



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS II – CAMPINA GRANDE

**INFLUÊNCIA DA ENERGIA TÉRMICA EM PROPRIEDADES
MECÂNICAS E FÍSICAS DE AGREGADOS LATERÍTICOS
UTILIZADOS EM CONCRETO BETUMINOSO .**

JOEL CARLOS MOIZINHO

CAMPINA GRANDE

ABRIL / 1994

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

CURSO DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - GEOTECNIA

INFLUÊNCIA DA ENERGIA TERMICA EM PROPRIEDADES MECANICAS E FISICAS
DE AGREGADOS LATERITICOS UTILIZADOS EM CONCRETO BETUMINOSO

JOEL CARLOS MOIZINHO

ORIENTADOR : PROF. J.B. QUEIROZ DE CARVALHO, Ph.D

CO-ORIENTADOR : PROF. FRANCISCO EDMAR BRASILEIRO, M.Sc

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

1994

JOEL CARLOS MOIZINHO

INFLUÊNCIA DA ENERGIA TÉRMICA EM PROPRIEDADES MECÂNICAS E FÍSICAS
DE AGREGADOS LATERÍTICOS UTILIZADOS EM CONCRETO BETUMINOSO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia
Civil da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de Mestre.

Area de Concentração: Geotecnia

Orientador : Prof. J.B. Queiroz de Carvalho, Ph.D

Co-Orientador: Prof. Francisco Edmar Brasileiro, M.Sc

Campina Grande - Paraíba

1994

JOEL CARLOS MOIZINHO

INFLUENCIA DA ENERGIA TERMICA EM PROPRIEDADES MECANICAS E FISICAS
DE AGREGADOS LATERITICOS UTILIZADOS EM CONCRETO BETUMINOSO

JOEL CARLOS MOIZINHO



M715i Moizinho, Joel Carlos
Influencia da energia termica em propriedades mecanicas e fisicas de agregados lateriticos utilizados em concreto betuminoso / Joel Carlos Moizinho. - Campina Grande, 1994. 109 f.

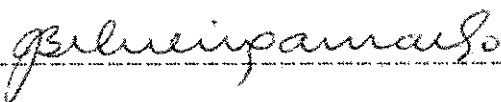
Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Geotecnia (Engenharia Civil) 2. Agregados Lateriticos 3. Concreto Betuminoso 4. Dissertacao I. Carvalho, Joao Batista Queiroz de, Dr. II. Brasileiro, Francisco Edmar, M.Sc. III. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB)

CDU 624.13(043)

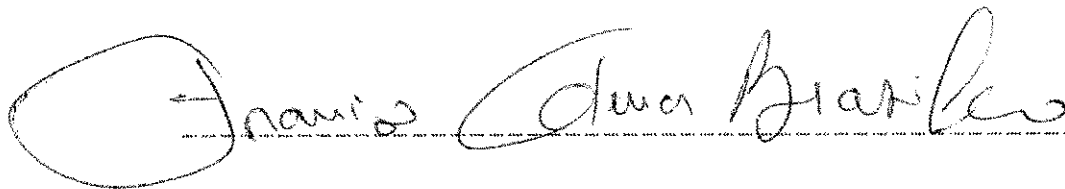
INFLUENCIA DA ENERGIA TERMICA EM PROPRIEDADES MECANICAS E FISICAS
DE ABREGADOS LATERITICOS UTILIZADOS EM CONCRETO BETUMINOSO

Dissertação aprovada em 08 de Abril de 1994



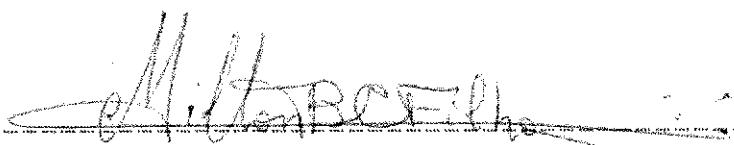
Prof. João Batista Queiroz de Carvalho, Ph.D

Presidente



Prof. Francisco Edmar Brasileiro, M.Sc

Examinador



Prof. Milton Bezerra das Chagas Filho, M.Sc

Examinador

Campina Grande - Paraíba

Abril

1994

DEDICATORIA

A meus pais : José Moizinho e Francisca Moizinho

A meus irmãos: Marcos, Jorge, Lourdes, Dária e Waltemberg Moizinho

A meu tio : José Moizinho

A minha tia : Maria de Jesus (Zui)

AGRADECIMENTOS

A Deus por tornar possível, em todos os sentidos, a realização deste trabalho.

Ao professor João Batista Queiroz de Carvalho pelos ensinamentos transmitidos durante a realização deste trabalho através de críticas construtivas, revisão do texto, e pela dedicação demonstrada, fatores estes que contribuíram de maneira decisiva para sua conclusão.

Ao professor Francisco Edmar Brasileiro, pelo incentivo a esta pesquisa em todas as etapas.

Aos professores e alunos do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de Geotecnia, que de forma direta ou indireta contribuíram para realização deste trabalho.

A todos os funcionários da área de Geotecnia, que de alguma forma colaboraram para sua execução em especial à Josenira pela digitação desta dissertação, D. Mauriza, responsável pela biblioteca de Geotecnia.

A meus pais, irmãos, sobrinhos e demais parentes pelo constante incentivo para conclusão deste trabalho.

A CAPES pelo suporte financeiro a esta pesquisa.

A ATECEL pelo transporte de materiais à UFFB ou no interior desta.

A todos meu muito obrigado.

RESUMO

Esta dissertação apresenta os resultados de um estudo desenvolvido com o objetivo de estudar a influência da temperatura de secagem na resistência de cinco agregados porosos de origem laterítica da região Nordeste do Brasil. Este estudo consistiu da análise de resultados dos ensaios de esmagamento, abrasão "Los Angeles" e 10% de finos. Também foram verificadas as variações ocorridas com respeito a absorção, a massa específica real e aparente e a resistência dos agregados lateríticos estudados, antes e após serem extraídos de concreto betuminoso usinado à quente em laboratório pelo método Marshall. Os ensaios foram realizados, com agregados lateríticos secos a temperatura ambiente, a 100 C, 200 C e 350 C e após serem extraídos de concreto betuminoso usinado à quente.

Os resultados obtidos permitiram concluir que, todos os agregados pesquisados aumentaram sua resistência quando tratados a diferentes níveis de energia térmica até uma certa temperatura. A partir dessa temperatura a resistência dos agregados tendem a diminuir. Agregados antes rejeitados por normas tradicionais passam após tratamento térmico a satisfazerem as mesmas. Finalmente, se conclui que os agregados lateríticos extraídos de concreto betuminoso apresentaram redução de absorção, massa específica real, percentagem de vazios, assim como uma resistência maior do que a obtida com o agregado no estado natural.

ABSTRACT

This thesis presents the result of an investigation carried out to assess the influence of thermal energy on the strength of aggregates from lateritic origin. The study consisted of crushing, Los Angeles abrasion and 10% fine tests. Also the variation related to absorption, unit weight and strength were also analysed before and after being extracted from bituminous concrete prepared by Marshall method.

The results obtained allowed it to be concluded that all aggregate studied increased their strength after thermal treatment. Aggregates that were unsuitable for bituminous concrete can be, after treatment, being used to fabricate bituminous concrete.

INDICE

Capítulo I- Introdução	1
Capítulo II- Objetivo da pesquisa	3
Capítulo III- Revisão bibliográfica	4
3.0 - Introdução	4
3.1 - Origem e formação de material concre- cionário laterítico	4
3.2 - Caracterização da energia térmica nas propriedades das concreções lateri- ticas	11
3.3 - Parâmetros de influência dos agregados grãos lateríticos na fabricação de concreto betuminoso à quente e sua uti- lização em revestimentos asfálticos ...	21
3.3.1 - Parâmetro de influência dos agregados grãos lateríticos na fabricação de concreto betu- minoso à quente	21
3.3.2 - Utilização de agregados grãos lateríticos em revestimentos asfálticos	31
3.4 - Conclusão	36
Capítulo IV - Materiais e métodos	38
4.1 - Escolha dos materiais	38
4.1.1 - Agregados grãos	38
4.1.2 - Agregados miúdos	42

4.1.3 - "Filler"	42
4.1.4 - Cimento asfáltico	42
4.2 - Preparação dos materiais utilizados na pesquisa	43
4.3 - Mistura de agregados utilizados na pes- quisa	44
4.4 - Escolha de teores de ligante adotados para moldagem dos corpos de prova	45
4.5 - Métodos de ensaios	45
Capítulo V - Apresentação e análise dos resultados	49
5.0 - Introdução	49
5.1 - Caracterização dos materiais utilizados na pesquisa	49
5.1.1 - Análise granulométrica dos agre- gados graúdos e miúdos utiliza- dos na pesquisa	49
5.1.2 - Massa específica real dos agre- gados graúdos, miúdos e "filler"	51
5.1.3 - Massa específica aparente dos agregados graúdos e miúdos.....	52
5.1.4 - Ensaio de caracterização do li- gante	52
5.2 - Efeito da secagem nos agregados laterí- ticos pesquisados avaliados pelos resul- tados dos ensaios de resistência ao es-	

magamento, abrasão "Los Angeles" e 10% de finos	54
5.2.1 - Resistência ao esmagamento	54
5.2.2 - Ensaio de abrasão "Los Angeles"	57
5.2.3 - Ensaio de 10% de finos	60
5.3 - Avaliação comparativa do comportamento mecânico e físico dos agregados antes e após sua utilização em concreto betumi- noso	72
5.3.1 - Resistência ao esmagamento, 10% de finos e abrasão "Los Angeles" dos agregados CAPI-PI, CTPB-PB, ARPB-PB após sua utilização em concreto betuminoso	78
5.3.1.1 - Resistência ao esmaga- mento	78
5.3.1.2 - Ensaio de abrasão "Los Angeles"	79
5.3.1.3 - Ensaio de 10% de finos	79
5.4 - Absorção dos agregados graúdos	83
5.5 - Características físicas dos agregados graúdos após sua utilização em misturas betuminosas	87
5.5.1 - Absorção	87

5.5.2 - Massa específica real do agregado graúdo	88
5.5.3 - Massa específica aparente do agregado graúdo	92
Capítulo VI - Conclusões	94
Capítulo VII - Sugestões para futuras pesquisas	97
Referências bibliográficas	98

ABREVIATURAS UTILIZADAS

AB	.....	Absorção
CBUQ	.....	Concreto betuminoso usinado à quente
D	.....	Diâmetro
D.L.A	.....	Desgaste "Los Angeles"
E.F	.....	Resistência medida pelo ensaio 10% de finos
LA	.....	Desgaste por Abrasão "Los Angeles"
LL	.....	Limite de liquidez
LP	.....	Limite de plasticidade
M.E.A	.....	Massa específica aparente
Meap	.....	Massa específica aparente
M.E.R	.....	Massa específica real
RBV	.....	Relação betume vazios
R.E	.....	Resistência ao esmagamento
VAM	.....	Volume de agregado mineral
Vv	.....	Volume de vazios

CAPITULO I

INTRODUÇÃO

A ocorrência de solos lateríticos e o crescente uso na engenharia civil, particularmente na construção de estradas, tem motivado engenheiros e pesquisadores a estudarem as suas propriedades, para que se possa melhor conhecer o comportamento dos mesmos dentro de um grau de segurança compatível com as normas e especificações geralmente adotadas. Por outro lado, sabe-se que esses solos são produtos de um intenso intemperismo físico, mecânico e/ou químico o qual é significativamente influenciado pelas mudanças de energia térmica e de energia mecânica. Devido a estes fatores, as propriedades de engenharia dos solos lateríticos e principalmente das concreções, podem apresentar variações que dificultam o seu uso ou mesmo o desempenho esperado.

A literatura pesquisada mostra que os solos lateríticos apresentam as principais propriedades de engenharia influenciadas pelos processos de estágios e formação. Neste aspecto o estudo da influência da energia térmica e mecânica nas propriedades destes solos se baseia no fato de que essas energias são de fundamental importância na formação e modificação das propriedades desses solos e principalmente da parte concrecionária. Todavia, apesar das experiências positivas com agregados lateríticos já comprovadas, como por exemplo, revestimento asfáltico do tipo superficial duplo na Paraíba, concreto betuminoso usinado à quente na pavimentação de rodovias dos estados do Acre, Pará e

Maranhão, tais solos ainda não podem ser utilizados em sua plenitude, em virtude da adoção no Brasil de metodologia de ensaios e especificações de serviços que foram desenvolvidos para solos formados em clima de regiões temperadas sendo portanto, mais aplicáveis a soluções convencionais. Diante da dificuldade para aplicação da metodologia existente, associado ao limitado número de pesquisas realizadas, nota-se claramente que existe a necessidade de se estudar as propriedades dos solos lateríticos e suas concreções, principalmente no que se refere ao uso da fração grossa (agregados) em tratamentos superficiais de estradas e fabricação de concreto betuminoso.

CAPITULO II

OBJETIVO DA PESQUISA

Esta pesquisa tem como objetivo, avaliar a influência da energia térmica em algumas propriedades mecânicas de agregados graúdos lateríticos tidos como agregados não convencionais. Objetiva-se também o estudo comparativo das características físicas e mecânicas desses agregados, após a extração do ligante asfáltico em corpos de prova de concreto betuminoso usinado à quente (CBUQ) produzidos em laboratório, utilizando o ensaio Marshall onde a mistura de agregados graúdos e miúdos obedecem a faixa B proposta pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER, para concreto betuminoso. A idéia com estes objetivos é acrescentar ao desenvolvimento dos estudos de alternativas de uso dos agregados graúdos não convencionais na construção civil, uma contribuição aos estudos em desenvolvimento e conseqüentemente ao uso adequado e racional das concreções lateríticas como agregados graúdos.

CAPITULO III

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.0 - Introdução

Esta revisão bibliográfica refere-se aos tópicos relacionados com os objetivos da pesquisa, que estuda o efeito da energia térmica nas propriedades físicas e mecânicas de agregados graúdos lateríticos usados em concreto betuminoso. Para maior clareza na primeira parte é feita uma breve revisão sobre a origem e formação de material concrecionário laterítico. Na segunda parte, é feita uma revisão sobre a caracterização da secagem nas propriedades de concreções lateríticas ou mesmo solos lateríticos. Finalmente será comentado os parâmetros de influência dos agregados lateríticos, na fabricação de concreto betuminoso à quente e sua utilização em revestimentos asfálticos.

3.1 - Origem e Formação de Material Concrecionário Laterítico

Os solos lateríticos típicos de regiões tropicais e subtropicais, conforme mostrado na Figura 3.1.1 são produtos de processos de transformação ocorridos nas rochas pelos intemperismo físico e químico. As chuvas abundantes e período de estiagem definidos, nestas regiões, aceleram os processos de intemperismos, proporcionando uma ação mais rápida sobre as rochas, desintegrando-as. O ciclo de molhagem e secagem,

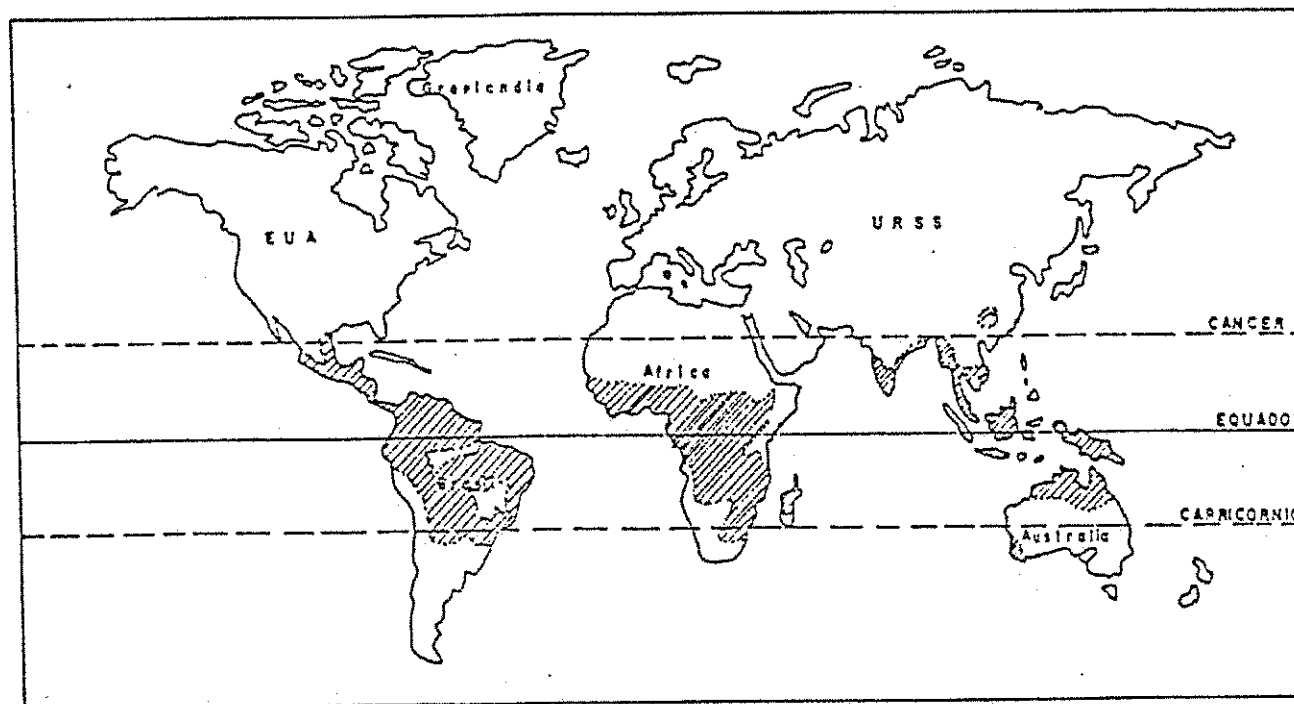


FIGURA 3.1.1-MAPA MUNDIAL MOSTRANDO A REGIÃO DE OCORRÊNCIA DE SOLOS LATERÍTICOS NO GLOBO TERRESTRE (FONTE - SANTANA, 1987).

principalmente através da hidrólise, faz com que os silicatos da rocha sejam atacados proporcionando a formação de novos compostos como bases (K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} e Si^{4+}), ferro, alumínio e silício, dentre outras. Na ocorrência de uma boa drenagem, as bases são carreadas pelas águas das chuvas, havendo pois uma maior concentração de compostos de ferro, alumínio e silício, mais resistentes a ação do carreamento, formando um complexo de óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e silício como constituintes mais importantes. Este complexo é denominado de ferralítico ou complexo de meteorização ferralítico. Formado o complexo ferralítico e em consequência da movimentação do lençol freático, há uma irrigação dos íons, alumínio, magnésio e ferro, liberado da estrutura dos minerais pela hidrólise e oxidação podendo essa irrigação se dar no próprio complexo ferralítico ou fora deste. Com a irrigação e precipitação principalmente do ferro que passa do estado ferroso (Fe^{2+}) para o estado férrico (Fe^{3+}), dá-se o encouracamento, que é um processo de formação das concreções, pela continuada desidratação dos géis que dão origem a hematita (Fe_2O_3), a menos que se crie condições que favoreçam a redução. Na precipitação do óxido de ferro hidratado, podem ser incorporados outras partículas de solos, que são efetivamente cimentadas, formando estruturas granulares cristalizadas e porosas na medida que o processo de desidratação continua. Quando ocorre a precipitação em redor do núcleo, a forma produzida é o pisólito, que é um elemento concrecionado em blocos soltos ou módulos, assemelhados aos seixos rolados de forma alongadas ou arredondadas. Quando o encouracamento (formação de concreções) ocorre no complexo ferralítico, é conhecido como acumulação

relativa de sesquióxidos e fora deste, como acumulação absoluta de sesquióxidos. Dentre algumas características das concreções assim formadas, pode-se destacar a sua dureza variável, podendo ocorrer com estrutura bem cimentada e praticamente sem vazios, até estrutura com baixo grau de cimentação e a existência de poros. Com a continuidade dos processos de intemperismo, as concreções podem ser desagregadas, formando os cascalhos lateríticos, que podem se agregar ou não na formação de novos conglomerados. A Figura 3.1.2 exemplifica a formação das concreções lateríticas.

Alguns autores como Lambe (1960), Maignen (1966), Bidigasu (1974), Netterberg (1975) consideram que a dureza das concreções é variável em função da concentração de ferro, do teor de umidade, grau de estabilidade e particularmente ao seu estado de compactação, e que a formação de couraças porosas e de pequena dureza parecem estar associadas a lixiviação da caulinita, que absorve o ferro, impedindo a formação da goetita cristalina, causando uma descontinuidade na fase cristalina, ou um mecanismo no processo de endurecimento.

As condições climáticas, especialmente precipitação média anual, clima, índice xerotérmico são muito importantes para explicar a presença de concreções em depósitos laterizados (Lucena, 1976).

Estudos microscópicos, Alexander e Cady (1962) e Queiroz de Carvalho (1983, 1991) revelaram que a composição química e mineralógica são insuficientes para explicar o grau de dureza das lateritas e que a dureza ou o potencial de endurecimento parece

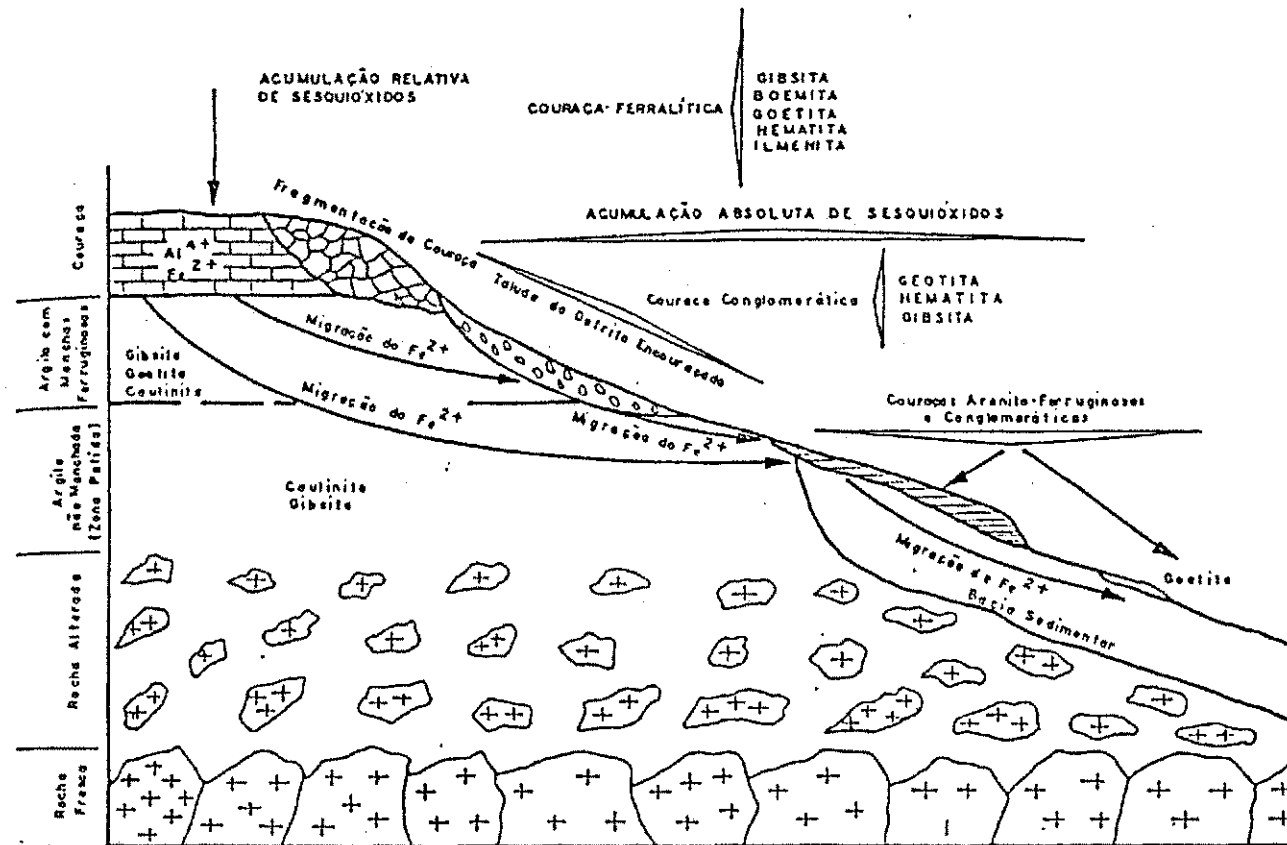


Fig. 3.1. 2 - Exemplo de Formação de Couraças (Lateritas) (Fontesantana, 1987).

ser questão do arranjo e da espécie dos componentes lateríticos. Segundo, Maignen (1966) o óxido de ferro é a base do processo de endurecimento de materiais lateríticos e seus estudos mostram que quanto maior o conteúdo de sesquióxidos, maior o endurecimento, com a dureza sendo função do conteúdo de ferro e que comumente, na mesma ocorrência de materiais lateríticos a parte mais antiga e mais desidratada é mais dura que a parte mais recente. Este fato é mostrado na Figura 3.1.3.

