g							63,89 76,95	
Peso da Água	g							0,58 0,59	
Peso da Cápsula	g							9,87 17,20	
Peso do Solo Seco	g							54,02 59,75	
Umidade	%							1,07% 0,99%	
Umidade Média	%	5,4%	7,4%	9,4%	11,5%	13,5%		1,03%	
Água Total	g	321	441	561	681	801		Peso do Material	
Água Adicionada	g	260	380	500	620	740		6.000,00	
% Água Adicionada	%	4,33%	6,33%	8,33%	10,33%	12,33%		P. Mat. Seco Peso Água	
Peso Bruto Úmido	g	8.710	9.059	9.271	9.195	8.944		5.939 61	
Peso do Solo Úmido	g	4.256	4.471	4.591	4.651	4.490		Moldes	
Dens. Sob Úmido	g / m³	2.052	2.140	2.204	2.220	2.165	N°	Peso Volume	
Dens. Sob Seco	g / m³	1.947	1.992	2.014	1.992	1.908	99	4.454 2.074	
Resultados:		Observações:					95	4.588	2.089
							65	4.680	2.083
							52	4.544	2.095
							99	4.454	2.074
H. Ótima	Dens. Máx	ISC	Expansão						
9,4 %	2.014	59,6%	0,45						