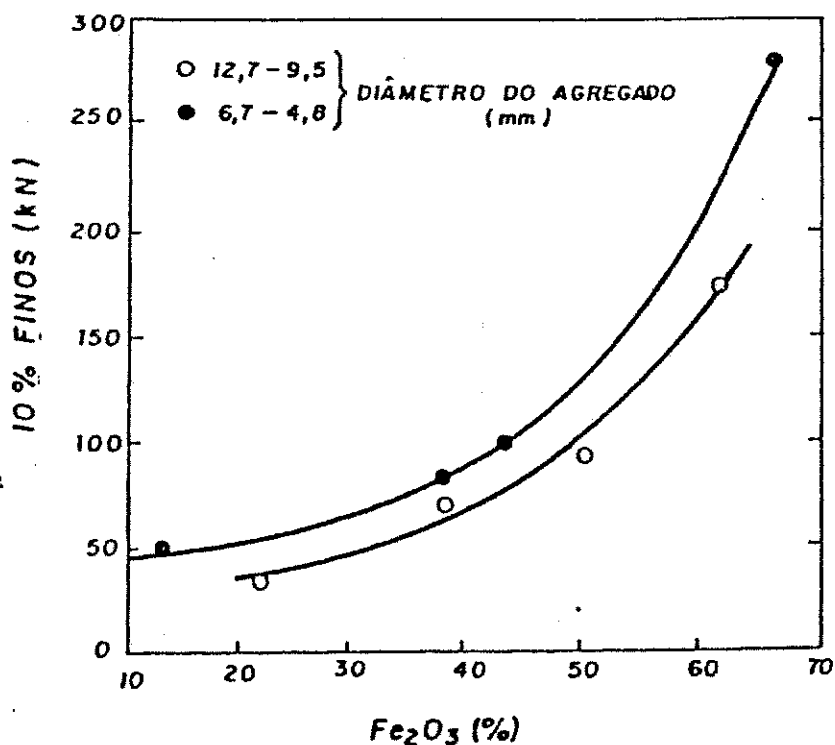


Fig 3.1.3 Efeito do Conteúdo de Óxido de Ferro na Resistência de Agregados Lateríticos (Fonte - Maignen, 1966),.

Gidigasu (1975a) citando estudos em lateritas de diversas partes da Índia (Nanda e Krishnachari, 1958) afirmam que o endurecimento das lateritas pode ser devido a:

- i) desidratação dos hidróxidos de ferro e de alumínio;
- ii) oxidação do ferro, passando de ferroso (Fe^{2+}) a férrico (Fe^{3+});
- iii) precipitação dos óxidos de ferro tornando-os agente cimentante.

Segundo Gidigasu (1975a) desidratação é um processo que envolve a perda d'água de sesquióxidos e/ou minerais e a transformação dos sesquióxidos gelatinosos amorfos ao estado cristalino imóvel. A desidratação "in situ" dos solos lateríticos é muito importante para a avaliação destes materiais em serviço, sendo menos sensível os mais desidratados "in situ", situados à superfície, isto porque os materiais desidratados à superfície têm acesso ao oxigênio e ao aquecimento natural do sol, de modo que o óxido ferroso pode ser transformado para o estado férrico (Fe^{3+}) tornando o solo sensível à secagem, ao passo que solos profundos não têm acesso ao ar e aquecimento natural, sendo, portanto pobremente desidratado "in situ", tendendo ser mais sensível à secagem.

Metterberg (1975) afirma que o endurecimento das formações lateríticas são de grande importância no estudo da evolução dos solos tropicais e estão associados a impregnação e a acumulação de ferro e alumínio, oxidação do ferro, desidratação dos sesquióxidos e ao desenvolvimento da estrutura contínua de sesquióxidos cristalizados.

Segundo Townsend et al. (1971) Gidigas (1976) McIntyre (1956) Queiroz de Carvalho (1985) a agregação dos solos lateríticos pode ocorrer das seguintes maneiras:

i) Devido a precipitação de géis hidratados de ferro e alumínio e subsequente desidratação irreversível destes materiais; estes géis servem como agentes cimentantes dos constituintes ativos dos solos lateríticos;

ii) Devido a presença de ferro na solução há deflocação;

iii) Como resultado da formação de compostos orgânico-mineral de solos húmicos com sesquióxidos livres;

iv) Devido a presença de componentes amorfos.

3.2 - Caracterização da Energia Térmica nas Propriedades das Concreções Lateríticas

A influência da temperatura de secagem dos agregados foi estudada por Bhatia e Hammond (1970) onde os agregados foram pré-aquecidos em estufa a 105 °C - 110 °C durante o período de 2 a 60 dias para depois serem submetidos ao ensaio de impacto. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 3.2.1 e mostram que o tratamento térmico em todas as amostras estudadas contribuiu para melhorar a resistência do agregado.

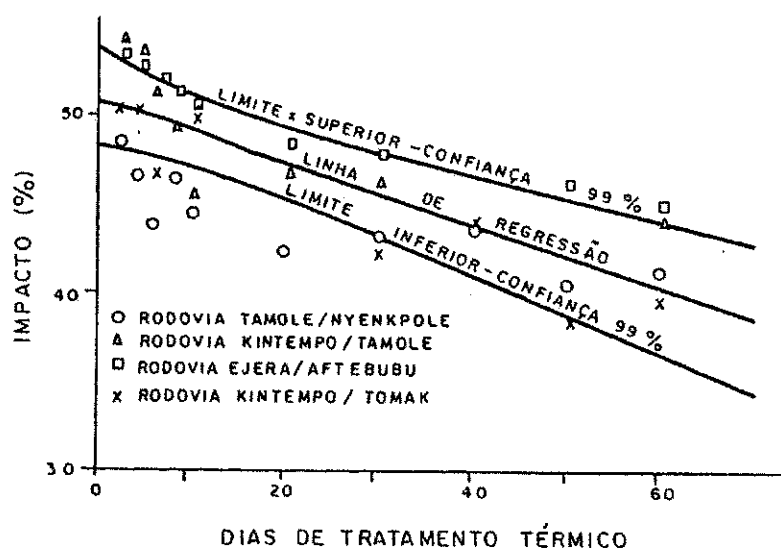


Figura 3.2.1 - Efeito do Tratamento Térmico na Resistência de Agregados Lateríticos. (Fonte - Gidigasú, 1980)

Estudos realizados por Brasileiro e Macêdo (1989) com os agregados lateríticos após tratamento térmico, revelaram a melhoria da qualidade de abrasão medida pelo ensaio "Los Angeles"

MATERIAIS	TEMPERATURA	BRITA GRANITICA	LATERITA JOÃO PESSOA	LATERITA Sapé
	Seco ao ar	21,2	50,4	52,3
Abrasão				
Los Angeles(%)	100 C	21,2	44,2	48,1
Faixa (C)	125 C	20,5	41,2	43,7
DNER	150 C	20,4	39,4	39,5
Desgaste	175 C	20,8	38,4	37,6
	200 C	21,4	44,6	34,3

Quadro 3.2.1 - Ensaio Abrasão "Los angeles" à diversas temperaturas com os agregados granítico, lateríticos de João Pessoa-PB e Sapé-PB (Macêdo, 1989)

A melhoria da qualidade de abrasão medida pelo ensaio "Los Angeles" dos agregados lateríticos aquecidos, mostrou que o agregado aplicado na mistura asfáltica, já tinha outra característica mecânica, estando pela especificação apto a ser utilizado com bastante folga em concretos betuminosos.

Embora o assunto seja já bastante discutido na literatura, os estudos mais desenvolvidos estão a nível de ocorrência onde predominam as frações mais finas, mas quando se trata de formações com existência de estruturas concrecionárias, as pesquisas ainda não estão em níveis tão adiantados que possam quantificar suas propriedades e características, visando aplicação em soluções geotécnicas. É sem dúvida limitadíssimo o estudo sobre a influência da secagem nos agregados lateríticos.

Todavia, na parte fina do solo laterítico como um todo, vários trabalhos foram realizados, visando quantificar o efeito da secagem nas propriedades físicas e mecânicas de solos lateríticos. Por exemplo, em termos de granulometria a secagem causa um aumento no tamanho das partículas, onde os grãos tamanho argila e silte aglomeram-se para o tamanho areia. Como consequência ocorrem também modificação nos valores dos limites de Atterberg (Willis, 1947) citado por Gidigasu (1974), onde afirma ainda que o processo de secagem parece transformar haloisita hidratada instável em metahaloisita estável, e isto é acompanhado pela perda de água da intercamada que afeta o valor da massa específica real do solo, conclusões a que também chegou Newill (1961).

Novais Ferreira et al (1972) comparou os resultados

obtidos com amostras colhidas em locais de empréstimos, com resultados usando os mesmos solos lateríticos após alguns anos de aplicação sob um pavimento de estradas, associados a ciclos de embebição e secagem com amostras submetidas as seguintes condições:

- i) amostra sem qualquer umidificação ou secagem prévia;
- ii) amostras embebidas previamente e secadas nas temperaturas de 32 C, 50 C, 80 C e 105 C, com tempo de secagem de 24 e 48 horas;
- iii) amostras sem embebição prévia e secadas nas temperaturas de 32 C, 50 C, 80 C e 105 C, tempo de secagem de 24 e 48 horas.

Após análise dos resultados, Novais Ferreira et al (1972), concluiu que:

- a) há indicação de que entre 50 C e os 105 C haverá uma temperatura que separa duas zonas de temperaturas baixas e altas, nas quais a influência da temperatura parece ser diferente;
- b) a influência da temperatura de secagem nos ensaios com amostras previamente umedecidas, manifestam-se por redução dos limites de liquidez (consequentemente variação na distribuição granulométrica);
- c) nas amostras secas a partir de sua umidade natural a influência da temperatura é benéfica até cerca de 80 C, mas após a secagem a 105 C a amostra apresentou-se mais plástica e com maior variação de volume.

Resultados idênticos chegou o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) et al. (1959) ao estudar 30 amostras de

Lourenço Marques, onde submetem estas amostras à secagem ao ar, em estufa à 60 C e 100 C, concluindo que:

- i) o limite de liquidez decresce quando a temperatura de secagem aumenta, a semelhança com outros solos;
- ii) redução no índice de plasticidade quando a temperatura de secagem aumenta.

Este mesmo efeito foi verificado por Gidigasú e Yeboa (1972) ao estudarem um solo da floresta de Gana. No entanto, estudos realizados paralelamente em solos da Savana de Ghana não apresentaram idênticos comportamentos. Isto mostra o efeito do clima sobre as propriedades dos solos lateríticos. Carvalho (1981) constatou tais efeitos em solos lateríticos do norte e nordeste do Brasil.

A Tabela 3.2.1 apresentada por Frost (1967) mostra resultados dos estudos conduzidos pelo "Research and Materials Section of the Department of Public Works" em solos de Papua e Nova Guiné, onde se verifica o efeito do tratamento térmico nos limites de liquidez e plasticidade e na granulometria dos solos. Estudos feitos por Haantjens (1964a, 1964b, 1965 e 1966) em solos destas regiões mostraram que eles são ricos em alofano, gibsita e haloisita e segundo Frost (1967) os solos Bajema, Mati, Minj e Gorota apresentados na Tabela 3.2.1 que perdem apenas parcialmente a plasticidade com o tratamento térmico, contém haloisita o solo Mendi que torna-se não plástico com o tratamento térmico (secagem ao ar) contém gibsita, alofano ou ambos.

Malomo (1974) também explica a diminuição do limite de liquidez com a secagem como sendo devido a diferenciação no teor da fração tamanho argila na distribuição granulométrica, ou seja,

LOCALIZAÇÃO	PROFUNDIDADE (m)	NATURAL			SECO AO AR			SECO EM ESTUFA			UMIDADE NATURAL
		LL	LP	% < 2µm	LL	LP	% < 2µm	LL	LP	% < 2µm	
BAGEMA	-	99	33	49	84	36	48	59	38	48	46
MATI	-	123	51	52	76	50	37	55	43	46	72
MINJ	-	114	62	-	55	52	-	-	-	-	69
GOROKA	0,30	97	42	-	73	42	-	-	-	-	44
GOROKA	1,22	95	54	-	70	59	-	-	-	-	60
MENDI	0,01	NP ⁽²⁾	NP	20	NP	NP	3	NP	NP	3	52
MENDI	0,23	133	79	36	NP	NP	2	NP	NP	3	89
MENDI	0,41	81	66	28	NP	NP	1	NP	NP	3	102
MENDI	0,64	130	63	34	NP	NP	3	NP	NP	3	107
MENDI	0,86	137	76	50	NP	NP	4	NP	NP	-	136
MENDI	1,07	143	83	51	NP	NP	8	NP	NP	-	135
MENDI	1,27	142	75	42	NP	NP	6	NP	NP	-	135
MENDI	1,52	155	79	45	NP	NP	6	NP	NP	5	131

TABELA 3.2.1 - Frost (1967) - Influência da Secagem nos Limites de Liquidez e Plasticidade e Granulometria dos Solos de Papua e Nova Guiné.

(2) - NP - Não Plástico.

com a secagem a fração tamanho argila é convertida parcialmente para a fração silte e areia através de agregação devido a desidratação.

Por outro lado, Terzaghi (1958) estudou uma argila de Susuma e considerou as partículas por óxido de ferro, a principal responsável pela redução na fração tamanho argila, Lambe (1960) é, no entanto mais extensivo e admitiu que a secagem ajuda a cimentação das partículas, não só por torná-las mais próximas uma das outras, mas também por fazer com que precipitem materiais cimentantes dissolvidos na água dos poros, tais como: Carbonatos, óxidos de ferro, silicatos, aluminatos e certas matérias orgânicas. É importante salientar que se o óxido de ferro está presente como cristal discreto ele não cimenta as partículas de solo (Deshpande et al, 1964).

Silveira (1984), estudando solos lateríticos do norte e nordeste do Brasil, com amostras secas ao ar e em estufa a 60 C e 110 C concluiu que o aumento de temperatura de secagem em 73% das amostras apresentou diminuição nos valores do limite de liquidez (LL).

O efeito da energia térmica na resistência dos solos lateríticos, tem comumente sido avaliado através da determinação do Índice de Suporte Califórnia (CBR). Novais Ferreira e Meireles (1969) ao estudarem amostras de solos lateríticos de Angola, contendo os minerais caulinita, goetita e gibsita, verificaram que o CBR aumentou com o crescimento da temperatura de secagem. Este mesmo efeito foi verificado por Frost (1967) para o solo Mende de Papua, que considerou como provocado pela

presença do mineral gibsita. Para Lyon Associates Inc. (1975) é suposto que as variações apresentadas por Frost (1967) não são devidas somente à gibsita, mas também à haloisita hidratada e ao alofano. Estudo do Lyon Associates Inc. (1975), indicou que a secagem ao ar de um solo da Costa Rica não afetou o CBR, embora grande aumento na máxima massa específica aparente seca e redução na umidade ótima de compactação tenham sido observadas. Ainda com relação ao efeito de secagem com as propriedades dos solos lateríticos, Costa (1983) estudando a influência da temperatura de secagem no valor do Índice de Suporte Califórnia, de vários solos lateríticos, mostrou que a temperatura de secagem não afeta de maneira significativa, a massa específica aparente seca máxima, enquanto os valores da umidade ótima e do CBR foram afetados pela secagem. Lima (1983) por outro lado, estudando os mesmos solos mostrou que a influência da energia térmica na granulometria destes solos é a de apresentar tendência à agregação das partículas.

Ferreira (1976), realizando ensaios triaxiais consolidados não drenados em corpos de prova saturados, de solo laterítico verificou que a secagem à 60 °C aumentou a coesão e reduziu o ângulo de atrito quando comparados aos resultados obtidos para o solo seco ao ar. Tal comportamento foi atribuído à transformação de materiais amorfos em cristalinos que poderiam ter cimentados de maneira mais eficiente as partículas de solo.

De acordo com Youssef (1961) a variação de temperatura na compactação de determinado solo, provoca aumento na massa específica seca máxima e diminuição na umidade ótima com o acréscimo da temperatura; O efeito pode ser explicado em

virtude de secagem a 110 C coagula as partículas em fortes grupos, diminuindo o teor de argila com o tratamento térmico. O mesmo efeito da secagem foi observado por Shuster (1970) que encontrou que a secagem do solo laterítico a 105 C pode tornar possível a irreversível desidratação da haloisita ($4H_2O$) para haloisita ($2H_2O$) sendo portanto, possível que esta transformação afete as propriedades de engenharia destes solos.

Brand e Hongsnoi (1969), no entanto ao estudar onze solos da Tailândia, verificaram que alguns destes solos apresentavam CBR (sem imersão) para o solo seco em estufa, maior que o solo natural. Outros solos apresentaram comportamento inverso a este. Quando da imersão, o CBR para o solo seco em estufa apresentou uma forte tendência de ser maior que para o solo natural. Tal comportamento para o CBR foi atribuído a menor absorção de água e menor expansão apresentados para o solo seco em estufa. Moh e Mozhar (1969) ao estudar o efeito da secagem na mineralogia destes onze solos, verificou que esta não era significativamente afetados pela secagem devido aos tipos de argilo minerais presentes. A fração inferior a 0,002 mm era predominantemente composta de caulinita e alguns illita e montmorilonita ou a mistura dos três. Nenhum dos onze solos possuía haloisita ou meta-haloisita. Brand e Hongsnoi (1969) concluíram ser difícil prever a variação de resistência nos solos compactados provocada pela secagem.

Carvalho (1981), estudando a influência da energia térmica e mecânica nas propriedades elásticas e de resistência ao cisalhamento de alguns solos lateríticos do norte e nordeste do Brasil, conclui que quanto ao efeito da energia térmica nas

propriedades dos solos estudados, observou-se que o aumento da temperatura de secagem afetou o módulo de elasticidade, sem no entanto definir uma tendência. O aumento da temperatura de secagem tendeu a diminuir a coesão e a aumentar o ângulo de atrito dos solos. Este comportamento, no entanto, tendeu para alguns solos a se inverter para o ângulo de atrito interno no ramo da curva de compactação. Os resultados obtidos mostraram ainda que o aumento da temperatura de secagem causou um aumento no teor dos cátions, ácidos, do pH e das frações tamanho argila.

Diniz (1984), estudando o efeito da secagem sobre solos lateríticos do norte e nordeste do Brasil verificou que os valores da resistência a compressão simples foram afetados, existindo tendência a aumentar ou diminuir a resistência à compressão simples dependendo dos solos.

O grau de sensibilidade à secagem de solos lateríticos tem sido determinado usando o chamado ensaio de índice de agregação, que é definido como a razão entre o equivalente de areia do solo seco em estufa à 105 C - 110 C para o equivalente de areia do solo natural, onde para o índice de agregação igual a 1 o solo não é sensível a secagem, Tateishi (1967) citado por Bidigasu (1974).

O comportamento dos solos lateríticos, tais como sensibilidade a secagem, tem sido mostrado que depende do argilo mineral predominantemente compondo a fração argila e a estrutura granular destes materiais, e que o teor de óxido de ferro livre e o complexo alumínio-ferro no solo parece ser responsável pelo comportamento de engenharia diferente entre solos lateríticos e

os solos de regiões temperados. Se observa, portanto, que os solos lateríticos quando submetidos a energias térmicas (diferentes temperaturas de secagem), tem algumas de suas propriedades afetadas, mostrando com isto a necessidade de pesquisas sobre a influência de secagem nos solos e agregados lateríticos.

3.3 - Parâmetros de Influência dos Agregados Graúdos Lateríticos, na Fabricação de Concreto Betuminoso à Quente e sua Utilização em Revestimento Asfáltico.

3.3.1 - Parâmetros de influência dos agregados graúdos lateríticos na fabricação de concreto betuminoso à quente.

Apesar do limitado número de estudos sobre agregados lateríticos, pressupõe-se que, pela própria estrutura do concreto betuminoso e pelos resultados obtidos em testes de laboratórios, que alguns parâmetros dos agregados graúdos convencionais e não convencionais são comuns, e de mesma influência nas misturas betuminosas. Esses pressupostos parâmetros seriam forma, textura, quantidade, tipo e granulometria do agregado graúdo. Brito (1969) utilizando agregado graúdos lateríticos na fabricação de concreto betuminosos à quente, afirma com a exceção do desgaste "Los Angeles" que estava fora dos limites estabelecidos pela especificação, os agregados graúdos utilizados apresentavam, quanto aos ensaios de granulometria, equivalentes de areia, densidade real e aparente, características plausíveis

para serem utilizados como agregado graúdo, na mistura betuminosa e os resultados de laboratório obtidos com a mistura betuminosa utilizando-se esses agregados, foram satisfatórios.

Com relação a forma e textura rugosa, estas aumentam a estabilidade das misturas betuminosas e melhoram a sua homogeneidade. O contrário se verifica, quando da utilização de agregados com faces polidas e forma arredondadas. Martin e Wallace (1952) atribuem a queda de estabilidade quando da utilização desses agregados na mistura, a não resistência ao movimento, provocado pelo deslizamento das partículas entre si.

Com relação a quantidade de agregado graúdo na mistura betuminosa, verifica-se que se aumentada, torna-se a mistura mais rígida pelo maior contato entre as partículas graúdas, formando um arcabouço estrutural de maior resistência interna. Em experiências realizadas ainda pelo, Road Research Laboratory (RRL, 1962) com aumento sucessivos nas quantidades de agregado graúdo em uma mistura areia-filler-betume, verificou-se um acréscimo acentuado de estabilidade da mistura em torno de 125%, quando se elevou a quantidade de agregado de 0% para 55%, verificando-se também um decréscimo de estabilidade, para maiores quantidades de agregado.

O tipo de agregado graúdo também influe na estabilidade da mistura. O fato é que agregado proveniente de rochas mais moles, são mais susceptíveis, a degradação pela ação principalmente de compressão, quando da execução dos serviços.

Com relação a granulometria do agregado graúdo, Birman (1969), diz não merecer maiores comentários a sua influência no comportamento dos concretos betuminosos. O Road Research

Laboratory, RRL (1962) considera que todos as frações definidas pela granulometria tem suas influências, e chama atenção para o tamanho máximo do agregado grão definido pelo ensaio de granulometria considerando quanto maior for o tamanho máximo do agregado grão, maior será a estabilidade do concreto betuminoso. Comparadamente nas diversas pesquisas, agregados bem graduados contribuem para misturas mais densas com menor índice de vazios e maior resistência.

Dentre as propriedades não comuns aos agregados grãos graníticos e lateríticos, pode-se citar: absorção, degradação, resistência ao polimento e massa específica. Com relação a absorção, tem-se verificado que alguns tipos de agregados lateríticos, apresentam alta absorção a água. Esta propriedade do agregado grão, poderá causar erro no cálculo da determinação dos vazios da mistura betuminosa, pelo emprego inadequado da densidade do agregado. Como se sabe, as normas usuais empregadas para determinação da densidade do agregado grão utilizado na fabricação de concreto betuminoso, considera dois tipos de densidade. Uma denominada de densidade real dos grãos do agregado, e outra de densidade aparente dos grãos do agregado, quando se leva em consideração ou não os vazios permeáveis do agregado, determinados pela absorção a água.

A adoção de um desses valores no cálculo da densidade teórica da mistura betuminosa, uma vez que o agregado grão absorve menor quantidade de cimento asfáltico, poderá acarretar num inadequado conceito do teor de vazios da mistura, com comprometimento da qualidade do concreto betuminoso. Como observa Birman (1969), em agregados grãos com baixa absorção a água,

esta propriedade é de pequena relevância, uma vez que a densidade real e aparente dos grãos do agregado, são de valores relativamente próximos entre si, o que não acontece com agregados graúdos de alta absorção a água. Martin e Wallace (1952) indicam que a utilização de um valor para densidade do agregado no projeto, deva estar compreendido entre as densidades real e aparente denominado densidade "efetiva" que permitirá uma aproximação no cálculo da densidade teórica da mistura betuminosa. O Road Research Laboratory, RRL (1962) adota para o cálculo da densidade teórica da mistura betuminosa, as densidades reais das diversas frações do agregado na mistura e chama a atenção para os casos em que os agregados apresentam alta absorção de água. Segundo Birman (1969), apesar dos esforços desenvolvidos para uma perfeita caracterização de densidade "efetiva", até então, nenhum método havia sido aceito, e enquanto isto, adotava nos projetos de misturas betuminosas, um valor para densidade efetiva dos grãos dos agregados, como sendo a média aritmética entre as densidades real e aparente dos grãos do agregado.

Bhatia e Hammond (1970) estudando lateritas do Oeste Africano, mostraram que os valores da absorção a água após 24 horas de imersão era o parâmetro mais importante para avaliar o comportamento daqueles materiais na construção rodoviária, além do mais foram encontradas correlações entre o valor da absorção e massa específica real, impacto e "Los Angeles" (conforme mostrado na Figura 3.3.1). E daí concluíram pela proposição da tentativa de especificação para pedregulhos lateríticos que afloram em Ghana (Quadro 3.3.1). As amostras foram classificadas

nas peneiras 12,5 e 9,5 mm, lavadas e secas ao ar para os ensaios de laboratório.

Massa Específica Real (g/cm ³)	Absorção à água (24 horas)	Impacto (%)	"Los Angeles" (%)	Comportamento em Serviço
> 2,85	< 4	< 30	< 40	Excelente
2,85 - 2,75	4 - 6	30 - 40	40 - 50	Bom
2,75 - 2,58	6 - 8	40 - 50	50 - 60	Sofrível
< 2,58	> 8	> 50	> 60	Péssimo

Quadro 3.3.1 - Tentativa de especificação para pedregulhos lateríticos

(Fonte: Bhatia e Hammond - 1970)

Santana (1987) considera importante observar que pisólitos lateríticos obtidos por lavagem/peneiramento ou por britagem/lavagem/peneiramento pode apresentar-se com diversos graus de absorção (2% a 10%) de dureza (35 a 75%) e de durabilidade (15 a 95%). A adesividade em geral, é satisfatória.

Na literatura consultada, Pompeu Neto (1976) Souto (1980) e Guimarães (1978) observaram valores para absorção entre 3 a 10% para agregados lateríticos. As especificações do DNMR (1974) não estabelece limites de aceitação para absorção da água pelo agregado graúdo enquanto que a África do Sul limita em 1% a absorção para o agregado graúdo.

Com relação a propriedade de degradação é desaconselhável o emprego de agregados graúdos em misturas betuminosas que

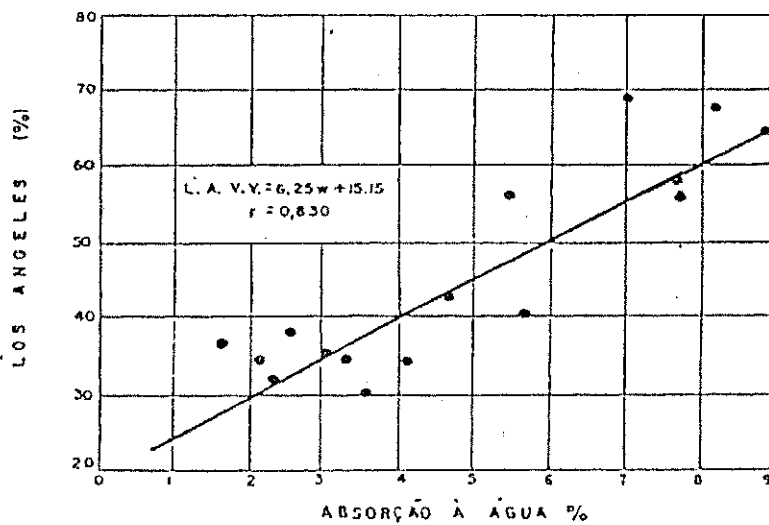
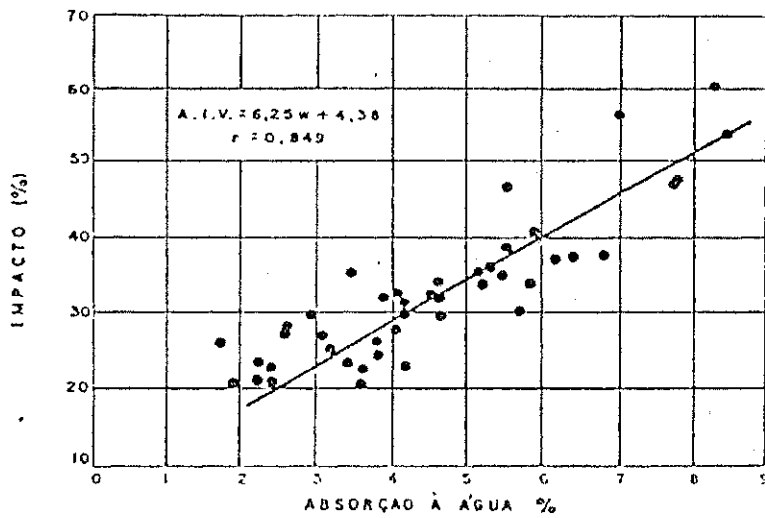
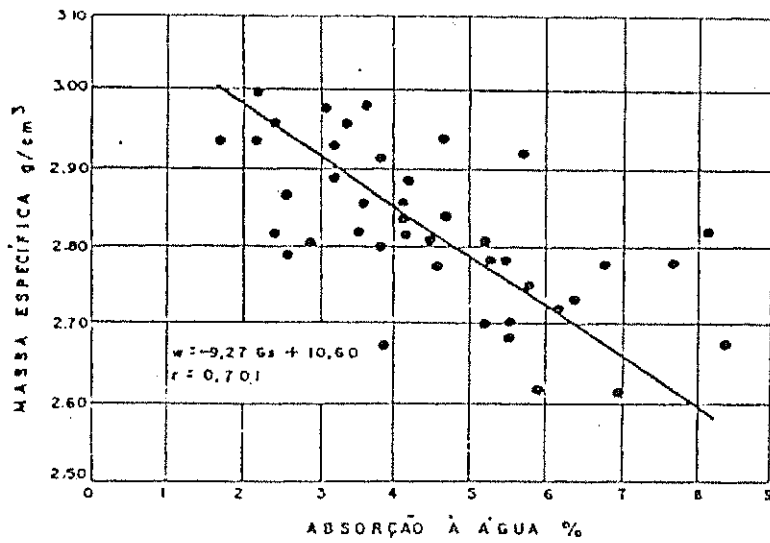


FIGURA 3.3.1-RELAÇÃO ENTRE ABSORÇÃO D'ÁGUA E MASSA ESPECÍFICA REAL, IMPACTO E ABRASÃO LOS ANGELES DE AGREGADOS LATERÍDICOS. (FONTE - BHATIA E HAMMOND, 1970).

apresentam alto grau de degradação. Esta propriedade do agregado, é caracterizada pela desintegração do agregado na mistura betuminosa, quando submetida aos esforços mecânicos produzidos pela compressão das camadas, pelo tráfego em serviço ou pelo atrito interno entre as partículas do agregado. Alguns agregados graúdos lateríticos, apresentam maiores valores de degradação comparados com agregados graúdos tipo granítico, quando medidos pelo ensaio de abrasão "Los Angeles". Sobre o assunto, Birman (1969) observa que em obras realizadas pelo DER-GR, concretos betuminosos executados com agregados graúdos com valores de abrasão "Los Angeles" superiores aos máximos permitidos pelas especificações brasileiras, tinham bom comportamento e não apresentavam defeitos após 10 anos de usos, que pudessem ser atribuídos a baixa qualidade do agregado, definida pelo ensaio de abrasão "Los Angeles". Ainda sobre a degradação medida pelo ensaio de desgaste "Los Angeles", Hveem, citado por Barbosa (1969), afirma que a solução que se propunha na Califórnia era o abandono do ensaio de Abrasão "Los Angeles", o que efetivamente ocorreu alguns anos depois, e que um concreto betuminoso executado em 1934 com agregado possuindo "Los Angeles" de 80%, apresentava até então, 1961, bom comportamento.

Há uma tendência mundial em se estabelecer, em função das observações feitas em obras de concretos betuminosos executados com vários tipos de agregados graúdos, limites mais adequados para os valores do ensaio de abrasão "Los Angeles". O Handbook of Highway Engineering (HHE, 1975) relata que há uma preocupação da American Society Testing Materials (ASTM) no

sentido de estabelecer limites para o ensaio de abrasão "Los Angeles", em função de serviço e dos agregados utilizados.

Macêdo (1989), usando o método de degradação do estado de Washington, obteve resistência ao desgaste para a brita granítica da ordem de 82% e 2% para os agregados lateríticos de João Pessoa e Sapé na Paraíba. Valores bem inferiores ao mínimo permitido no estado americano que é de 30% para agregados utilizados em concreto betuminosos em camadas de rolamento, e no mínimo de 20% para o restante das camadas. Vale ressaltar, segundo o autor, que o ensaio utilizado para determinação de tal fator submete os materiais, durante o teste, a condições bastante severas, não devendo por isso, representar elemento único de rejeição de agregados para uso em camadas estruturais de pavimentos.

Macêdo (1989) introduziu em sua pesquisa o índice de degradação proposto por Ruiz (aplicado a bases granulares) para se verificar qual a influência da energia mecânica de compactação na degradação de agregados, nas misturas betuminosas e como se comportavam os materiais lateríticos de menor dureza. De acordo com Macêdo, com base em dados bibliográficos, os valores encontrados (Brita Granítica (0,6), Laterita JPPB (1,7), Laterita SPPB (0,8) apresentam índices de degradação aceitáveis, com deslocamento ocorrendo dentro da faixa para a qual foi projetada a mistura.

A propriedade de baixa resistência ao polimento de alguns agregados graúdos lateríticos, se caracteriza pelo excessivo desgaste superficial dos revestimentos betuminosos, provocado pela ação conjunta do tráfego e da água. Segundo Beaton e ASCE

(1971) citado por Brasileiro (1983), este problema é de fundamental importância e requer cuidados especiais nos países onde há predominância de rochas susceptíveis a esse tipo de desgaste, e que por motivo de ordem econômica, sejam utilizados como agregados graúdos nos revestimentos betuminosos.

A experiência Francesa tem demonstrado, Hettinger (1975), Mourier (1977), Grimaux (1978) que a utilização de agregados graúdos de maior desgaste superficial em concretos betuminosos têm trazido como consequência, revestimentos muito polidos e que quando molhados, provocam acidentes.

A massa específica da grande maioria dos agregados produzidos a partir de concreções lateríticas é bastante influenciada pelas variações que as concreções geralmente apresentam como a textura rugosa e a presença frequente de cavidades, particularmente naquelas de forma mais irregular, tornando-as bastante rugosas.

Estudos em agregados lateríticos, tem se encontrado valores para massa específica real entre $2,5 \text{ g/cm}^3$ e $3,5 \text{ g/cm}^3$ (Maignen, 1966) e parece ser esta propriedade altamente dependente do conteúdo de ferro (Nascimento, 1959) como também da existência de materiais titânicos. (Gidigasú, 1974).

Lohnes e Demirel (1971), Bhatia e Hammond (1970) consideram a massa específica real um excelente parâmetro para identificar o grau de intemperização da laterita, bem como para avaliar seu desempenho para propósitos geotécnicos. Gidigasú (1974) encontrou boas correlações entre a massa específica real de agregados lateríticos e suas propriedades mecânicas, tais como: "Los angeles" e Impacto conforme mostrado na Figura 3.3.2.

A massa específica aparente apresenta valores entre $2,19 \text{ g/cm}^3$ e $2,6 \text{ g/cm}^3$, ao passo que o material que compõe as concreções (material moído) varia entre $3,19 \text{ g/cm}^3$ e $3,69 \text{ g/cm}^3$, normalmente apresentando valores mais altos para as concreções mais ricas em óxido de ferro.

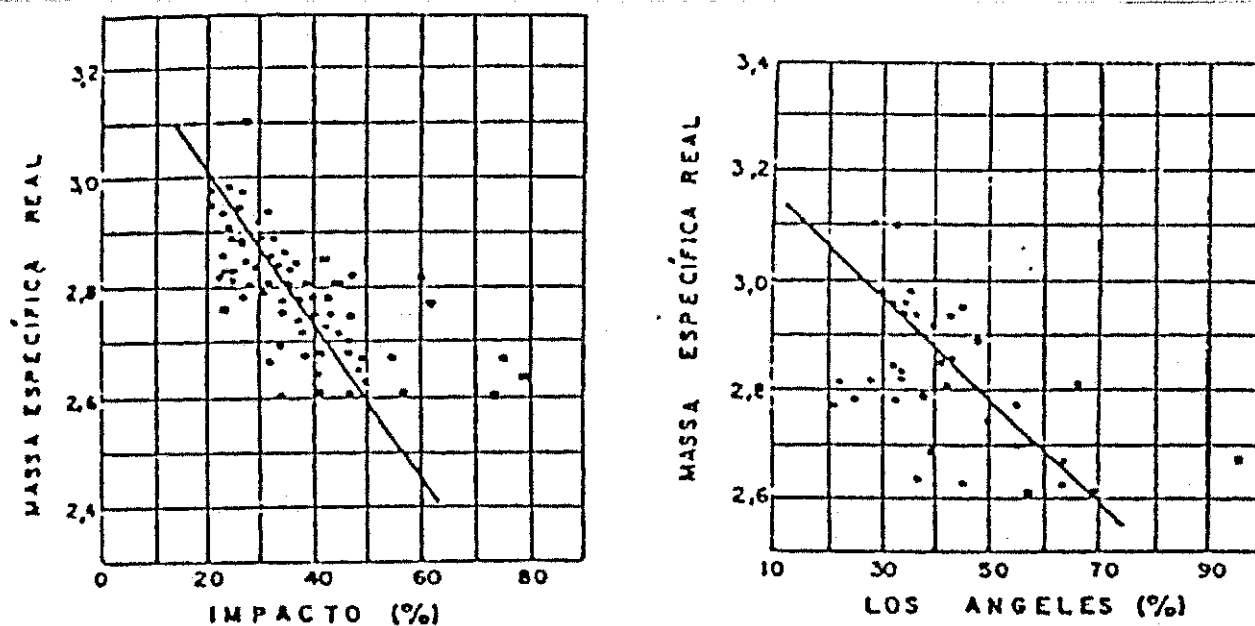


FIGURA 3.32-RELAÇÃO ENTRE MASSA ESPECÍFICA REAL, IMPACTO E LOS ANGELES PARA AGREGADOS. LATERÍTICOS. (FONTE-GIDIGASU, 1974)

LEGENDA:

- AMOSTRAS GHANA
- AMOSTRA ÍNDIA

A especificação Japonesa fixa que o valor da massa específica do agregado deve ser superior a $2,45 \text{ g/cm}^3$. No Brasil não é exigido tal recomendação, no entanto não se recomenda a utilização de agregados, com baixa massa específica em concretos betuminosos pelo baixo valor de suporte produzido nas misturas.

De uma maneira geral, os ensaios em agregados são muito úteis para julgamento de suas propriedades de uso (Neville, 1982) e no caso de agregados lateríticos essa avaliação é mais adequada quando são usados ensaios mecânicos (Nanda et al, 1958) (Acroyd, 1960, 1963, 1967), (Vallerga et al, 1969) (Bhatia e Hammond, 1970). Os ensaios recomendados para avaliar a performance dos agregados lateríticos são:

- 10% de finos, esmagamento, abrasão "Los Angeles" e Impacto.

3.3.2 - Utilização de agregados graúdos lateríticos em revestimentos asfálticos

Estudos feitos por Nanda e Krishnamáchari (1958) permitiram avaliar o comportamento em serviço de materiais lateríticos baseados em suas propriedades mecânicas, nas condições ambiente e do tráfego a que estavam submetidos, conforme mostra o Quadro 3.3.2. Pode-se observar que amostras com valores para impacto, esmagamento e "Los Angeles" de 46, 47 e 46% respectivamente, comportaram-se bem em camadas de base, mas o mesmo não se pode afirmar em relação ao uso desses materiais em camadas de revestimento.

Gidigasú (1980) relata a experiência Ganese na utilização de agregados lateríticos na pavimentação. Segundo o pesquisador, por adotar-se especificações e controle de construção adotadas em regiões temperadas, levou ao colapso considerável número de pavimentos. As falhas mais comuns eram a

LOCALIZAÇÃO DO MATERIAL	Propriedades Mecânicas			Comportamento em Serviço		Tráfego Precipitação	
	Impacto (%)	Esmagamento (%)	"Los Angeles" (%)	Camada de Base	Revestimento	(KN)	(mm)
Akia Mogra Pedreira Mhow Rodovia Neemuch	34,6	38,7	46,0	Muito Satisfatório (70 anos)	Trilhos rodadas de ferro	2650	890
Pedreira Sunagiri	28,2	31,4	33,4	Satisfatório (3 anos)	-	700	3810-5080
Kesavaram Pedreira Andra	23,7	27,9	34,1	Satisfatório (6 anos)	Não satisfatório para tráfego pesado, mas adequado para Rodovias de vilas.	14120	-
Bombay Rodovia Kan-kaugoa Ratnagri	41,8	37,7	43,7	Satisfatório	Não satisfatório	2500	4.445
Palaparam Pedreira M 18/8 Rodovia Palghat Shornoor	46,0	47,0	-	Satisfatório	Não satisfatório	16190	2540-3048
Ankleshwar Pedreira Dinod	34,0	29,0	18,0	Satisfatório	-	2000	1.143

Quadro 3.3.2 - Avaliação de Agregados Lateríticos da Índia em Relação a Performance na Pavimentação Rodoviária (Fonte-Nanda e Krishnamachari, 1958).

ruptura plástica, deformação e desgaste na superfície betuminosa, além da formação de "panelas", principalmente nas áreas chuvosas e pobremente drenadas e sulcos na trilha das rodas. Os fatores apontados para essas falhas foram: a qualidade do pedregulho, grau de compactação, perda de resistência do material após construção, espessura inadequada e deficiência de drenagem. Quando havia por exemplo, boa drenagem, detectava-se boa performance do pavimento.

Apesar da grande ocorrência de materiais concrecionados de origem laterítica, em detrimento da escassez de rocha granítica principalmente nas regiões norte e parte do nordeste e centro oeste do Brasil, estes agregados tidos como não convencionais são pouco utilizados na pavimentação rodoviária devido principalmente ao limitado número de estudos para estes tipos de materiais, trazendo em consequência pavimentos com custos elevados devido a grande distância de transportes principalmente da brita granítica.

O primeiro emprego que se tem conhecimento no Brasil de agregados de origem laterítica foi o revestimento da pista de pouso e decolagem do aeroporto de São Luis do Maranhão no ano de 1943 na 2^a guerra mundial, feito pelo Corpo de Engenharia do Exército Americano. O concreto asfáltico usinado à quente usando-se a laterita após ser lavada e peneirada como agregado graúdo apresentou-se após 20 anos com bom desempenho, Santana e Gontijo (1967). Essa solução foi dada, talvez como emergência, mas o bom resultado em todo esse espaço de tempo mostram a excelência do material encontrado.

Em 1962 foi executado na rodovia que liga os municípios de Sapé e Guarabira no Estado da Paraíba, um revestimento asfáltico do tipo tratamento superficial duplo, utilizando-se pisólitos lateríticos e de acordo com observações relatadas por diversos pesquisadores, a superfície de revestimento após 10 anos de uso se encontrava em bom estado com textura rugosa e sem polimento excessivo.

Brito (1962), utilizou Cascalho lavado do tipo laterítico, em concreto betuminoso usinado à quente, no revestimento do pavimento para ampliação do aeroporto de Belém, já que havia total ausência de pedreiras nas proximidades da cidade. Pelos resultados de laboratório, a mistura asfáltica apresentou características apropriadas de uso, com todos os parâmetros em atendimento as especificações.

Carletti (1972) executou na BR-317 trecho Camburé-Xapurí no estado do Acre, um revestimento do tipo pré-misturado à frio com o uso de agregado laterítico e emulsão asfáltica numa extensão de 200m próximo do DERACRE (Departamento de Estradas e Rodagens do Acre). De acordo com o autor, os resultados foram bons.

Tavares, 1976) propôs e executou uma mistura de agregado graúdo laterítico e betume em concreto betuminoso usinado à quente para restauração do pavimento de um trecho experimental da BR-316 no trecho Belém-Castanhal, em substituição a uma areia asfáltica de fraca adesividade. A mistura foi feita e executada com características Mashall apropriadas, a exceção do índice de vazios. Está sendo observada em serviço após ser submetida a tráfego intenso. O pré-misturado à quente composto

por 50,5% de concreções lateríticas, 41,25% de areia de laterita e 6,25% de CAP 50/60, apresentou as características abaixo, obtidas quando da execução do referido trecho em julho de 1976.

V ₀ (%)	RBV (%)	Estabilidade(KN)	Fluência(mm)	Meap (g/cm ³)
8,0	62,7	7,6	3	2,21

Brito (1978) utilizou pisólitos lateríticos como agregados graúdos na fabricação de pré-misturado à quente, na construção da BR-135 (MA) trecho Miranda-Caxuxa (1968/1969), tendo havido a restauração em 1977, quando se encontrava de um modo geral, em boas condições de tráfego.

Os pisólitos lateríticos apresentavam "Los Angeles" da ordem de 45 a 60% e durabilidade maior que 12% e adesividade satisfatória. O pré-misturado à quente utilizado na citada obra foi fabricado com 92% de laterita beneficiada, 1,5% de "filler" e 6,5% de CAP 50/60. Obtendo-se as seguintes características a partir do método Marshall.

V ₀ (%)	RBV(%)	Estabilidade (KN)	Fluência(mm)	Meap (g/cm ³)	
P M Q	4,2	78	9,4	4	2,36

Outra experiência com agregados lateríticos faz parte de um projeto alternativo elaborado por Santana e Gontijo (1987) para a rodovia BR - 364 - AC. Os agregados graúdos lateríticos

foram obtidos da classificação por lavagem/peneiramento, utilizando-se as peneiras 19.1 mm e 9.5 mm e como agregado miúdo foi usado areia de rio, a mistura de agregado enquadrou-se na faixa C do DNBR com a composição contendo de 30% de laterita (19.1mm - 9.5mm), 55% de laterita (D < 9.5 mm) e 15% de areia do rio Acre. O CBUQ foi projetado com a metodologia Marshall e, para um teor ótimo de betume de 7,5% em peso (CAP 50/60) obtiveram-se as seguintes características:

V _v (%)	REV (%)	Estabilidade(KN)	Fluência(mm)	Meap (g/cm ³)
4,5	78,5	7,0	3	2,25

O Estado do Acre continua a utilizar este agregado no revestimento devido à escassez de rocha na região (Lopes, 1987).

3.4 - Conclusão

Como se observa para a parte fina dos solos lateríticos já foram desenvolvidos estudos que bem podem caracterizar o efeito da secagem em suas propriedades geotécnicas, todavia para a parte concrecionária muito pouco se conhece. Estudos preliminares em escala limitada demonstram que os agregados lateríticos tem suas propriedades de resistência mecânicas melhoradas com o aumento da energia térmica. Sendo a resistência mecânica do agregado um importante ou principal fator de rejeição ou não de agregados, estudos se fazem necessários para

Verificação deste fato. Se comprovada poderá sugerir-se metodologia de avaliação para resistência mecânica levando-se em consideração o efeito da secagem sobre os mesmos. Com relação a viabilidade da utilização de agregados de origem lateríticas em concreto betuminoso, já existe considerado números de trabalhos de laboratório que mostram que se podem conseguir, misturas asfálticas com alguns tipos de agregados lateríticos, tão boas quanto aquelas fabricadas com agregados graníticos, o que justifica o bom desempenho de alguns trechos de rodovias pavimentadas com concreto asfáltico utilizando-se agregado graúdo de origem laterítica. Porém, apesar do razoável número de pesquisas já existentes, a falta de uniformidade na exigência das especificações para agregados lateríticos, estabelecendo-se diferentes limites de aceitação para um mesmo serviço, à medida que muda o órgão normalizador, dificulta sua utilização. Estudos se fazem necessários no intuito de adotar-se metodologia de ensaio que defina o uso de agregado laterítico em concreto asfáltico.

CAPITULO IV

MATERIAIS E METODOS

4.1 - Escolha dos Materiais

4.1.1 - Agregados graúdos

Foram utilizados concreções lateríticas de cinco jazidas denominadas: CAPI(Castelo-PI), TEPI (Teresina-Pi), CTPB (Cuité-FB), ARPB (Areia-FB) e JPPB (João Pessoa-FB). O critério para seleção desses agregados foi baseado na formação geológica e clima, como também na viabilidade de utilização do potencial destas ocorrências em obras de engenharia. A figura 4.1.1 mostra a localização das jazidas utilizadas nesta pesquisa.

Procurou-se materiais que diferenciem em clima e formação geológica, para assim abranger os tipos mais variados uma vez que eles, na sua formação, dependem tanto do clima como também da rocha de origem.

Os agregados lateríticos, foram denominados na pesquisa por agregados graúdos não convencionais. O Quadro 4.1.1 mostra as características regionais onde os agregados graúdos foram obtidos tais como: clima, índice xerotérmico e precipitação média anual, assim como formação geológica, a pedologia e procedência desses agregados.

As concreções lateríticas foram provenientes da coleta efetuada nas próprias jazidas e em depósitos ao ar livre de solos lateríticos, pertencentes ao laboratório de solos, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, que estuda solos tropicais das regiões Norte e Nordeste do Brasil.

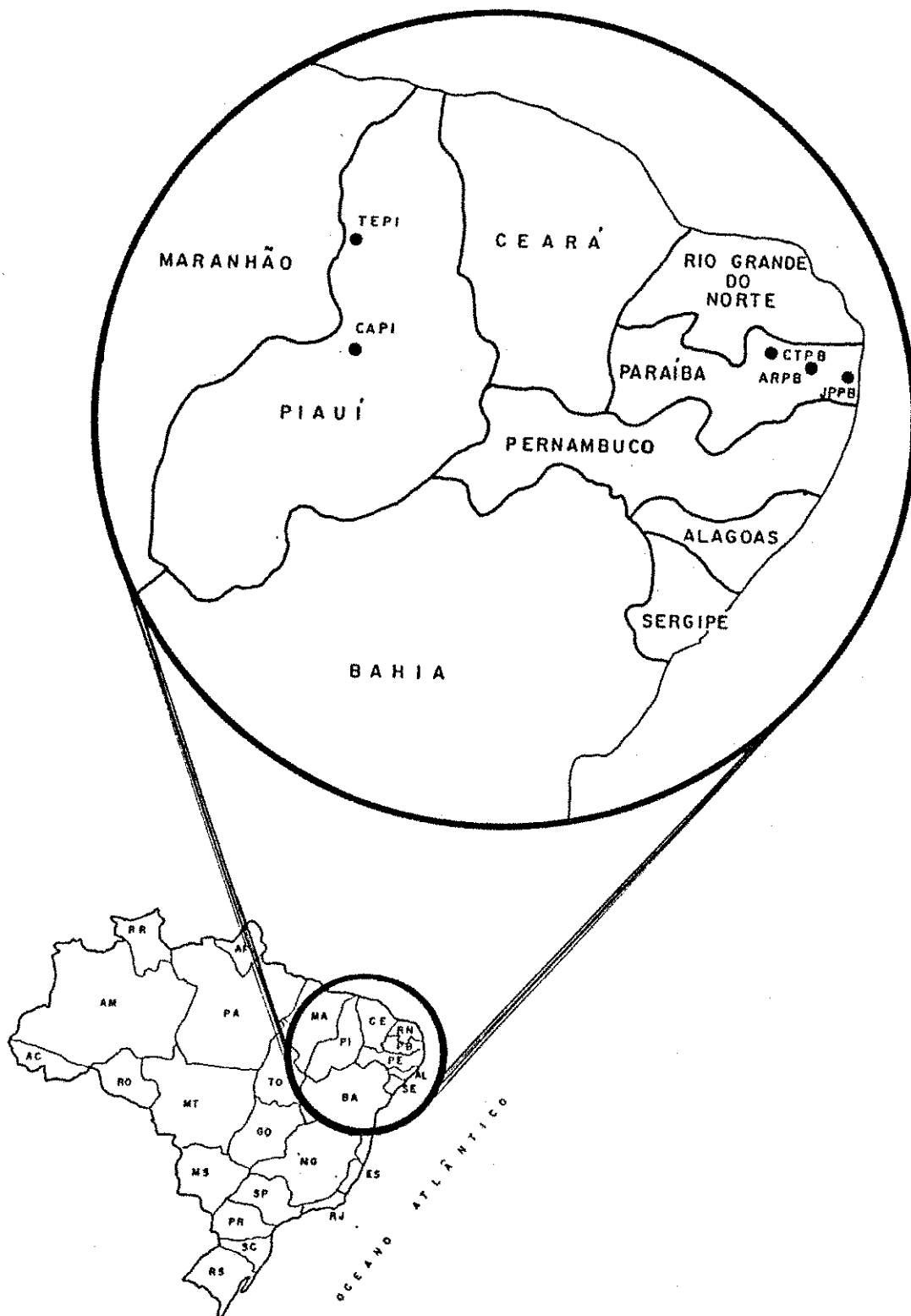


FIGURA 4.1 — MAPA DO BRASIL MOSTRANDO A LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS DE AGREGADOS GRAÚDOS SELECIONADOS PARA A PESQUISA .

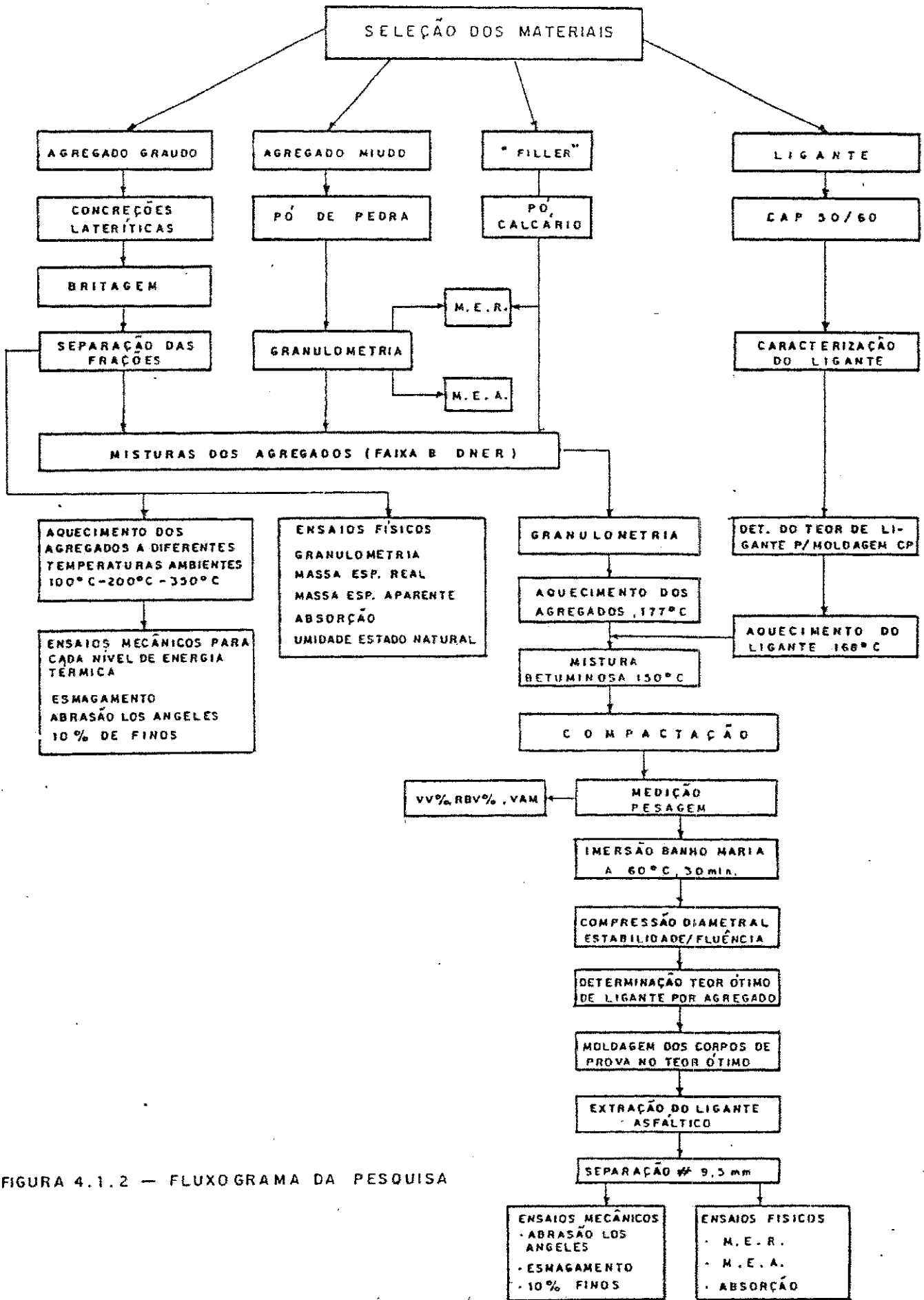


FIGURA 4.1.2 — FLUXOGRAMA DA PESQUISA

SOLO	LOCALIZAÇÃO	FORMAÇÃO GEOLÓGICA	PEDOLOGIA	CLIMA	ÍNDICE BIOCLIMÁTICO	PRECIPITAÇÃO (mm)
CAPI	Margem direita da Rodovia BR-316 a 5 Km da cidade de CASTELO PI	Formação "Cabeças" arenitos de cores claras, idade: Devoniano médio e superior	A0 5 - Areias quartzosas e solos litólicos com textura arenosa	Tropical Quente de seca média	100 a 150	1.200
TEPI	Margem direita da Rodovia BR-316 a 8 Km da cidade de TERESINA PI	Formação "Pedras de Fogo"	L0 2 - Latossolo vermelho-amarelo. Textura argilosa	Tropical Quente de seca atenuada	150 a 200	1.400
CTPB	Margem direita da Rodovia PB-149 a 7 Km da cidade de CUITÉ-PB	Formação "Serra dos Morais". Data do Terciário	L Vel - Latossolo vermelho amarelo eutrófico. Textura argilosa	Quente de seca média	100 a 150	400
JPPB	Conjunto dos Bancários a 2 Km do Campus Universitário	Formação "Barreiras". Data do Terciário	P0 5 - Podzólico Vermelho amarelo Latossólico de textura arenosa	Quente de seca atenuada	40 a 100	1.720
ARPB	Margem esquerda da Rodovia PB-079 a 5 Km da cidade de RENÍCIO PB	Pré-Cambriano representado na Paraíba por gnaises e migmatitos	PE-13 - Com textura predominantemente argilosa e solos latolíticos eutróficos.	Sub-seco	0 a 40	1.000

QUADRO 4.1.1 - CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS UTILIZADOS NA PRESENTE PESQUISA.

As denominações dadas às jazidas estão de acordo com a nomenclatura utilizada por pesquisadores da Universidade Federal da Paraíba que estudam estes agregados.

4.1.2 - Agregado Miúdo

O agregado miúdo escolhido foi uma areia artificial denominada nesta pesquisa por resíduo de pedra britada, devido a dificuldade de obtenção de areia fina de rio que atendesse a granulometria desejada para este agregado. Este material foi fornecido pela firma PEDRAQ, localizada às margens da BR-104 no município de Queimadas-Paraíba, distante 15km de Campina Grande.

4.1.3 - Filler

O "Filler" foi fornecido em sacos fechados provenientes da Companhia Industrial Gramame - CIGRA, situada no município de Alhandra-Pb, originário de rocha calcária, e armazenado no laboratório de asfalto da UFPb em local limpo e seco. Este material além de comprovada qualidade, apresenta custo inferior em serviço quando comparado a similares, tais como cimento e cal hidratadas na fabricação de concreto betuminoso.

4.1.4 - Cimento Asfáltico

O cimento asfáltico foi conseguido junto a Construtora Queiroz Galvão, quando do recapeamento da BR-230, trecho João Pessoa-Campina Grande.

O material betuminoso, chegou ao laboratório de asfalto do Departamento de Engenharia Civil da UFPB, acondicionado em reservatórios apropriados de 20 l, enviados pela Construtora citada para fins de caracterização. Seu aproveitamento deu-se como se vê pela disponibilidade no local.

4.2 - Preparação dos Materiais Utilizados na Pesquisa

Os materiais para utilização como agregado graúdo, obedeceram a um mesmo processo de preparação para a britagem. As concreções lateríticas de grande diâmetro foram reduzidas por impacto, com o auxílio de um martelo de 5Kg, para facilidade de britagem e por imposição da abertura máxima permitida pelo britador utilizado. O britador utilizado para fabricação dos agregados graúdos provenientes das concreções lateríticas, foi de mandíbulas BMA-21, fabricado pela Máquina Renard - Indústria e Comércio Ltda, e pertencente ao Laboratório de Solos do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

Nenhum dos materiais sofreu qualquer processo de lavagem e apenas o solo laterítico foi beneficiado com peneiramento inicial a seco, para eliminar as frações de solo de diâmetro inferiores a 4,8 mm.

Após a obtenção dos diversos agregados graúdos foram separados nas frações recomendadas de acordo com a metodologia adotada para cada ensaio. As frações assim separadas foram acondicionadas em sacos plásticos para posterior realização dos ensaios. Este mesmo processo foi adotado para a areia artificial

utilizada como agregado miúdo.

O material de enchimento, "filler", enviado em embalagem própria, em sacos de papel grosso foi depositado em local seco e arejado para evitar que a umidade prejudicasse sua composição.

O cimento asfáltico acondicionado em depósitos metálicos com tampa foi colocado em local adequado no laboratório e, mantido fechado para que não houvesse contaminação proveniente de outros materiais, e somente eram abertos quando da utilização do cimento asfáltico.

A propósito da preparação dos materiais, algumas observações foram feitas. Os agregados graúdos resultantes da britagem das concreções lateríticas, apresentavam após britagem excessiva quantidade de partículas finas que ficavam aderidas as partículas dos agregados graúdos. Os agregados graúdos oriundos das concreções lateríticas de João Pessoa-Pb e Areia-Pb desagregavam-se com relativa facilidade pelo manuseio das amostras.

4.3 - Misturas de Agregados Utilizados na Pesquisa

A mistura de agregados foi obtida pela ajustagem da granulometria dos agregados graúdos, miúdos e "filler" de modo a proporcionar mistura com granulometria situada o mais próximo dos pontos médios da faixa "B", definida pelas especificações de serviços do D.N.E.R, para concretos betuminosos usinados a quente por permitir maior flexibilidade quanto ao uso de concretos betuminosos em camadas de ligação e rolamento. Definida a faixa granulométrica que a mistura deveria se enquadrar foram, então,

todos os agregados graúdos e miúdos separados em diversas frações por peneiramento para posterior composição, ficando esta composição definida como sendo: 58% de agregado graúdo, 38% de agregado miúdo e 4% de "filler". Após esta composição, a mistura de agregados foi submetida à análise granulométrica após ser levada à secagem em estufa a 110 C durante 24 horas.

Na composição granulométrica de todos os traços estudados a única variável era o tipo de agregado graúdo.

O Quadro 5.1.1 apresentado no capítulo seguinte, mostra a granulometria adotada para os agregados graúdos, miúdo e "filler" e para mistura final de agregados.

4.4 - Escolha de Teores de Ligante Adotados para Moldagem dos Corpos de Prova

O Teor Ótimo de ligante para moldagem dos corpos de prova correspondente a cada agregado graúdo, denominado teor ótimo de ligante, foi definido de forma que os parâmetros de estabilidade, relação betume vazios (RBV), volume de agregado mineral (VAM) e fluência mais se aproximassem ou se situassem dentro dos limites estabelecidos pelo D.N.E.R. para concreto betuminoso usinado à quente. Os teores de ligante adotados estão apresentados no próximo capítulo, Quadro 5.1.9.

4.5 - Métodos de Ensaios

Os métodos de ensaios utilizados no presente trabalho, foram em sua maior parte, os métodos de ensaio propostos pelo

Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, D.N.E.R., que estabelece condições de aceitação dos diversos materiais e serviços para obras rodoviárias brasileiras.

Nos Quadros 4.1.2, 4.1.3 , 4.1.4 são apresentados os métodos de ensaios utilizados, bem como algumas informações consideradas necessárias para análise dos resultados obtidos em função da metodologia empregada.

Os níveis de energia térmica utilizados para os agregados foram os seguintes:

- i) secagem ao ar (25 C +/- 2 C)
- ii) secagem em estufa à 110 C durante 48 horas
- iii) secagem em estufa à 200 C durante 48 horas
- iv) secagem em estufa à 350 C durante 48 horas

Os ensaios foram realizados, após o tratamento térmico, quando os agregados lateríticos atingiram a temperatura ambiente.

ENSAIO	METODOLOGIA	PENEIRAS (mm)	OBSERVAÇÕES
1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS GRÁVOS E LEVÍSSIMOS	DNER - NE 83-63	PENEIRAS (mm) UTILIZADA (S) FRACÇÃO SEPARADA 25,4: 19,1. 9,5: 4,8: 2,0: 0,42 : 0,18: 0,075/10Kg	1.1 SECAGEM EM ESTUFA 110°C 1.2 VIA SECA
2. DENSIDADE E ABSORÇÃO DE AGREGADO GRÁVDO	DNER - NE 81-64	D > 2,0 mm - 1 Kg	SECAGEM EM ESTUFA A 110°C
3. DENSIDADE REAL DO AGREGADO LEVÍSSIMO	DNER - NE 81-64	0,75m < D < 2,0m - 500g	
4. MASSA ESPECÍFICA REAL DO FILLER	DNER - NE 84-64	D < 0,075 mm	UTILIZAÇÃO DE QUEROSE
5. RESISTÊNCIA DO AGREGADO AO ESMAGAMENTO	DNER - NE 42-71	AMOSTRA 127 - 9,5 mm SEPARAÇÃO DOS FINOS - 2,4mm	SECAGEM AO AR AVALIOU-SE O ESMAGAMENTO DO AGREGADO PELO MATERIAL QUE FICOU RETIDO NA PENEIRA DE 2,4 mm SEGUNDO O QUE DETERMINA A METODOLOGIA
6. AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO AGREGADO PELO MÉTODO 10% FINOS	DNER - NE 96-71	AMOSTRA - 12,7 mm - 9,5 mm SEPARAÇÃO DOS FINOS - 2,4mm	SECAGEM AO AR
7. DESGASTE DO AGREGADO POR ABRASÃO COM O EMPREGO DA MÁQUINA " LOS ANGELES "	DNER - 35-64	GRADUAÇÃO 19-12,7 - 2500 +/- 50g (B) 12,7-9,5- 2500 +/- 50g SEPARAÇÃO DOS FINOS - 1,7 mm	SECAGEM AO AR

QUADRO 4.1.2 - METODOLOGIA DE ENSAIO EMPREGADA PARA OS AGREGADOS UTILIZADOS NA PESQUISA.

ENSAIO	METODOLOGIA	OBSERVAÇÕES
1. ENSAIO MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS	DNER - NE 43/64	1.1 OS CORPOS DE PROVA FORAM AQUECIDOS EM ESTUFA A 60° C POR 2 HORAS E O NÚMERO DE GOLPES APLICADOS FOI DE 50 GOLPES POR FACE. 1.2 OBSERVOU-SE QUE DURANTE A EXECUÇÃO DO ENSAIO, HOUVE PERDAS DE FINOS: - NA SEPARAÇÃO DAS FRAÇÕES PARA AQUECIMENTO DO AGREGADOS - NA RETIRADA DA MISTURA PARA O MOLDE DE COMPACTAÇÃO, FICAVA FINOS RETIDOS NO VASILHAME UTILIZADO. 1.3 OS AGREGADOS LATERÍTICOS PARECIAM MUDAR A COLORAÇÃO QUANDO AQUECIDO, TORNANDO-SE MAIS VERMELHO E COM ASPECTO BRILHOSO.
2. DENSIDADE APARENTE DO CORPO DE PROVA DE MISTURAS BETUMINOSAS	DNER - NE 77/67	
3. EXTRAÇÃO DO LIGANTE DAS MISTURAS BETUMINOSAS	DNER - NE 53/63	3.1 - O CORPO DE PROVA ERA AQUECIDO E DESTORRADO 3.2 - FOI UTILIZADO A GASOLINA ADITIVADA EM LUGAR DO TETRACLÓRETO DE CARBONO 3.3 - O MATERIAL DE D < 9,5 mm ERA TOTALMENTE REJEITADO, POIS NÃO SERVIA PARA A PESQUISA. 3.4 - UTILIZOU-SE O APARELHO CONHECIDO COMO ROTAREX PARA EXTRAÇÃO DO BETUME
4. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA MISTURA DO AGREGADO	DNER - NE 83/63	VIA SECA

QUADRO 4.1.3 - METODOLOGIA DE ENSAIO EMPREGADA NAS MISTURAS BETUMINOSAS UTILIZADAS NA PESQUISA

ENSAIO	METODOLOGIA	OBSERVAÇÕES
1. DENSIDADE DE MATERIAIS BETUMINOSOS	DNER - NE 16/64	
2. PENETRAÇÃO DE MATERIAIS BETUMINOSOS	IBP/ABNT-NB 107/1970	ESTE ENSAIO SE DESTINA A MEDIR EMPÍRICAMENTE A CONSISTÊNCIA DO CIMENTO ASFÁLTICO, TENDO APENAS UM SIGNIFICADO PRÁTICO, NÃO PRODUZ, EM SI, BOAS OU MÁS QUALIDADES NO MATERIAL BETUMINOSO.
3. PONTO DE ANOLECIMENTO (ANEL E BOLA)	IBP/ABNT-NB-164	É UM OUTRO ENSAIO DE CONSISTÊNCIA QUE JUNTAMENTE COM O VALOR OBTIDO PARA A PENETRAÇÃO PERMITE DETERMINAR O VALOR NUMÉRICO QUE INDICA A SUSCEPTIBILIDADE TÉRMICA.
4. VISCOSIDADE SAYBOLT - FUROL DE MATERIAIS BETUMINOSOS.	IBP/ABNT-PNB 517 1970	ESTE ENSAIO SE DESTINA A MEDIR DE MANEIRA PRÁTICA A CONSISTÊNCIA DOS MATERIAIS BETUMINOSOS. NOS CIMENTOS ASFÁLTICOS A VISCOSIDADE É MEDIDA A 135°C DE ACORDO COM O MÉTODO. MAS É PRÁTICA CORRENTE DE TERMINAR-SE TAMBÉM A VISCOSIDADES A DIFERENTES TEMPERATURAS PARA A ESCOLHA CORRETA DA TEMPERATURA DOS MATERIAIS NA EXECUÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA DE ACORDO COM AS RECOMENDAÇÕES PRESCRITAS PARA O ENSAIO "MARSHALL"

QUADRO 4.1.4 - METODOLOGIA DE ENSAIO EMPREGADA PARA O CIMENTO ASFÁLTICO UTILIZADA NA PESQUISA.

CAPITULO V

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.0 - INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos nesta pesquisa, da seguinte maneira:

- caracterização dos materiais utilizados na pesquisa.
- efeito da secagem nos agregados lateríticos pesquisados avaliada pelos resultados dos ensaios de resistência ao esmagamento, abrasão "Los Angeles" e 10% de finos.
- avaliação comparativa do comportamento mecânico e físico dos agregados antes e após sua utilização em

AGREGADOS	PENEIRAS (mm) - % PASSANDO							
	25.4	19.1	9.5	4.8	2.0	0.42	0.18	0.074
AGREGADOS GRANULOS (LATERITA)	100	90	20	—	—	—	—	—
AGREGADOS MIÚDOS (P6 DE PEDRA)	100	100	100	100	80	34	16	7
" FILLER "	100	100	100	100	100	100	100	100
" MISTURA "	100	94,2	53,6	42,0	34,4	16,9	10,1	6,7
FAIXA " B " D.N.E.R.	95-100	80-100	45-80	28-60	20-45	10-32	8-20	3-8

QUADRO 5.1.1 - GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS GRANULOS, MIÚDOS E " FILLER " E DAS MISTURAS
 UTILIZADAS NA PRESENTE PESQUISA.

limites da faixa granulométrica B proposta pelo DNHR para misturas asfálticas. Este fato justifica a ausência de agregado laterítico com diâmetro inferior a 4,8 mm, o diâmetro máximo dos agregados lateríticos foi de 25,4mm. Para o resíduo de pedra granítica a análise granulométrica mostrou que a mesma apresenta diâmetro máximo de 4,8 mm e alta percentagem de partículas com diâmetro inferior a 0,42mm. Segundo a Especificação Brasileira EB-22/72, este material pode ser denominado de pedrisco (material originário da fragmentação de rocha, passando na peneira n^o 4). O "filler" se constituía de partículas com diâmetro inferiores a 0,074mm. A mistura de agregados constituída por 58% de agregado graúdo laterítico (para todos os agregados), 38% de resíduo de pedra britada granítica e 4% de "filler" enquadraram-se na faixa granulométrica adotada, porém como se pode observar no quadro 5.1.1, a percentagem do material passando em diversas peneiras para a mistura de agregados mostrou que apesar de obedecer a faixa granulométrica especificada, estes valores afastavam-se com maior ou menor variação da média da faixa. Porém enquadrar os agregados na média da faixa granulométrica não era objetivo desta pesquisa.

5.1.2 - Massa Específica Real dos Agregados Graúdos, Miúdo e Filler

A discussão sobre os resultados da massa específica real dos agregados graúdos lateríticos serão apresentadas mais adiante, quando se compara os valores obtidos antes e após o uso dos agregados pesquisados em concreto asfáltico. A massa

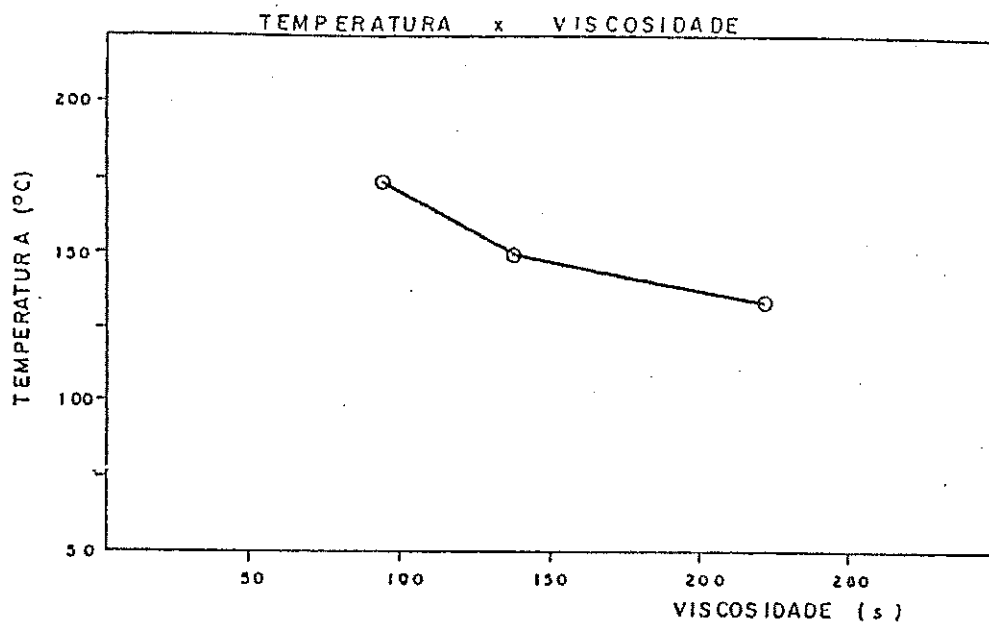
específica real para o agregado miúdo denominado resíduo de pedra granítica britada foi de $2,69 \text{ g/cm}^3$, e conforme mostrado no Quadro 5.2.2 compatível com os valores normalmente encontrados para materiais graníticos da região Nordeste do Brasil de acordo com estudos realizados por Macêdo (1989) Brasileiro (1983), Assis (1992). O "filler" apresentou massa específica de $2,60 \text{ g/cm}^3$ (média de três determinações), valor também compatível de massa específica real obtidos com agregados graúdos calcário fonte de origem do material pesquisado.

5.1.3 - Massa Específica Aparente dos Agregados Graúdos e Miúdo

A massa específica aparente do resíduo de pedra granítica britada, média de três determinações, foi de $2,5 \text{ g/cm}^3$, compatível com resultados obtidos para agregados graníticos da região de acordo com estudos realizados por Brasileiro (1983), Macêdo (1989) Assis (1992). A discussão dos resultados obtidos para a massa específica aparente dos agregados graúdos lateríticos serão apresentadas adiante, quando da comparação dos resultados obtidos para este parâmetro antes e após o uso do agregado em concreto betuminoso.

5.1.4 - Ensaio de Caracterização do Ligante

O Quadro 5.1.2, apresenta os resultados de ensaios para caracterização do ligante asfáltico (obtida pela média de no mínimo duas determinações). De acordo com as especificações atualmente em vigor, o ligante pode ser classificado como do tipo



— DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE AQUECIMENTO DE AGREGADOS, LIGANTE E MISTURA DESTES, PARA DOSAGEM MARSHALL.

TEMPERATURA DE AQUECIMENTO DOS MATERIAIS (°C)		
AGREGADOS	LIGANTE	MISTURA
177	168	150

CARACTERIZAÇÃO DO LIGANTE (CAP 50/60)			
E N S A I O			VALOR
PENETRAÇÃO (1/10mm/25°C/5 s)			59
PONTO DE FULGOR °C			268
VISCOSIDADE SAYBOLT-FUROL (s)	TEMPERATURA °C	135	220
		150	136
		175	92
ESPUMA A 175 °C			NÃO
PONTO DE AMOLECIMENTO (ANEL E BOLA) °C			52
ÍNDICE PFEIFFER			-0,31
DENSIDADE			1,01

QUADRO 51.2— CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO LIGANTE ASFÁLTICO USADO NA PESQUISA.

CAP 50/60 e apresenta características aceitáveis para utilização em obras de concreto betuminoso.

5.2 - Efeito da secagem nos agregados lateríticos pesquisados avaliada pelos resultados dos ensaios de resistência ao esmagamento, abrasão "Los Angeles" e 10% de finos.

- Os resultados obtidos nos ensaios de esmagamento, abrasão "Los Angeles" e 10% de finos são resultados da média de no mínimo duas determinações nos agregados gradados estudados e estão apresentados nos Quadros 5.1.3, 5.1.4, 5.1.5, 5.1.6, 5.1.7, e resumidos no Quadro 5.1.8. As Figuras 5.1.1, 5.1.2 e 5.1.3, representam graficamente estes resultados. A seguir apresenta-se a análise dos resultados obtidos para cada tipo de ensaio.

5.2.1 - Resistência ao Esmagamento

Embora não exista relação definida entre o valor do esmagamento e a resistência à compressão simples do concreto, este ensaio dá boa indicação quando se está estudando um agregado cujo desempenho é desconhecido, particularmente quando houver suspeita da resistência baixa, como por exemplo, nos casos de calcário, alguns granitos, basaltos e concreções lateríticas. O ensaio de esmagamento não é muito sensível a variação de resistência de agregados mais brandos, isto é, agregados com valor de esmagamento maior que 25 a 30%. Isto acontece porque tendo sido esmagado antes de atingir a carga total de 400KN,

esses materiais menos resistentes ficam a tal ponto compactados que é reduzido o esmagamento nos estágios subsequentes do ensaio. Esta consideração foi também observada por Loubser (1967) citado por Gidigasú (1975) em estudo sobre o comportamento de materiais lateríticos.

O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER exige que o agregado graúdo que se destina ao concreto deva apresentar os seguintes valores para resistência ao esmagamento.

- i) para concreto sujeito a desgaste superficial 65%
- ii) para outros concretos 55%

A British Standard - 882- 73 especifica que o agregado graúdo a ser utilizado em concreto deve apresentar perda máxima de 30% quando o agregado for usado em concreto sujeito a ação de desgaste superficial e 45% nos demais concretos. Observando os dados obtidos no Quadro 5.1.8, verifica-se que o efeito da secagem na resistência do agregado foi mais acentuada para o agregado ARPB, da ordem de 45,9% quando se compara os resultados obtidos para o esmagamento a temperatura ambiente, e com o agregado seco a 350 C. A menor variação foi obtida com o agregado CAPI, 8,4%, que por sua vez apresenta a maior resistência medida pelos ensaios de 10% de finos, resistência ao esmagamento e abrasão "Los Angeles" na temperatura ambiente. Pode ser observado também no Quadro 5.1.8 que os agregados JPPB e ARPB mesmo tendo atingido percentuais de aumento de resistência não conseguiram valores aceitáveis para aplicações em serviços sujeitos a desgaste, onde o DNER propõe o valor mínimo de 65%. Os

agregados CAPI, CTPB e TEPI aquecidos a 100 C já apresentam valores compatíveis. O agregado CAPI sofreu a maior redução de resistência, ao ser aquecido a 350 C voltando a apresentar resistência equiparada com a obtida para este agregado no estado natural. Estes dados permitiram deduzir que alguns agregados lateríticos são mais susceptíveis a variações de temperaturas que outros.

Segundo metodologia da norma inglesa, British Standard - BS 882-73, apenas os agregados CAPI e CTPB quando aquecidos a 200 C, poderiam ser utilizados em concreto sujeito a desgaste superficial, uma vez que apresentam desgaste inferior a 30%, conforme a citada norma. O agregado TEPI seco a 200 C passaria segundo a British Standard a ser aceito para concreto sujeito a desgaste superficial, este agregado até mesmo no estado natural satisfaz as exigências desta norma para os demais concretos, o que não acontece com os agregados JPPB e ARPB, que ao apresentarem desgaste superior a 45%, não devem ser utilizados em serviços de concreto.

Observando o Quadro 5.2.7, pode-se observar que a menor ou maior susceptibilidade térmica dos agregados pesquisados não podem ser atribuída a sua composição mineralógica, já que todos os agregados apresentam em sua estrutura praticamente os mesmos argilo minerais (caulinita, quartzo, hematita, goetita). Quanto a composição química das amostras dos agregados pesquisados, observa-se também a dificuldade de estabelecer-se uma correlação significativa entre as variações dos elementos químicos presentes em cada agregado e a variação ocorrida no valor da resistência dos agregados devido ao tratamento térmico.

A quantidade e o tipo de materiais amorfos presente na estrutura dos agregados, que possivelmente teriam sido cristalizados de maneira mais eficiente pelo efeito da secagem pode ser a causa nas variações dos resultados de resistências obtidos.

5.2.2 - Ensaio de Abrasão "Los Angeles"

O Ensaio por Abrasão "Los Angeles" combina o atrito e a abrasão sobre a massa de agregados procurando reproduzir o desgaste que o agregado irá sofrer no pavimento pela ação do tráfego ou pelo atrito interno das partículas entre si.

Apesar de mundialmente aceito, o ensaio de desgaste por abrasão "Los Angeles" é contestado a respeito de sua validade para avaliar a dureza e tenacidade dos agregados em serviço, existindo atualmente tendência para adotar-se diferentes limites de aceitação, dependendo do tipo de rocha e do serviço em que vai ser empregado o agregado.

Os resultados do ensaio de desgaste "Los Angeles" obtidos com os agregados usados nesta pesquisa, indicam melhoria de sua resistência com o aumento da temperatura de secagem, voltando a resistência a decrescer para faixa de temperatura variando entre 100 C à 200 C aproximadamente, com exceção para o agregado ARPB, que tratado a 350 C continuou a melhorar sua resistência. Considerando que o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) estabelece um valor máximo de desgaste da ordem de 50%, para utilização de agregados em concreto betuminoso, observa-se pelos resultados mostrados no Quadro

5.1.8. que os agregados CAPI e CTFB seriam os únicos a serem aceitos, nas condições de ensaio. Quando aquecidos a 100 C, o agregado TEPI atinge a condição de aceitável, o agregado ARPB atinge o limite de aceitação (LA < 50%) a 350 C apresentando desgaste de 48% nesta temperatura. O agregado JPPB mesmo com a secagem não atinge em nenhum nível de energia térmica valores aceitáveis pelo DNER para obras de concreto quando avaliado pelo desgaste por abrasão "Los Angeles".

O efeito da secagem foi mais expressivo no agregado ARPB, que apresentou uma melhora de resistência da ordem de 38,8% medida pelo ensaio de abrasão "Los Angeles" ao passar da temperatura ambiente para temperatura de 350 C. A menor variação de resistência com a secagem medida pelo ensaio "Los Angeles" foi com o agregado CAPI (7,4%), tido como o mais resistente na temperatura ambiente.

A especificação Japonesa (1978) limita em 30% a perda máxima permitida para o agregado grão avaliado pelo ensaio "Los Angeles" (LA) visando sua utilização em concreto betuminoso à quente. Pelos resultados obtidos nesta pesquisa nenhum dos agregados apresenta LA < 30% em qualquer temperatura, sendo portanto rejeitados para concreto betuminoso pela especificação Japonesa. A ASSHTO (1966) permite a utilização de agregados com percentagem de desgaste "Los Angeles" acima de 50% desde que a experiência tenha demonstrado seu bom comportamento (Souza, 1976).

O ensaio de abrasão "Los Angeles" pode fornecer resultados duvidosos quando utilizados para avaliar materiais fracos em virtude da massa pulverulenta que geralmente se forma

antes que as 500 revoluções sejam completadas. O material fino que se forma, provoca o efeito amortecedor sobre as partículas mais grossas, evitando desta forma que os efeitos abrasivos se desenvolvam naturalmente de acordo com os princípios do método. Este fato fica evidenciado quando se compara por exemplo os resultados obtidos de desgaste por abrasão "Los Angeles" por Macêdo (1989) com o agregado laterítico João Pessoa-Pb (JPPB), na graduação C, proposta pelo DNER, nestas condições Macêdo (1989) encontrou para o agregado JPPB no estado natural desgaste na faixa de 50,4%, chegando após tratamento térmico (175 C) a um valor máximo de 38,4%, passando nesta temperatura a satisfazer as especificações do DNER para concreto. Os resultados obtidos nesta pesquisa com o mesmo agregado através do ensaio de desgaste "Los Angeles" variou de 78,1% para o agregado no estado natural para um valor máximo de 65,5% quando o agregado foi seco a temperatura de 200 C.

As diferenças obtidas nestas duas pesquisas são em grande parte devido a variação na graduação do agregado, o que mostra a influência da granulometria do agregado no resultado do ensaio "Los Angeles", diferença esta não prevista pelo Road Research Laboratory, RRL (1962).

Como se observa, a influência da energia térmica nos parâmetros de engenharia é ainda relativamente limitada e em certos casos discutível, isto indica a necessidade de estudos específicos que tornariam possível uma melhor definição nas variações dos parâmetros dos solos que são afetados, com a indução da energia térmica.

5.2.3 - Ensaio de 10% de finos

Este ensaio foi desenvolvido com a finalidade de corrigir as deficiências verificadas no ensaio de esmagamento, em materiais pouco resistentes. Deve-se notar que neste ensaio um valor numérico mais alto indica resistência maior do agregado. O ensaio de 10% de finos mostra correlação significativamente boa para o ensaio normal de esmagamento no caso de agregados resistentes, enquanto que para os agregados mais fracos, o primeiro mostra-se mais sensível e representa melhor as diferenças entre as amostras mais ou menos brandas. Por este motivo, este ensaio é melhor para avaliação de agregados leves, mas não existe correlação simples entre o resultado do ensaio e o limite superior da resistência do concreto preparado com o agregado considerado (Neville, 1982).

A norma inglesa British Standard, BS - 882-73 estabelece o valor de 100KN para agregados que sejam usados em concretos resistentes e sujeitos a desgaste superficial e 50KN para outros concretos (Neville, 1982).

A realização do ensaio de 10% de finos com os agregados utilizados nesta pesquisa serviu como um reforço a afirmação de que o aumento da energia térmica, produz uma melhoria na resistência do agregado. O agregado ARPB, tido como o mais fraco, o de maior absorção à água apresentou um aumento de resistência de 150% ao comparar os resultados obtidos através do ensaio 10% de finos com o agregado (ARPB) no estado natural e seco a 350 C, verificando-se que mesmo tratado a 350 C o

agregado ARPB continuou apresentando ganho de resistência. Para os demais agregados, nota-se claramente que existe uma energia térmica ótima, que produz no agregado máxima resistência medida pelos ensaios realizados. O agregado TEPI variou sua resistência em 75,9% ao passar do estado natural à temperatura de secagem de 200 C. Para o agregado JFPB o aumento de resistência foi da ordem de 60% ao passar da temperatura ambiente para 200 C. O agregado CAPI teve um ganho de resistência da ordem de 30% ao passar da temperatura ambiente a 200 C, sendo portanto o menos susceptível a variação de temperatura. Como pode ser observado no Quadro S.1.8 todos os agregados tiveram sua resistência medida pelo ensaio de 10% de finos aumentada ao passar da temperatura ambiente para aproximadamente 200 C, exceção apenas para o agregado ARPB, que a 350 C continuou apresentando melhora de resistência.

Considerando os limites impostos pela norma inglesa British Standard, BS 882-73 que estabelece o valor de 100KN para agregados que sejam usados em concretos resistentes, o agregado CAPI passaria à condição de aceitável quando tratado à temperatura de 100 C, o mesmo ocorrendo com o agregado CTPB a 200 C. O agregado TEPI poderia ser utilizado em outros concretos (10% de finos > 50KN). Os agregados JFPB e ARPB seriam rejeitados por este órgão para fabricação de concreto (10% de finos < 50KN).

Segundo a classificação de Acroyd (1963), para agregados lateríticos da Nigéria, baseado no ensaio de 10% de finos, onde os agregados são considerados duros para valores acima de 80KN, médios, para valores entre 40KN e 80KN e fracos para valores

abaixo de 40KN, os agregados CAPI e CTFB seriam os únicos, que na temperatura ambiente poderiam ser classificados como duros. O agregado TEPI passaria da classificação de médio para duro, quando seco a 200 C. Os agregados JPPB e ARPB, nunca passariam da classificação de fracos, mesmo tendo ganho de resistência elevados com a secagem. Segundo O'flaherty (1974) os agregados para obras rodoviárias, não devem produzir 10% de finos com carga inferior a 80KN. Como se observa este ensaio permite uma melhor avaliação da resistência dos agregados mais brandos como é o caso dos agregados lateríticos JPPB e ARPB. De uma maneira geral todos os agregados pesquisados tiveram suas resistências medidas pelos ensaios de esmagamento, 10% de finos e Abrasão "Los Angeles", melhoradas com o tratamento térmico, fato este que comprova os estudos preliminares realizados por Macêdo e Brasileiro (1989) com agregados porosos (lateríticos e calcários).

Como sabe-se existem diversos tipos de água nos solos: água livre, água adsorvida, água coordenada e água zeolítica. A água livre é removida do solo por ação da gravidade e não há qualquer interação com a superfície interna ou externa do material. A água adsorvida está ligada a superfície dos materiais e necessita de energia mais elevada para a sua remoção e poderá estar ligada a minerais amorfos. A água coordenada está relacionada a cátions existentes na forma de sais solúveis e necessitam de energia ainda mais elevadas. Para os diversos tipos de águas, pode-se associar uma temperatura para a sua remoção por tratamento térmico: água livre - 110 C, água adsorvida - 200 C e água coordenada > 200 C. Deve-se ressaltar que propositalmente

não se considerou a água de hidróxido e água da camada octaédrica dos argilos minerais.

A análise termogravimétrica (ATG) dos solos estudados (Borba-1981) revelou os seguintes picos:

- o
110 C, correspondente à perda de umidade higroscópica;
- o o
110 C-220 (picos sobrepostos) referentes à perda de água dos compostos amorfos;
- o
320 C, correspondente à perda de água da goetita;
- o
530 C, correspondente à perda de água da caulinita.

Sugere-se que o aumento da resistência dos agregados lateríticos está relacionado a diminuição na quantidade de água existente no material ensaiado, que tanto pode ser devido a perda d'água higroscópica como a perda d'água de constituição dos amorfos que, segundo Lucena (1976), normalmente se deposita nas paredes dos canais capilares existentes no interior das concreções e que somente são desidratadas a temperatura entre
o o
150 C a 220 C, fato também verificado por Macêdo e Brasileiro (1988). A diminuição de resistência observada nos agregados estudados pode provavelmente ter sido provocado pela desagregação de "pseudo-nódulos" formado por estruturas cristalinas (por exemplo, caulinita, goetita, hematita) cimentadas por formas amorfas hidratadas. Este tipo de estrutura, foi verificada em estudos feitos por Queiroz de Carvalho (1983) em solos lateríticos concrecionários de diferentes formações geológicas. Também não pode se ignorar a hipótese de que dependendo da diferença observada, este fato pode ser explicado devido não se poder confirmar a eficiência dos ensaios

ENSAIOS	TEMPERATURA (°C)	RESULTADOS PARCIAIS	MÉDIA U	DESVIO PADRÃO	VARIACÃO Z	RESULTADOS OBTIDOS
ABRASÃO LOS ANGELES (KN)	AMBIENTE	35,4	35,2	0,20	- 0,57	35,2 +/- 0,20
		35,0			+ 0,57	
	100	31,0	32,6	1,13	- 4,91	32,6 +/- 1,13
		33,4			+ 2,45	
200	33,4	33,2	0,20	- 0,60	33,2 +/- 0,20	
	33,0			+ 0,60		
350	38,3	38,5	2,13	- 6,49	38,5 +/- 2,13	
	41,2			+ 7,01		
36,0						
	RESISTÊNCIA DO ESMAGAMENTO (KN)	AMBIENTE	68,0	69,1	1,55	- 1,59	69,1 +/- 1,55
71,3			+ 3,18			
100		75,1	74,9	0,18	- 0,27	74,9 +/- 0,18
		74,7			+ 0,27	
200	72,3	72,1	0,20	- 0,28	72,1 +/- 0,20	
	71,9			+ 0,28		
350	67,4	68,2	0,99	- 1,17	68,2 +/- 0,99	
	69,6			+ 2,05		
67,6						
	10% DE FINOS (KN)	AMBIENTE	75	87	8,52	- 13,79	87 +/- 8,52
94			+ 8,04			
100		128	134	4,89	- 4,47	134 +/- 4,89
		140			+ 4,47	
134						
	200	158	165	5,35	- 4,24	165 +/- 5,35
166		+ 3,64				
171						
	350	98	104	5,88	- 5,76	104 +/- 5,88
102		+ 7,69				
112						

QUADRO 5.1.3 - RESULTADO DOS ENSAIOS ABRASÃO LOS ANGELES RESISTÊNCIA DO ESMAGAMENTO E 10% DE FINOS DO AGREGADO LATERÍTICO CASTELO - PI (CAPI) A DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA TÉRMICA.

ENSAIOS	TEMPERATURA (°C)	RESULTADOS PARCIAIS	MÉDIA U	DESVIO PADRÃO	VARIACÃO Z	RESULTADOS OBTIDOS	
ABRASÃO LOS ANGELES (%)	AMBIENTE	63,4	64,3	0,90	- 1,40	64,3 +/- 0,90	
		65,2			+ 1,40		
	100	50,8	49,6	0,97	- 2,42	49,6 +/- 0,97	
		48,4 49,6			+ 2,42		
	200	45,3	45,2	0,10	- 0,22	45,2 +/- 0,10	
		45,1			+ 0,22		
	350	49,4	49,2	0,20	- 0,41	49,2 +/- 0,20	
		49,0			+ 0,41		
	RESISTÊNCIA DO ESMAGAMENTO (KN)	AMBIENTE	59,7	59,4	0,30	- 0,51	59,4 +/- 0,30
			59,1			+ 0,51	
		100	66,6	65,8	0,80	- 1,22	65,8 +/- 0,80
			65,0			+ 1,22	
200		70,6	70,1	0,50	- 0,71	70,1 +/- 0,50	
		69,6			+ 0,71		
350		63,8	64,0	0,20	- 0,31	64,0 +/- 0,20	
		64,2			+ 0,31		
10% DE FINOS (KN)		AMBIENTE	58	54	4,32	-11,11	54 +/- 4,32
			56			+ 7,44	
			48				
		100	80	78	2,00	- 2,56	78 +/- 2,00
	76		+ 2,56				
	200	97	95	1,63	- 2,11	95 +/- 1,63	
		93 95			+ 2,11		
	350	59	61	1,41	- 3,27	61 +/- 1,41	
		62 62			+ 1,64		

QUADRO 5.1.4 - RESULTADO DOS ENSAIOS ABRASÃO LOS ANGELES RESISTÊNCIA DO ESMAGAMENTO E 10% DE FINOS DO AGREGADO LATERÍTICO TERESINA - PI (TEPI) A DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA TÉRMICA.

ENSAIOS	TEMPERATURA (°C)	RESULTADOS PARCIAIS	MEDIA U	DESVIO PADRAO	VARIACAO Z	RESULTADOS OBTIDOS
ABRASAO LOS ANGELES (%)	AMBIENTE	46,8	46,3	0,50	- 1,08	46,3 +/- 0,50
		45,8			+ 1,08	
	100	40,6	40,5	0,10	- 0,25	40,5 +/- 0,10
		40,4			+ 0,25	
	200	37,4	37,4	1,71	- 5,61	37,4 +/- 1,71
		39,5 35,3			+ 5,61	
	350	48,1	48,0	0,10	- 0,21	48,0 +/- 0,10
		47,9			+ 0,21	
RESISTENCIA DO ESMAGAMENTO (%)	AMBIENTE	61,3	61,4	0,10	- 0,16	61,4 +/- 0,10
		61,5			+ 0,16	
	100	67,2	67,6	0,45	- 0,59	67,6 +/- 0,45
		68,1			+ 0,74	
	200	75,2	74,4	1,42	- 2,69	74,4 +/- 1,42
		72,4 75,6			+ 1,61	
	350	65,7	64,0	1,39	- 2,66	64,0 +/- 1,39
		62,3 64,0			+ 2,66	
10% DE FINOS DO AGREGADO (%)	AMBIENTE	78	83	3,74	- 6,02	83 +/- 3,74
		87 84			+ 4,82	
	100	98	92	5,35	- 7,61	92 +/- 5,35
		85 93			+ 6,52	
	200	107	108	4,55	- 4,63	108 +/- 4,55
		114 103			+ 5,56	
	350	65,7	64	1,39	- 2,66	64 +/- 1,39
		62,3 64,0			+ 2,66	

QUADRO 5.1.5 - RESULTADO DOS ENSAIOS ABRASAO LOS ANGELES RESISTENCIA DO ESMAGAMENTO E 10% DE FINOS DO AGREGADO LATERITICO CUITE - PB (CTPB) A DIFERENTES NIVEIS DE ENERGIA TERMICA.

ENSAIOS	TEMPERATURA (°C)	RESULTADOS PARCIAIS	MÉDIA U	DESVIO PADRÃO	VARIACÃO %	RESULTADOS OBTIDOS	
ABRASÃO LOS ANGELES (X)	AMBIENTE	78,5	78,1	0,40	- 0,51	78,1 +/- 0,40	
		77,7			+ 0,51		
	100	75,7	75,4	0,25	- 0,27	75,4 +/- 0,25	
		75,2			+ 0,40		
	200	63,4	63,5	0,10	- 0,16	63,5 +/- 0,10	
		63,6			+ 0,16		
	350	65,4	66,1	0,65	- 1,06	66,1 +/- 0,65	
		66,7			+ 0,91		
	RESISTÊNCIA DO ESMAGAMENTO (X)	AMBIENTE	41,8	42,2	0,35	- 0,95	42,2 +/- 0,35
			42,5			+ 0,71	
		100	48,9	47,2	1,21	- 2,12	47,2 +/- 1,21
			46,5			+ 3,60	
46,2							
200		49,2	50,4	1,07	- 2,38	50,4 +/- 1,07	
		51,8			+ 2,78		
		50,2					
350		48,3	46,3	1,42	- 2,38	46,3 +/- 1,42	
		45,2			+ 4,32		
		45,4					
10% DE FINOS (X)		AMBIENTE	15	15	1,00	- 6,66	15 +/- 1,00
	16		+ 6,66				
	14						
	100	23	22	2,94	- 18,18	22 +/- 2,94	
		18			+ 13,64		
		25					
	200	25	26	1,41	- 3,85	26 +/- 1,41	
		28			+ 7,69		
		25					
	350	19	24	3,56	- 20,83	24 +/- 3,55	
		27			+ 12,50		
		26					

QUADRO 5.1.6 - RESULTADO DOS ENSAIOS ABRASÃO LOS ANGELES RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO E 10% DE FINOS DO AGREGADO LATERÍTICO JOXO PESSOA - PB (JPPB) A DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA TÉRMICA.

ENSAIOS	TEMPERATURA (OC)	RESULTADOS PARCIAIS	MEDIA U	DESVIO PADRAO	VARIACAO Z	RESULTADOS OBTIDOS
ABRASAO LOS ANGELES (%)	AMBIENTE	79,2	78,4	0,80	- 1,02	78,4 +/- 0,80
		77,6			+ 1,02	
	100	73,2	72,6	0,65	- 0,96	72,6 +/- 0,65
		71,9			+ 0,83	
	200	56,0	55,2	0,80	- 3,13	55,2 +/- 0,8
		54,4			+ 3,13	
	350	46,0	48,0	2,00	- 1,83	48,0 +/- 2,0
		48,0			+ 3,16	
		50,0				
	RESISTENCIA DO ESMAGAMENTO (%)	AMBIENTE	31,3	33,1	1,28	- 5,44
33,9			+ 3,02			
34,1						
100		45,8	45,1	0,70	- 1,55	45,1 +/- 0,70
		44,4			+ 1,55	
200		43,5	45,3	1,80	- 3,97	45,3 +/- 1,80
		47,1			+ 3,97	
350		48,7	48,3	0,40	- 0,83	48,3 +/- 0,40
		47,9			+ 0,83	
10% DE FINOS (%)		AMBIENTE	13	12	1,00	- 8,33	12 +/- 1,00
	11		+ 8,33			
	100	14	15	1,41	- 6,67	15 +/- 1,41
		17			+ 13,33	
		14				
	200	18	20	1,63	- 10,00	20 +/- 1,63
		20			+ 10,00	
		22				
	350	31	30	1,41	- 6,67	30 +/- 1,41
		28			+ 3,33	
31						

QUADRO 5.1.7 - RESULTADO DOS ENSAIOS LOS ANGELES RESITENCIA DO ESMAGAMENTO E 10% DE FINOS DO AGREGADO LATERITICO AREIA-PB (ARPB) A DIFERENTES NIVEIS DE ENERGIA TERMICA.

ENSAIO	AGREGADO	TEMPERATURA (°C) / VALOR OBTIDO			
		AMBIENTE	100	200	350
ABRASÃO LOS ANGELES (%)	CAP I	35,2 ± 0,2	32,6 ± 1,1	33,2 ± 0,2	38,5 ± 2,1
	CTPB	46,3 ± 0,5	40,5 ± 0,1	37,4 ± 1,7	48,0 ± 0,1
	TEPI	64,3 ± 0,9	49,6 ± 1,0	45,2 ± 0,1	49,2 ± 0,2
	JPPB	78,1 ± 0,4	75,4 ± 0,3	63,5 ± 0,1	66,1 ± 0,7
	ARPB	78,4 ± 0,8	72,6 ± 0,7	55,2 ± 0,8	48,0 ± 2,0
RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO (%)	CAP I	69,1 ± 1,6	74,9 ± 0,2	72,1 ± 0,2	68,2 ± 1,0
	CTPB	61,4 ± 0,1	67,6 ± 0,5	74,4 ± 1,4	64,0 ± 1,4
	TEPI	59,4 ± 0,3	65,8 ± 0,8	70,1 ± 0,5	64,0 ± 0,2
	JPPB	42,2 ± 0,4	47,2 ± 1,2	50,4 ± 1,1	46,3 ± 1,4
	ARPB	33,1 ± 1,3	45,1 ± 0,7	45,3 ± 1,8	48,3 ± 0,4
10 % FINOS (KH)	CAP I	87 ± 2	134 ± 5	165 ± 5	104 ± 6
	CTPB	83 ± 4	92 ± 5	108 ± 5	64 ± 1
	TEPI	54 ± 4	78 ± 2	95 ± 2	61 ± 1
	JPPB	15 ± 1	22 ± 3	26 ± 1	24 ± 4
	ARPB	12 ± 1	15 ± 1	20 ± 2	30 ± 1

QUADRO 5.1.8 - RESUMO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS ABRASÃO LOS ANGELES, RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO E 10 % FINOS, DOS AGREGADOS LATERÍTICOS PESQUISADOS A DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA TÉRMICA.

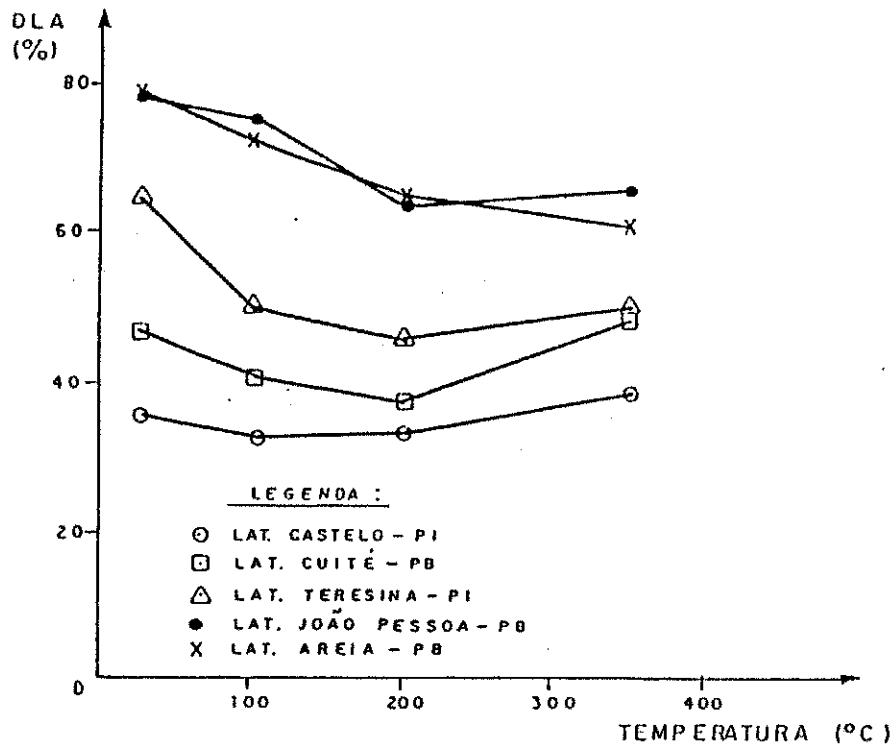


FIGURA 5.1.1-EFEITO DA ENERGIA TÉRMICA NO DESGASTE DE ABRASÃO LOS ANGELES DOS AGREGADOS LATERÍTICOS ESTUDADOS .

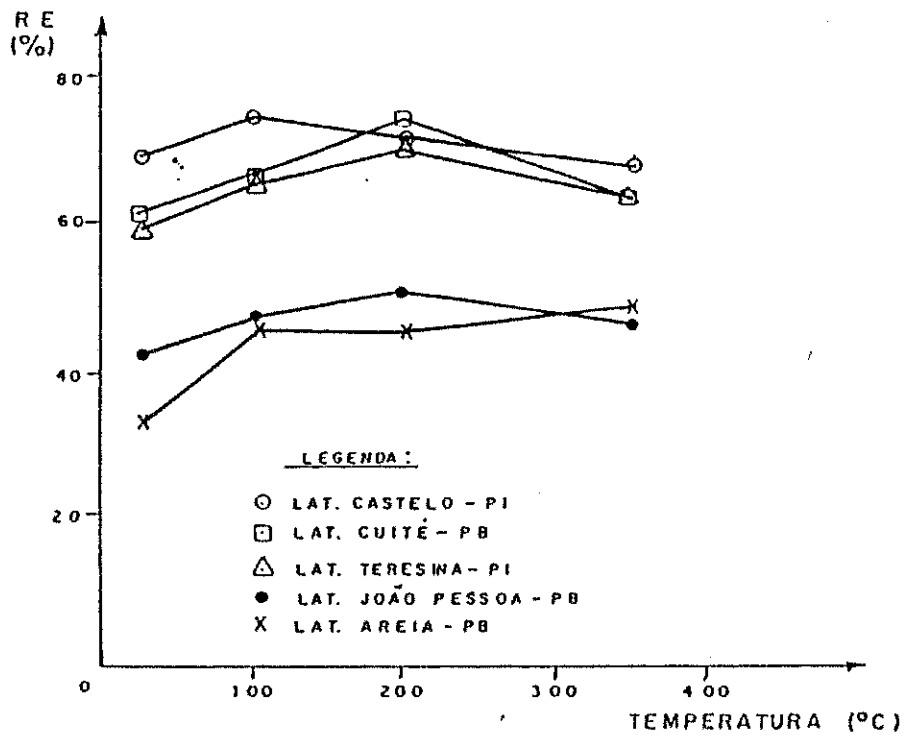


FIGURA 5.1.2- EFEITO DA ENERGIA TÉRMICA NA RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO DOS AGREGADOS LATERÍTICOS ESTUDADOS .

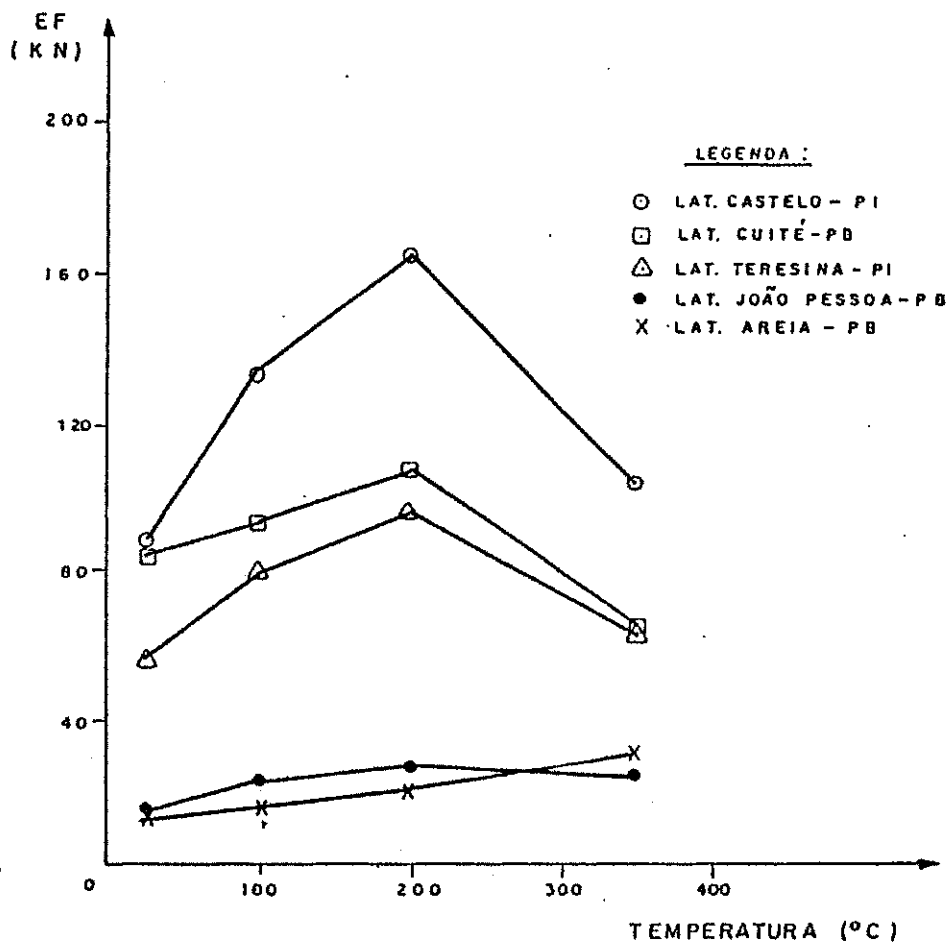


FIGURA 5.1.3-EFEITO DA ENERGIA TÉRMICA NA RESISTÊNCIA MECÂNICA MEDIDA PELO ENSAIO 10% DE FINOS NOS AGREGADOS ESTUDADOS .

de esmagamento, 10% de finos e abrasão "Los Angeles" para agregados porosos lateríticos.

5.3 - Avaliação Comparativa do Comportamento Mecânico e Físico dos Agregados antes e após sua utilização em concreto betuminoso.

O Quadro 5.1.1 mostra a granulometria dos agregados usados na pesquisa, assim como a mistura destes obedecendo a faixa granulométrica B proposta pelo DNER para misturas betuminosas, pois permite maior flexibilidade quanto ao uso de concreto betuminoso em camadas de ligação e rolamento. As Figuras 5.1.4, 5.1.5 e 5.1.6 mostram os gráficos obtidos dos resultados do ensaio MARSHALL utilizando os agregados lateríticos CAPI, CTPB e ARPB. O Quadro 5.1.9 mostra as características MARSHALL do concreto betuminoso fabricado com os agregados citados. Pelos resultados mostrados todas as misturas betuminosas apresentaram elevada estabilidade Marshall, fato já verificado anteriormente por Brasileiro (1983) e Macêdo (1989) com os agregados lateríticos de JFPB e SPFB quando utilizado em concreto betuminoso, confirmando também resultados obtidos por Tavares (1973) que obteve 12 KN para estabilidade utilizando agregado laterítico, o que valida a estabilidade de 8,2 KN obtida para mistura betuminosa fabricada com o agregado grão ARPB. As misturas betuminosas fabricadas com os agregados CAPI e CTPB, apresentaram de uma maneira geral valores de estabilidade, relação betume vazios, vazios da mistura e teor ótimo de ligante

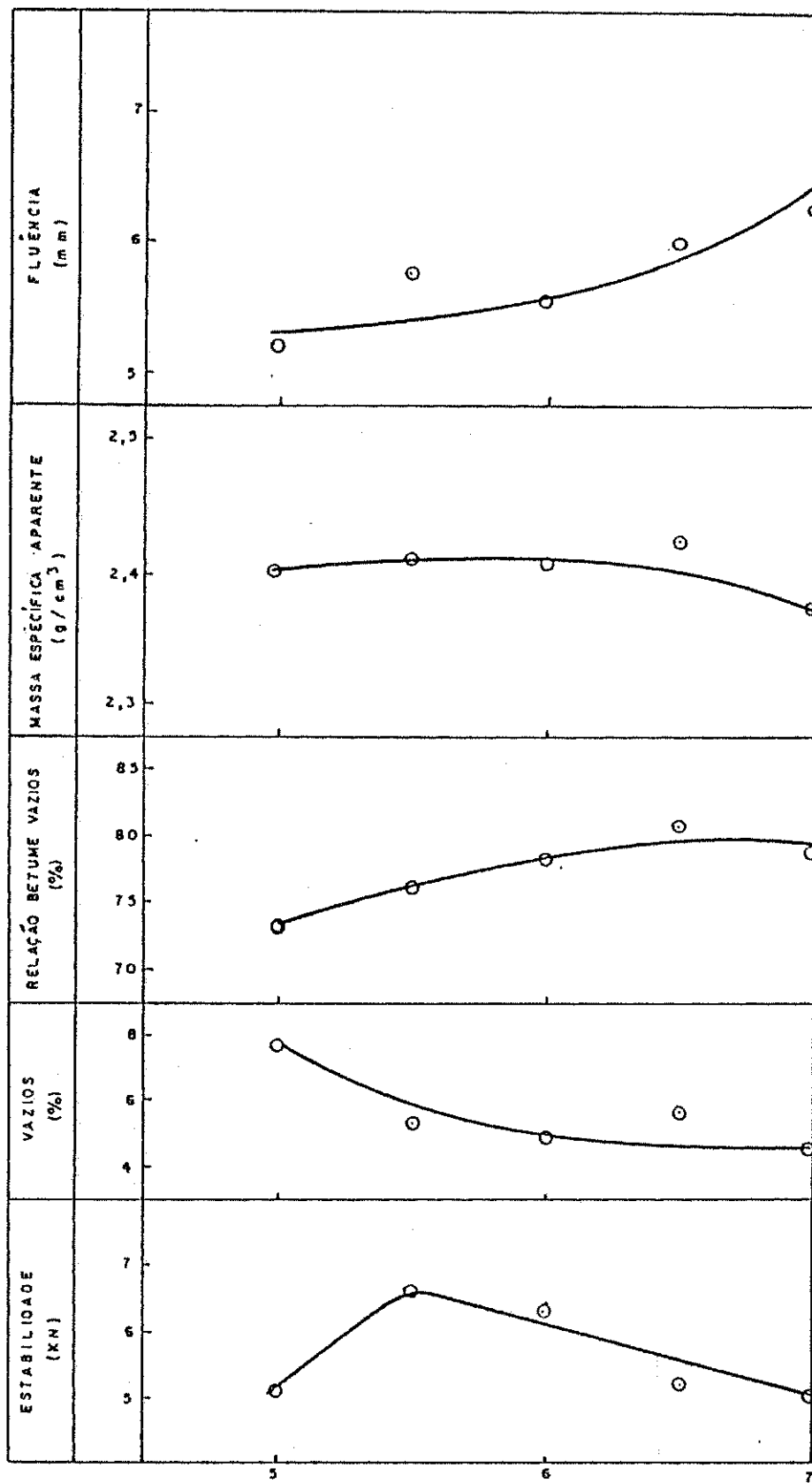


FIGURA 5.14 — RESULTADO DO ENSAIO MARSHALL PARA CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE, FABRICADO COM O AGREGADO GRAÚDO LATERÍTICO, CUITÉ-PB (СТРb).

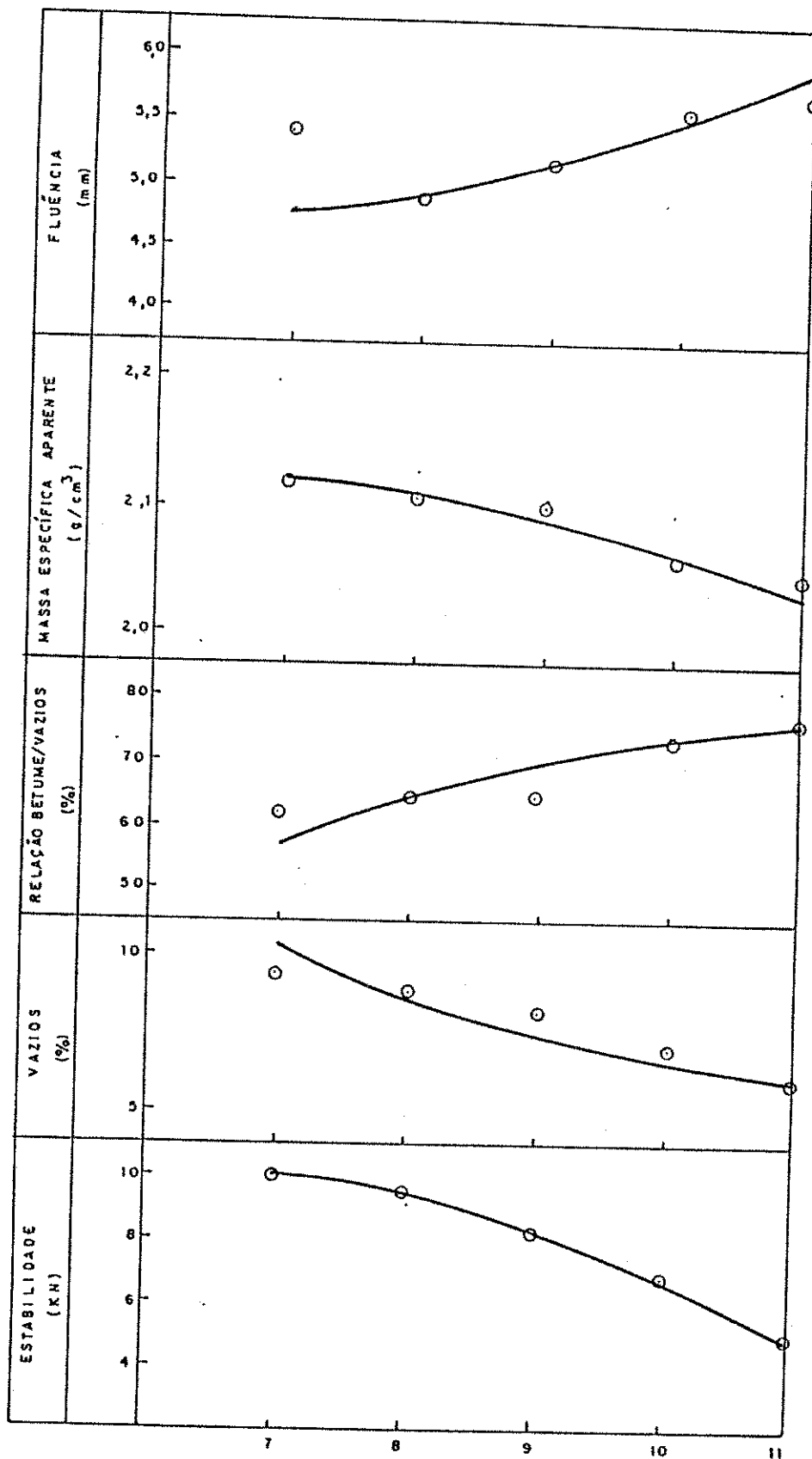


FIGURA 5.1.6-- RESULTADO DO ENSAIO MARSHALL PARA CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE, FABRICADO COM O AGREGADO GRAUDO LATERÍTICO, AREIA -PB (ARPb).

AGREGADOS	LATERITA CAPI	LATERITA CTPB	LATERITA ARPB
TEOR ÓTIMO DE LIGANTE (%)	6,0	6,2	9,0
ESTABILIDADE (KH)	6,5	5,9	8,2
FLUENCIA (mm)	5,8	5,8	5,2
MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm ³)	2,44	2,41	2,09
RBU (%)	77	79	70
UAM (%)	18,8	17,2	26,6
VAZIOS (%)	4,3	4,6	7,8

QUADRO 5.1.9 - CÁLCULO DO TEOR ÓTIMO DE LIGANTE PARA MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.

de acordo com as especificações vigentes do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER (1974) para concreto betuminoso em camada de rolamento ou de ligação "Binder" com associada à baixa relação "filler"/betume, verificada em todas as misturas estudadas permitindo assim flexibilidade acentuada quando estas misturas são submetidas a ruptura por compressão diametral no ensaio Marshall. Se por outro lado, a flexibilidade das misturas forem analisadas pela relação estabilidade/fluência, observa-se que os valores encontrados são baixos, CAPI (1,12 KN/mm), CTPB (1,0 KN/mm), ARPB (1,5 KN/mm) e de uma maneira geral, inferior ao mínimo permitido pelas especificações rodoviárias sul-Africana (1981) e Japonesa (1978) que exigem o mínimo de 1,5 KN/mm para regiões polares e com tráfego de leve a médio e 2,0 KN/mm para regiões montanhosas com tráfego pesado. Tal critério tem como finalidade prevenir falhas por fadiga em revestimentos asfálticos, geralmente caracterizados pelo aparecimento de trinca em forma de "Couro de Crocodilo".

Para a mistura asfáltica utilizando o agregado graúdo laterítico ARPB, verifica-se que apesar da alta estabilidade Marshall obtida (8,2KN), outros parâmetros como percentagem de vazios, relação betume vazios, vazios na mistura além da fluência tiveram valores não compatíveis com os permitido pelas especificações do DNER para mistura asfáltica, este fato pode ser explicado em grande parte pela alta absorção do agregado ARPB (12%) que torna difícil a doação de uma densidade efetiva da mistura, devido a grande diferença entre as massas específicas

reais deste agregado ($2,67\text{g/cm}^3$) e aparente ($2,07\text{g/cm}^3$), além da complexibilidade deste método. Porém de uma maneira geral é possível concluir que pode-se conseguir mistura betuminosa com agregados lateríticos dentro das especificações propostas pelo DNER para concreto betuminoso usinado à quente, fato também verificado por Chagas Filho (1986) para concreto de cimento Portland, utilizando agregados lateríticos, obtendo resultado de resistências próximas as obtidas quando utiliza-se o agregado granítico.

5.3.1 - Resistência ao esmagamento, 10% de finos e abrasão "Los Angeles" dos agregados CAPI-PI, CTPB-PB, ARPB-PB após sua utilização em concreto betuminoso.

O Quadro 5.2.1 mostra os resultados dos ensaios abrasão "Los Angeles", resistência ao esmagamento e 10% de finos dos agregados lateríticos CAPI, CTPB e ARPB, após extração do cimento asfáltico de corpo de prova de concreto betuminoso usinado à quente (CBUQ) seguindo a metodologia Marshall. A seguir serão analisados por ensaios realizados os resultados obtidos.

5.3.1.1 - Resistência ao Esmagamento

Com relação a resistência ao esmagamento, o agregado laterítico CAPI apresentou valor superior ao obtido para este agregado quando no estado natural, esta variação em torno de 4,7% é compatível com o resultado obtido para este agregado quando seco à ^o 200 C. Para o agregado laterítico CTPB esta variação ficou

em torno de 9,3% e aproximou-se do valor de resistência ao esmagamento obtida para este agregado quando seco a 100 C. Para o agregado laterítico ARPB esta variação ficou em torno de 72,3%, sendo superior inclusive a todos os valores obtidos para este agregado com tratamento térmico. A cristalização de materiais amorfos facilitada pela alta porosidade do agregado pode ter sido a causa do fato observado.

5.3.1.2 - Ensaio abrasão "Los Angeles"

O agregado CAPI após ser utilizado em concreto asfáltico, apresentou um desgaste por abrasão "Los Angeles" de 36,7% valor equivalente ao obtido com este agregado no estado natural. O agregado CTPB apresentou desgaste "Los Angeles" de 39,9% após extração do concreto asfáltico sendo superior ao resultado de "Los angeles" obtido com este agregado no estado natural na ordem de 13,8% e equiparado ao resultado obtido com este agregado após secagem a 100 C. O agregado ARPB apresentou após uso em concreto asfáltico "Los Angeles" de 60,5%, este valor é superior ao obtido para o agregado ARPB na temperatura ambiente e bem menor ao valor de desgaste obtido com este agregado seco a 350 C, conforme mostrado no Quadro 5.1.8.

5.3.1.3 - Ensaio 10% de finos

Neste ensaio todos os agregados após extraídos de concreto asfáltico apresentaram valores de resistência bem superiores aos obtidos com os agregados no estado natural.

O agregado CAPI apresentou resistência medida pelo ensaio de 10% de finos de 156KN sendo este resultado 79,3% superior ao obtido com o agregado no estado natural, este valor é equiparado com o obtido com este agregado tratado à aproximadamente 200 C. O agregado CTPB após ser usado em concreto asfáltico apresentou resistência medida pelo ensaio de 10% de finos de 120KN, valor este 44,6% superior ao obtido com este agregado no estado natural e superior a todos os valores obtidos para este agregado mesmo com a secagem. O agregado ARPE, após ser extraído de concreto asfáltico apresentou resistência medida pela ensaio de 10% de finos de 39KN (Ver Quadro 5.2.1) valor este bastante superior aos obtidos com este agregado no estado natural e quando secos a diferentes temperaturas, com relação ao valor obtido após extração e o obtido com este agregado na temperatura ambiente a diferença foi de 225%.

De um modo geral todos os agregados pesquisados, tiveram ganho de resistência após terem sido usado em concreto asfáltico, esta tendência ficou mais acentuada pelos resultados obtidos para o ensaio 10% de finos com os agregados estudados. Estes dados vem reforçar o fato de que a temperatura influencia as propriedades mecânicas de agregados porosos, já que os agregados foram aquecidos previamente a temperatura de aproximadamente 175 C antes de ser misturado ao agregado miúdo, "filler" e ligante asfáltico também aquecidos. As maiores variações de resistência ocorreram com o agregado ARPB, tido nesta pesquisa como o mais poroso, apresentando em consequência a maior absorção e a maior 5.2.6, respectivamente.

O pré-aquecimento destes agregados associado ao preenchimento de grande parte de vazios do mesmo por ligante asfáltico e por partículas finas de agregado miúdo aderidas ao ligante betuminoso, constituindo uma estrutura mais estável devido a cimentação de partículas ocorrida no interior da estrutura do agregado ARPB parecem ser em conjunto os responsáveis pelo elevado ganho de resistência deste agregado medido pelos ensaios de resistência ao esmagamento, 10% de finos e abrasão "Los Angeles". Chagas Filho (1986) também atribuiu a absorção de elementos cimentantes por parte do agregado laterítico, quando aplicados em concreto de cimento Portland, a elevação na resistência dos concretos fabricados com estes agregados conferindo-lhe maior capacidade de suporte de carga.

Analisando a composição química dos agregados estudados, obtida por Borba (1986) e mostrada no Quadro 5.2.6, nota-se que o teor de óxido de ferro, tem grande influência na dureza dos agregados, o que vem reforçar os estudos realizados por Maignen (1966). Este pesquisador concluiu em estudos com agregados lateríticos que a dureza destes é função do conteúdo de ferro. Porém o agregado laterítico JPPB, apesar da alta percentagem de óxido de ferro apresentada, mostrou-se como um dos agregados menos resistentes. Um fato também notável é quando se compara os resultados dos ensaios de resistência realizados, com o percentual de água higroscópica determinada para cada tipo de agregado e indicado no Quadro 5.2.6. Observa-se que, com exceção do agregado CAPI, quanto maior o percentual de água, menor é a

ENSAIO	AGREGADO	RESULTADOS PARCIAIS	MÉDIA \bar{x}	DESVIO PADRÃO	VARIAÇÃO %	RESULTADOS OBTIDOS	
ABRASÃO LOS ANGELES (%)	CAPI	37,0	36,7	0,35	-1,10	36,7 ± 0,35	
		36,3			a		+0,82
	CTPB	39,6	39,9	0,30	-0,75	39,9 ± 0,30	
		40,2			a		+0,75
	ARPB	61,6	60,4	1,15	-1,82	60,4 ± 1,15	
		59,3			a		+1,99
RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO (%)	CAPI	71,0	72,4	1,40	-1,93	72,4 ± 1,40	
		73,8			a		+1,93
	CTPB	65,9	67,1	1,15	-1,79	67,1 ± 1,15	
		68,2			a		+1,64
	ARPB	57,3	57,0	0,30	-0,53	57,0 ± 0,30	
		56,7			a		+0,53
10% DE FINOS (KN)	CAPI	159	156	2,94	-2,56	156 ± 2,94	
		152			a		
		157			+1,92		
	CTPB	121	120	4,55	-5,00	120 ± 4,55	
		114			a		
		125			+4,17		
	ARPB	37	39	1,41	-5,13	39 ± 1,41	
		40			a		
		40			+2,56		

QUADRO 5.2.1 - RESULTADOS DOS ENSAIOS ABRASÃO LOS ANGELES, RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO E 10 % DE FINOS DOS AGREGADOS LATERÍTICOS CAPI, CTPB e ARPB, APÓS EXTRAÇÃO DO LIGANTE ASFÁLTICO.

dureza do agregado ficando bem definido este fato com os valores de resistência medidas na temperatura ambiente. Portanto, a desidratação com perda de água higroscópica e da água presente nos materiais amorfos, parece ser o fator preponderante e que determina a melhoria de resistência do agregado, após tratamento térmico. Porém estas constatações, pelo limitado número de ensaios realizados e dados disponíveis, não podem ser generalizadas e requerem maior número de pesquisa sobre o assunto, sendo portanto os resultados obtidos apenas restritos a esta pesquisa.

5.4 - Absorção dos Agregados Gradados

Os Quadros 5.2.2 e 5.2.3, mostram os valores para a absorção a água após 24 horas de imersão dos agregados lateríticos CAPI, CTPB, TEPI, JFPB e ARPB, no estado natural, e dos agregados CAPI, CTPB e ARPB após extração do ligante asfáltico do concreto betuminoso fabricado com estes agregados. Pelos resultados obtidos para absorção dos agregados lateríticos no estado natural, observa-se grandes diferenças nos valores encontrado entre os agregados pesquisados. O que apresentou menor absorção a água foi o agregado CAPI na ordem de 2,74%, valor inferior ao obtido por Assis (1991) que obteve absorção a água de 4,5% para este agregado, fato que pode ser devido a diferença de metodologia aplicada entre essas duas pesquisas e até mesmo variação da amostra ensaiada, enquanto nesta pesquisa o ensaio foi realizado com pisolíticos lateríticos no estado natural, o pesquisador acima citado utilizou material britado de concreções

de maiores diâmetros desta jazida.

Os agregados CTPB e TEPI apresentaram absorção praticamente semelhante ou seja 3,5% e 3,80% respectivamente. Enquanto os agregados JPPB com 8,2% de absorção e o agregado ARPB com absorção de 12% foram os agregados tidos como mais porosos. Brasileiro (1983) encontrou para absorção do agregado JPPB valor de 9,4%, o que mostra a validade do resultado obtido para absorção com o referido agregado nesta pesquisa.

Estes resultados quando comparados com valores de absorção para agregados graníticos da região, apresentam valores bem superiores. Assis (1992) obteve para agregado granítico valor de absorção 0,24%, Macêdo (1989) obteve para agregado granítico absorção de 0,7%. De acordo com O'flaherty (1974), agregados a serem empregados em rodovias devem ter absorção limitada a 2% para agregados usados em revestimentos betuminosos enquanto que agregados com absorção superior a 4% podem ser utilizados para bases. Se levarmos em consideração estes valores como fator limitante percebemos que todos os agregados ensaiados não poderiam ser aplicados em concreto betuminoso pois apresentam absorção superior a 2%. Porém O'flaherty observa o lado benéfico dos agregados porosos devido a melhor adesão em razão do intertravamento mecânico causado pela penetração do ligante nas partículas.

Agregados com alta absorção a água poderão causar erro na determinação dos vazios de uma mistura betuminosa devido à acentuada diferença verificada entre as massas específicas real e aparente (Borba, 1986) quando analisamos os resultados da mistura Marshall fabricado com o agregado laterítico ARPB (absorção de

12%) verificou-se a dificuldade de obter parâmetros dentro das limitações impostas pelo método justamente devido ao alto teor de ligante exigido pelo agregado para sua estabilização. Com os agregados CAPI e CTPB de menor absorção, obteve-se melhores resultados para estabilidade, massa específica aparente, vazios, relação betume vazios e fluência das misturas asfálticas, o que demonstra a influência da absorção do agregado nas características de concreto betuminoso.

As especificações do DNER (1974) não estabelece limites de aceitação para absorção de agregados. A especificação Japonesa limita em 3% a absorção d'água pelo agregado grão, neste caso apenas o agregado CAPI atenderia essa especificação. De acordo com as especificações Sul Africana, nenhum dos agregados estudados atenderiam suas exigências que limita em 1% a absorção para o agregado grão. Na literatura pesquisada, Pompeu Neto (1976) Souto (1980) e Guimarães (1978) observaram valores para absorção entre 3 e 10% para agregados grãos lateríticos, o que torna válido os resultados obtidos nesta pesquisa apesar de valores superiores (12% para o agregado (ARPB) e inferiores (2,74% para o agregado CAPI), o que é justificável pela grande variedade de materiais lateríticos existentes.

Quando relaciona-se o valor da resistência dos agregados obtidos nesta pesquisa com valor da absorção desses agregados, observa-se que quanto maior a porosidade menos resistente é o material, este fato fica bem definido quando analisamos os valores de resistência obtidas para o agregado CAPI (AB = 2,74%), e os valores obtidos para o agregado ARPB (AB = 12%), enquanto o

A G R E G A D O S		LATERITA CAPI	LATERITA CTPB	LATERITA ARPB
TEOR ÓTIMO DE LIGANTE, (%)		6,0 (6,1)	6,2 (6,0)	9,0 (9,2)
MASSA ESPECÍFICA REAL (G/CM ³)		2,87	2,86	2,67
MASSA ESPECÍFICA APARENTE (G/CM ³)		2,72	2,71	2,07
ABSORÇÃO A ÁGUA 24 HORAS, (%)		2,74	3,52	12,03
VAZIOS %, $V_v = (1 - \frac{V_s}{V_t}) \times 100$		5,3	5,2	22,4
MASSA ESPECÍFICA TEÓRICA DA MISTURA (G/CM ³)	S/LIGANTE	2,787	2,782	2,674
	C/LIGANTE	2,440	2,410	2,090
APÓS EXTRAÇÃO	MASSA ESPECÍFICA REAL (G/CM ³)	2,80	2,80	2,36
	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (G/CM ³)	2,70	2,67	2,04
	ABSORÇÃO, (%)	2,72	2,92	7,60
	VAZIOS, (% V_v)	2,9	4,6	13,6
OBSERVAÇÕES: 1) OS VALORES MOSTRADOS ENTRE PARENTESES REFEREM-SE AOS TEORES MÉDIOS DE DE TRÊS AMOSTRAS APÓS EXTRAÇÃO.				
2) (M.E.R. P. DE PEDRA = 2,69 G/CM ³) (M.E.R. FILLER = 2,60 G/CM ³)				

QUADRO 5.2.2 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS AGREGADOS GRÁNDOS E DA MISTURA DE AGREGADOS UTILIZADOS NA PESQUISA.

ENSAIO	MATERIAIS	LATERITA CAPI	LATERITA CTPB	LATERITA ARPB	LATERITA JPPB	LATERITA TEPI
DESIDADE REAL ESTADO NATURAL (g/cm ³)	3	2,87 +/- 0,06	2,86 +/- 0,09	2,67 +/- 0,04	3,08 +/- 0,01	2,92 +/- 0,09
DENSIDADE REAL APÓS EXTRAÇÃO DO CIMENTO ASFÁLTICO (CBUQ) (g/cm ³)	3	2,80 +/- 0,02	2,80 +/- 0,05	2,36 +/- 0,03	-	-
DENSIDADE APARENTE NO ESTADO NATURAL (g/cm ³)	3	2,72 +/- 0,02	2,71 +/- 0,02	2,07 +/- 0,06	2,43 +/- 0,01	2,73 +/- 0,03
DENSIDADE APARENTE APÓS EXTRAÇÃO DO CIMENTO ASFÁLTICO (g/cm ³)	3	2,70 +/- 0,02	2,67 +/- 0,04	2,04 +/- 0,07	-	-
ABSORÇÃO NO ESTADO NATURAL (%)		2,74	3,52	12,03	8,20	3,80
ABSORÇÃO APÓS EXTRAÇÃO DO CIMENTO ASFÁLTICO (CBUQ) (%)		2,72	2,92	7,60	-	
UMIDADE NO ESTADO NATURAL (CBUQ) (%)		1,55	1,78	2,00	1,84	1,56

QUADRO 5.2.3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS AGREGADOS LATERÍTICOS DE CASTELO - PI TRESINA-PI, CUITÊ-PB, AREIA-PB e JOÃO PESSOA-PB ANTES SUA APLICAÇÃO EM CONCRETO BETUMINOSO USUADO À QUENTE.

primeiro apresentou a maior resistência entre os agregados pesquisados em todos os ensaios realizados, o segundo apresentou-se como menos resistente, seguido pelo agregado laterítico JPPB também de elevada absorção (8,2%). É bom salientar que o agregado ARPB (o mais poroso), apresentou-se mais susceptível a variação de temperatura, que os agregados menos porosos, o que demonstra a influência da temperatura na cimentação e desidratação de partículas constituintes do agregado.

5.5 - Características Físicas dos Agregados Graúdos Após Sua Utilização em Misturas Betuminosas

5.5.1 - Absorção

Pelos resultados obtidos, apresentados nos Quadros 5.2.2 e 5.2.3, observa-se que praticamente não houve redução no teor do ligante obtido pela metodologia utilizada para a extração do cimento asfáltico, em relação ao teor ótimo previamente determinado para a moldagem dos corpos de prova em laboratório, em alguns casos os resultados obtidos estiveram um pouco acima dos teores ótimos determinado para cada mistura o que demonstra que foram utilizados ligante em percentagem ligeiramente superior as pré-determinadas para a confecção de corpos de prova, problemas com a balança utilizada para pesagem de agregados e ligantes não podem ser descartados nesta análise. Porém esses fatos fogem aos objetivos da pesquisa daí sua abordagem restrita.

As perdas de absorção dos agregados graúdos foram maiores nas misturas betuminosas fabricadas com o agregado graúdo ARPB que passou de 12% no estado natural para 7,6% após extração do ligante asfáltico, este fato deve-se principalmente ao preenchimento dos poros do agregado por ligante asfáltico. A redução de absorção para os agregados CAPI e CTPB foram poucas acentuada, fato este que confirma as considerações de Vieira (1985) sobre o baixo poder de absorção dos agregados lateríticos aos derivados de petróleo em misturas betuminosas à frio, como também reforça as colocações feitas por Kandall (1972) onde afirma que nem todos os poros permeáveis a água tenham necessariamente de ser permeáveis ao ligante, considerando a oportunidade de que a absorção do asfalto pelo agregado pode estar muito relacionado às características dos poros e sua distribuição no interior dos agregados.

5.5.2 - Massa Específica Real do Agregado Graúdo

Os Quadros 5.2.2 e 5.2.4 mostram os valores para massa específica real dos agregados pesquisados antes e após serem utilizados em concreto betuminoso. Pelos resultados obtidos observa-se que os agregados graúdos Castelo-PI, Cuité-PB, Tesesi-na-PI, João Pessoa-PB e Areia-PB, apresentam massa específica reais de $2,87\text{g/cm}^3$, $2,86\text{g/cm}^3$, $2,92\text{g/cm}^3$, $3,08\text{g/cm}^3$ e $2,67\text{g/cm}^3$ respectivamente. Estes resultados vêm confirmar os aspectos abordados na literatura onde muitos pesquisadores afirmam que esta propriedades física está relacionada com os minerais

ENSAIO	AGREGADO	RESULTADOS INDIVIDUAIS	MÉDIA U	DESVIO PADRÃO	RESULTADOS OBTIDOS
MASSA ESPECÍFICA REAL DO AGREGADO LÁTERITICO NO ESTADO NATURAL (g/cm ³)	CAP I	2,82 2,95 2,85	2,87	0,06	2,87 +/- 0,06
	CTPB	2,94 2,73 2,90	2,86	0,09	2,86 +/- 0,09
	TEPI	2,92 3,02 2,91	2,92	0,09	2,92 +/- 0,09
	JPPB	3,08 3,08 3,07	3,08*	0,01	3,08 +/- 0,02
	ARPB	2,64 2,73 2,65	2,67	0,04	2,67 +/- 0,04
MASSA ESPECÍFICA REAL DO AGREGADO LÁTERITICO APÓS EXTRAÇÃO DO LIGANTE BETUMINOSO (g/cm ³)	CAP I	2,82 2,80 2,78	2,80	0,03	2,73 +/- 0,03
	CTPB	2,82 2,73 2,85	2,80	0,05	2,80 +/- 0,05
	ARPB	2,36 2,32 2,40	2,36	0,03	2,36 +/- 0,03
	JPPB *	-	2,32	-	-
* VALOR OBTIDO POR MACEDO e BRASILEIRO, (1987)					

QUADRO 5.2.4 - RESULTADO DO ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA REAL DOS AGREGADOS ESTUDADOS NO ESTADO NATURAL E APÓS EXTRAÇÃO DO LIGANTE ASFÁLTICO.

ENSAIOS	AGREGADO	RESULTADOS INDIVIDUAIS	MEDIA U	DESVIO PADRAO	RESULTADOS OBTIDOS
MASSA ESPECIFICA APARENTE DO AGREGADO LATERITICO NO ESTADO NATURAL (g/cm ³)	CAP I	2,74 2,72 2,69	2,72	0,02	2,72 +/- 0,02
	CTPB	2,68 2,73 2,71	2,71	0,02	2,71 +/- 0,02
	TEPI	2,72 2,77 2,69	2,73	0,03	2,73 +/- 0,03
	JPPB	2,42 2,43 2,44	2,43 [*]	0,01	2,43 +/- 0,01
	ARPB	2,05 2,00 2,15	2,07	0,06	2,07 +/- 0,06
MASSA ESPECIFICA APARENTE DO AGREGADO LATERITICO APÓS EXTRAÇÃO DO LIGANTE ASFALTICO (g/cm ³)	CAP I	2,70 2,68 2,72	2,70	0,02	2,70 +/- 0,02
	CTPB	2,70 2,10 2,66	2,67	0,04	2,67 +/- 0,04
	ARPB	2,10 2,08 1,95	2,04	0,07	2,04 +/- 0,07
	JPPB	2,10 1,95	2,10 [*]	-	-
* RESULTADOS OBTIDOS POR MACEDO e BRASILEIRO, 1987.					

QUADRO 5.2.5 - RESULTADO OBTIDO DO ENSAIO DE MASSA ESPECIFICA APARENTE DOS AGREGADOS LATERITICOS ESTUDADOS ANTES E APÓS A EXTRAÇÃO DO LIGANTE ASFALTICO.

constituintes principalmente nos materiais lateríticos onde a presença de óxido de ferro é marcante, apesar de não se ter encontrado correlação entre a massa específica real e o teor de óxido de ferro nos agregados, observa-se do Quadro 5.2.6, que o agregado laterítico ARPB com massa específica real de $2,67 \text{ g/cm}^3$ é o que apresenta a menor quantidade de óxido de ferro na sua estrutura.

Estudos realizados por Maignem (1966), Nascimento (1959), Gidigasú (1974), com agregados lateríticos, mostraram valores para massa específica real entre $2,5 \text{ g/cm}^3$ e $3,5 \text{ g/cm}^3$, o que demonstra a validade dos resultados obtidos nesta pesquisa. A especificação Japonesa fixa a $2,45 \text{ g/cm}^3$, o valor da massa específica do agregado. No Brasil não é exigido tal recomendação, no entanto não se recomenda a utilização de agregados graúdos com baixa massa específica em concreto betuminoso pelo baixo valor de suporte produzido em misturas.

Observando os valores obtidos no Quadro 5.2.4 nota-se que a massa específica real dos agregados após serem usados em concreto asfáltico apresentaram redução em todas as amostras ensaiadas, uma vez que há penetração de ligante nos poros permeáveis do agregado, fazendo com que haja redução no volume de vazios permeáveis. A maior redução da massa específica real obtida nesta pesquisa foi para o agregado ARPB que passou de $2,67 \text{ g/cm}^3$ no estado natural para $2,36 \text{ g/cm}^3$ após ser usado em concreto asfáltico, sofrendo uma redução em uma massa específica real de 11,6% aproximadamente, este agregado como já foi dito é que apresenta maior absorção entre os pesquisados, fato este que explica a grande redução na sua massa específica real. Os

agregados CAPI e CTPB tiveram redução de 4,8% e 2,1% respectivamente na sua massa específica, o que é justificado pela baixa absorção destes agregados (Ver Quadro 5.2.2).

5.5.3 - Massa Específica Aparente do Agregado Graúdo

Os Quadros 5.2.2 e 5.2.5 mostram respectivamente, os valores obtidos para a massa específica aparente dos agregados antes e após sua utilização em concreto betuminoso. Pelos resultados obtidos observa-se que os agregados graúdos Castelo-PI, Cuité-PB, Teresina-PI, João Pessoa-PB e Areia-PB, apresentam massa específica aparente de $2,72\text{g/cm}^3$, $2,71\text{g/cm}^3$, $2,73\text{g/cm}^3$, $2,43\text{g/cm}^3$ e $2,07\text{g/cm}^3$ respectivamente. Já a massa específica aparente, após extração conforme mostrado no Quadro 5.2.5 apresentam alterações bem menos significativas já que em seu cálculo não são levados em consideração os vazios permeáveis, os valores obtidos foram de $2,70\text{g/cm}^3$, $2,65\text{g/cm}^3$, $2,05\text{g/cm}^3$ para os agregados CAPI, CTPB e ARPB respectivamente.

Finalmente, pode-se afirmar que os resultados obtidos para a massa específica real, massa específica aparente e absorção situam-se dentro do intervalo de variação frequentemente encontrado para estes agregados lateríticos conforme estudos de Kandahal (1972), Pompeu Neto (1976), Costa (1983) e Chagas Filho (1986). O resumo destes ensaios são apresentados no Quadro 5.2.3.

SOLO	Z SiO ₂	Z Al ₂ O ₃	Z Fe ₂ O ₃	Z TiO ₂	Z MnO	Z MgO	Z CaO	Z K ₂ O	Z P ₂ O	Z Na ₂ O	Z Cr ₂ O	Z H ₂ O
CAPI	26,34	15,17	43,49	1,40	0,02	0,28	0,09	0,02	0,12	0,64	0,11	12,32
CTPB	35,46	17,87	33,93	1,01	0,00	0,28	0,08	0,11	0,05	0,22	0,06	10,93
TEPI	36,73	17,56	32,10	0,93	0,00	0,23	0,08	0,17	0,02	0,31	0,03	11,84
JPPB	25,74	19,52	36,62	2,51	0,00	0,31	0,09	0,06	0,02	0,58	0,09	14,46
ARPB	29,51	21,87	29,52	2,66	0,04	0,35	0,08	0,02	0,08	0,46	0,12	15,29

QUADRO 5.2.6 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS ESTUDADOS

FRAÇÃO: 2 cm EM DIÂMETRO MÉTODO: FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

FONTE: BORBA (1986)

SOLOS	FRAÇÃO	CONSTITUINTES MINERALÓGICOS	
		DEFINIDO	FRACO
JPPB	3/8 "	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATÁSIO
ARPB	3/8 "	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	-
CTPB	3/8 "	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATÁSIO
TEPI	3/8 "	CAULINITA, QUARTZO, MICROLINA, GOETITA	ANATÁSIO
CAPI	3/8 "	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATÁSIO

QUADRO 5.2.7 - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA POR DIFRAÇÃO DE RAIO X

FONTE: BORBA (1986)

CAPITULO VI

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- 1 - O tratamento térmico nos agregados lateríticos determinaram um ganho de resistência, quando analisados pelos resultados dos ensaios de resistência ao esmagamento, 10% de fino e abrasão "Los Angeles". Todavia este aumento de resistência com a secagem tende a um valor máximo à aproximadamente entre 100 C e 200 C, tendendo a estabilizar-se ou a decrescer.
- 2 - Dos agregados lateríticos pesquisados, o agregado ARPB (de maior absorção) apresentou a maior variação de resistência com o tratamento térmico, e mesmo tratado a 350 C continuou ganhando resistência ao contrário dos demais agregados.
- 3 - Os agregados lateríticos CAPI, CTPB, com "Los Angeles" menor que 50%, satisfazem as especificações do DNER para uso em concreto betuminoso mesmo sem tratamento térmico. O agregado TEPI atinge limite de aceitação a aproximadamente 200 C. O agregado JPPB, mesmo com tratamento térmico, não satisfaz em momento algum as especificações ora vigentes do DNER para utilização em concreto betuminoso, já o agregado ARPB quando tratado a 350 C atinge o limite de aceitação, porém, sua utilização em concreto betuminoso deve ser criteriosa devido a sua altíssima absorção.

- 4 - A absorção da água é uma característica de fundamental importância do agregado laterítico, e que deve ser indicativo preliminar de suas propriedades mecânicas.
- 5 - A maior redução na massa específica real, ocorreu com o agregado laterítico tido como o mais poroso entre os pesquisados.
- 6 - Os concretos betuminosos usinado a quente fabricados com os agregados empregados nesta pesquisa não diferenciaram entre si quanto as condições de estabilidade, densidade aparente e fluência quando medidas através do ensaio Marshall. A diferença entre as misturas é observada quando se analisa a percentagem de vazios.
- 7 - Os agregados lateríticos após extração do ligante asfáltico de concreto betuminoso, apresentaram redução na sua absorção, percentagem de vazios e massa específica real, bem como uma tendência bastante acentuada de ganho de resistência.
- 8 - A rejeição de agregados de acordo com as normas vigentes, principalmente na fabricação de concreto, usinado à quente onde o agregado é pré-aquecido, pode representar erro de avaliação em laboratório do comportamento em serviço do material, que pode ter obtido ganho de resistência quando aquecido.

9 - A análise conjunta dos resultados dos ensaios de 10% de finos, resistência ao esmagamento e abrasão "Los Angeles" permitem melhor avaliar a resistência do agregado.

10- Agregados lateríticos com absorção a água inferior a 5%, tem apresentado excelente comportamento quando aplicados em concreto betuminosos usinado a quente em laboratório.

11- A secagem prévia dos agregados lateríticos a temperatura próxima de 200 C durante no mínimo 24 horas é de fundamental importância na avaliação dos resultados de resistência obtida para estes tipos de materiais. Sugerindo-se assim uma revisão da metodologia de ensaios tradicionais, quando aplicados a agregados porosos.

Embora válidas, estas conclusões estão limitadas a abrangência desta pesquisa.

CAPITULO VII

Sugestões para Futuras Pesquisas

Dado o caráter limitado desta pesquisa, sugere-se a sua continuidade, onde se procure:

- 1 - desenvolver estudos similares (acrescentando o ensaio de resistência ao impacto) ao presente nesta pesquisa, para outros agregados lateríticos de diferentes origens e formações, objetivando generalizações mais significativas.
- 2 - relacionar o ganho de resistência com a secagem de agregados lateríticos com suas propriedades químicas e mineralógicas.
- 3 - correlacionar a absorção de agregados porosos (lateríticos ou calcários) com suas propriedades físicas e mecânicas.
- 4 - estudar a influência da secagem em agregados porosos, com tempo de secagem inferiores ao utilizado nesta pesquisa, bem como menor intervalo de temperatura.
- 5 - avaliar a repetibilidade e reproducibilidade dos ensaios de resistência ao esmagamento, 10% de finos, abrasão "Los Angeles" e Impacto, quando aplicado a agregados porosos de origem calcária ou laterítica.
- 6 - pesquisar uma especificação ou normalização para o uso de agregados porosos lateríticos ou calcários.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acroyd, L.W., Notes on Crushing Strength of Some Western Nigerian Concretionary Gravels and Their Selection For Use as Building Material, Minot. W. Nigeria, 1960.
- Acroyd, L.W., Correlation Between Engineering and Pedological Classification Systems in Western Nigeria and its Implications, Proc. 3rd Reg. Conf. Afr. Soil Mech. Found. Eng., Salisbury, 1963.
- Acroyd, L.W., Formation and Properties of Concretionary and non Concretionary Soil in Western Nigeria, Proc. 4th Reg. Conf. Afr. Soil Mech. Found. Eng., Cape Town, 1967.
- Alexander, L.I. and Cady, J.G., Genesis and Hardening of Laterite Soils, U.S. Dept. Agric. Tech., 1962.
- American Association of State Highway and Transportation Officials - ASSHTO, Manual de Construção Rodoviária, Práticas e métodos, Traduzido por Bejamim B. Fraenkel, Agência Norte Americana para o Desenvolvimento Internacional - USAID, Rio de Janeiro, 1966.
- Assis, Vladimi, J.D., Costa, C.R.V e Ferreira, H.C., Aplicação de Ensaios não Destrutivos para Caracterização de Concretos Confeccionados a Base de Agregados Convencionais e Alternativos - 25a Reunião Anual de Pavimentação, São Paulo, outubro de 1991a.

- Assis, Vladimi, J.D., Avaliação da Qualidade de Concretos Convencionais e Alternativos por Meios de Ensaio Destrutivos e não Destrutivos. Tese MSc. UFPE, 1992.
- Beaton, J.L. and ASCE, F., Making Highways Skid Proof. Materials and Research Division of Highways, Sacramento, Califórnia, 1971.
- Bhatia, H.S. and Hammond, A. A., Durability and Strength Properties of Laterite Aggregates of Ghana, Build. Rod. Inst., Ghana, 1970.
- Birman, S., Concreto Asfáltico, Associação Brasileira de Pavimentação - ABPV, X Reunião Anual de Pavimentação, Bahia, 1969.
- Borba, S.M. de C., Estudo das Propriedades Químicas e Mineralógicas de Solos Vermelhos Tropicais do Norte e Nordeste do Brasil, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 1981.
- Brande, E.W. and Hongnoi, M., Effects of Method of Preparation on Compaction and Strength Characteristics of Lateritic Soils, Proc. of Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soil, Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, México, vol.1, 1969, pp 107-116.
- Brasileiro, F.E., Estudo Comparativo do Comportamento de Concretos Betuminosos à Quente, Fabricados com Agregados Grãos Convencionais e não Convencionais, Quando Utilizado o Ensaio

de Estabilidade Marshall, Tese de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 1983.

British Standards Institution, B.S. 882, Sampling and Testing of Mineral Aggregates, Sands and Fillers, B.S.I., London, 1960.

British Standards Institution, B.S. 882, Concrete Aggregates and Buildings Sands from Natural Sources, B.S.I., London, 1960.

Brito, W.J. de, O Uso de Agregado Natural nas Obras do Aeroporto de Belém, Revista Construção No 68, 1962.

Brito, W.J. de, Uso da Laterita Pisolítica em Pavimentação, W.J. Brito Consultoria Técnica, Pará, 1978.

Carletti, H., Solo Laterítico como Agregado de Pré-Misturado à Quente, Serviço de Engenharia do Ministério da Aeronáutica, Serviço Federal, Brasil, 1972.

Carneiro, F.B.L.C. e Monteiro da Silva, H.C., Degradação dos Agregados nas Camadas de Base de Brita Graduada e de Revestimento de Concreto Asfáltico de Petróleo, 4^o encontro de Asfalto, Rio de Janeiro, 1979.

Carvalho, J. Camapum de, Influência das Energias Térmicas e Mecânicas em Propriedades de Engenharia selecionadas de Alguns Solos Lateríticos do Norte e Nordeste do Brasil, Tese MSc, UFPB, 1981.

Chagas Filho, M.B., Concreções Lateríticas: Propriedades Básicas e sua Utilização em Vigas Isostáticas Submetidas a Flexão

Simplex, Tese de Mestrado, UFPB, 1986.

Costa, C.R.V., Índice de Suporte Califórnia para Solos Lateríticos: Avaliação da Metodologia e Influência dos Efeitos das Energias Térmicas e Mecânicas, Tese de Mestrado, UFPB, 1983.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - D.N.E.R., Especificações Gerais para Obras Rodoviárias, D.N.E.R., Rio de Janeiro, 1974.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - D.N.E.R., Métodos e Instruções de Ensaio, D.N.E.R., Rio de Janeiro, 1974.

Departamento Nacional da Produção Mineral, Levantamento de Recursos Naturais, Projeto RADAM, Brasil, 1974.

Desphand, T.L., Greeland, D.J. and Quirk, J.P., Role of Iron Oxides in the Bonding of Soil particles, vol 201, 1964, pp. 107-108.

Diniz, A.A., Resistência a Compressão Simplex para Solos Lateríticos. Avaliação da Metodologia e Influências dos Efeitos da Temperatura de Secagem e Energia Mecânica, Tese MSc, UFPB, 1984.

Ferreira, A.M., Influência do Tempo de Percolação e da Acidez da Água nas Características de Resistência ao Cisalhamento e Permeabilidade de um Solo Vermelho do Estado da Paraíba, Tese MSc, UFPB, 1976.

- Frost, R.J., Importance of Correct Pretest Preparation of Some Tropical Soils, Proc. First Southeast Asian Regional Conference on Soil Engineering, Bangkok, 1967.
- Gidigasú, M.D., Degree of Weathering in the Identification of Laterite Materials for Engineering Purposes, Engineering Geology, Amsterdam, 1974.
- Gidigasú, M.D., The Foundation and General Characteristics of Laterite Soils, Literature Review (Revised Edition), Building and Road Research Institute, Kumasi, Ghana, 1975a.
- Gidigasú, M.D., Laterite Soil Engineering Elsevier, Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1976.
- Gidigasú, M.D., Some Contributions to Tropical Soils Engineering in Ghana, Seventh Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Accra, 1980.
- Gidigasú, M.D., and Yeboa, S.L., Significance of Pretesting Preparations in Evaluating Index Properties of Laterite Materials, Highway Res. Rec., No 405, 1972, pp- 105-116.
- Grimaux, M. Bilan, Régional de L'utilisation des Matériaux Calcaires, Laboratoire Régional de Saint Quentin, France, 1978
- Guimarães, J.E.T., Calcários e Dolomitas no Brasil - Usos e Mercados, Associação Brasileira dos Produtores de Cal - ABFC, São Paulo, 1978.

Haantjens, H.A. and Rutherford, G.K., Soil Zonality and Parent Rock in a Very Wet Mountain Region, Proc. 8th Int. conf. of Soil Sci., Bucharest, in Press, 1964a.

Haantjens, H.A., Soils of the Buna - Kokoda Area, C.S.I.R.O. Australia, M 10: part VII, 1964b, pp-69-88.

Haantjens, H.A. and Rutherford, G. K., Soils of the Wabagtari Land Res.Series, C.S.I.R.O. Australia, M 15, part. VI, 1965, pp. 85-99.

Haantjens, H.A., Detailed Description and Some Analytical Data of Soil Families in the Sofia - Pongani Area, Territory of Papua and New Guinea, Tech. Memo 66/7, C.S.I.R.O. Australia, 1966.

Handbook of Highway Engineering, Robert F. Baker, Editor, L.G. Byrd, D. Grant Mickle, Associate Editors, United States of America, 1975.

Hettiger, M., de Calcaire Bur Dans les Assises de Chaussées, Revue Général des Routes Et des Aérodrames, M 514, Paris, 1975.

Hueem, Francis, N., Palestras Properties no Brasil por Francis N. Hueem, IPR/CNPq, Rio de Janeiro, 1963.

Kandhal, P.S. and Lee, D. Asphalt Absorption as Related to Pore Characteristics of Aggregates, Highway Res. Rec., vol. 404, England, 1972.

- Lambe, T.W., A Mechanistic Picture of Shear Strength in Clay, Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE, June 1960, pp. 555-580.
- Lima, R.C., Estudo da Repetibilidade do Ensaio de Granulometria; Análise e Relação Existente entre Energias Térmicas e Mecânicas e Composição Química, Tese MSc, UFPB, 1983.
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil - L.N.E.C., As Características do Ultramar Português. Memória n^o 141, Ministério das Obras Públicas e do Ultramar, Lisboa, (1959).
- Lohnes, R. A. and Demirel, T., Geotechnical Properties of Selected Puerto Rican Soils in Relation to Climate and Parent Rock, Geol., Soc. Amer. Bull. 82, 1971.
- Lucena, F.B., Propriedades de Solos Vermelhos do Estado da Paraíba. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro COPPE, Rio de Janeiro, RJ, 1976.
- Lyon Associates Inc. and Brazilian National Highway Department by W.J. Morin and Peter C. Todor, Laterite and Lateritic Soils and Other Problem Soils of the Tropics, vol. I, 1975.
- Macêdo, J.A.G., Brasileiro, F.E., Características Físicas e Mecânicas de Agregados Graúdos Lateríticos, Após Extração em Concreto Betuminoso Usinado à Quente - 22^a RAPV- Maceió - Brasil 1987, pg. 92-105.

- Macêdo, J.A.G., Estudo Comparativo das Características Físicas e Mecânicas de Agregados Graúdos Convencionais Visando suas Aplicações em Concreto Betuminoso Usinado à Quente. Tese de Mestrado, UFPB, 1989.
- Macêdo, J.A., Brasileiro, F.E., Ferreira, H.C., Influência da Temperatura de Secagem na Resistência de Agregados Graúdos Medida pelo Ensaio Los Angeles, UFPB, 1989 - 23^a RAP.
- Maignen, R. Review of Research on Laterites, Natural Resour., Res, IV, Unesco, Paris, 1966.
- Malomo, S.S., 1974, Engineering Characteristics of Laterites, Msc.Thesis, Department of Earth Sciences, University of Leeds, England, 89 p.
- McIntyre, D.S., Effect of Free Iron Oxide on Soil Structure, J.Soil Sci., 1956.
- Moh, Z.A. Chiech and Mozhar, M.F., Effects of Method of Preparation on Index Properties of Lateritic Soils. Proc. of Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, México, Vol. I, 1969, pp. 23-25.
- Mourier, D., L'Utilisation des Granulats Calcaires en renforcements Coordonnés, Revue Générale Des Routes Et Des Aérodrames, n^o 537, Paris, 1977.
- Martin, J.R. and Wallace, H.A., Design and Construction of Asphalt Pavements, McGraw-Hill Book Company Inc., USA, 1958.

Nanda, R.L. and Krishnamachari, R., Study of Soft Aggregates from Different Parts of India with a View to Their Use in Construction, II - Laterites, Central Road Research Institute, New Delhi, 1958.

Nascimento, V., Laterites of Portuguese Overseas Territories, Nasc. Civil Eng. Lab., Mem., 141, Lisboa, 1959.

National Institute for Transport and Road Research - NITRR, Draft TRH 14, Technical Recommendations for Highways, Standards for Road Construction Materials, Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, South Africa, 1981.

Netterberg, F., Calcrete in Road Construction, National Institute for Transport and Road Research - NITRR, Bulletin 10, Pretória, South Africa, 1971.

Neville, A.M., Propriedades do Concreto, Traduzido por Salvador E. Giamuso, Editora PINI Ltda, São Paulo, 1982.

Newill, D., A Laboratory Investigation of Two Red Clays from Kenya, Geotechnique, n^o 11: 4, 1961, pp. 302-318.

Novais Ferreira, H. and Meireles, J.M.F., Influência nas Propriedades Geotécnicas de Solos Lateríticos de Umedecimento e da Temperatura, Laboratório de Engenharia de Angola, Publicação n^o 164, Luanda, pp. 251-259, 1972.

O'flaherty, C.A., Highway Engineering, vol 2, Edward Arnold (Publishers) Ltda., London, 1974.

Pavement Division of Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Reports for Pavement Problems in Japan, Use of Marginal Aggregates in Pavement Construction, JAPAN, 1978.

Pompeu Neto, B.B., Um Estudo sobre as Propriedades de Resistência Mecânica de Concreto Laterítico, Tese de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 1976.

Queiroz de Carvalho, J.B., Study of the Microstructure of Lateritic Concretionary Soils Using Scanning Electron Microscope, Anais do International Seminar on Laterisation Processes, IAGC, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 1983, pp.

Queiroz de Carvalho, J.B., Peculiarities of Geotechnical Behavior of Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, Geotechnical Classification, Progress Report, Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, ABMS, São Paulo, 1985.

Queiroz de Carvalho, J.B., 1991, Microstructure of Concretionary Lateritic Soils, Anais do IX Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol. 1, pg. 117-128.

Road Research Laboratory - RRL, Bituminous Materials in Road Construction, Her Majesty's Stationery Office, London, 1962.

Santana, H. e Gontijo, P.R.A., Os Materiais Lateríticos na pavimentação de Baixo Custo no Brasil, Associação Brasileira de Pavimentação - ABPU, XXII Reunião Anual de Pavimentação, Alagoas, 1987.

- Silveira, Luiz, C.S., Plasticidade de Solos Lateríticos: Métodos de Ensaio e Efeitos da Temperatura de Secagem, Tese MSc UFPB, Campina Grande, 1984.
- Shuster, Durability of Lateritic Gravels, Australian Road Research, vol.4, n^o 5, Austrália, 1970.
- Souto, J.F., Estudo sobre Características de Concreto Laterítico: Propriedades e Metodologias, Tese MSc, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, 1980.
- Souza, M.L., Pavimentação Rodoviária, IPR/DNER, Rio de Janeiro, 1976.
- Tavares, A.W., Pré-Misturado à Quente de Laterita Betume, Belém, Brasil, 1973.
- Tavares, A.W., Laterita-Betume Pré-Misturado à Quente, Departamento Nacional de Estradas de Rodagens - DNER., Instituto de Pesquisa Rodoviária, IPR, Rio de Janeiro, 1979.
- Terzaghi, K., Design and Performances of Sasumua Dorn, Proc. Institution of Civil Engineers, London, vol.9, 1958, pp. 369-395.
- Townsend, F.C., Manke, P.G. and Parcker, J.V., The Influence of Sesquioxides on Lateritic Soil Properties, H.R.B., n^o 374, 1971.

Vallerga, B.A., Shuster, J.A., Love, A.L. and Van Til C.J., 1969
Engineering Study of Laterite and Lateritic Soils in
Connection with Construction of Roads, Highway and Airfields,
U.S. Agency for International Development, 165, pp.

Vieira, R.I., Pré-Misturado Laterítico de Graduação Aberta -
Revestimento Betuminoso Experimental - XX Reunião Anual de
Pavimentação, Associação Brasileira - ABPU, Ceará, 1985.

West, T.R., Test for Evaluating Degradation of Base Course
Aggregates, Highway Research Board - HRB., National Academy
of Sciences, EUA, 1970.

Yossef, M.S., Sabry, A. and El Famil, A.H., Temperature Changes
and Their Effects on some Physical Properties of Soils, Proc.
th
5 Int. Conf. on S.M.F.E., vol. I, 1961, pp. 419-421.