

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS ARTIFICIAIS DE ARGILA CALCINADA PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

Fernando Gomes da Silva Batista

8º Batalhão de Engenharia de Construção

Luiz Antônio Silveira Lopes

Curso de Pós-Graduação em Transportes

Instituto Militar de Engenharia - IME

Álvaro Vieira

Seção de Engenharia de Fortificação e Construção

Instituto Militar de Engenharia - IME

RESUMO

O trabalho apresenta os resultados referentes à caracterização dos agregados de argila calcinada produzidos em laboratório. São estudadas diversas amostras de solos, provenientes da região de Santarém-PA. Inicialmente são analisadas as características físicas, químicas e mineralógicas dos solos, e posteriormente são selecionadas algumas amostras para a produção do agregado. A escolha definitiva do solo que foi utilizado no estudo é realizada com os solos que apresentaram melhores resultados nos ensaios preliminares de caracterização dos agregados artificiais produzidos. Foram realizados ensaios complementares com esses agregados para verificação da sua resistência mecânica. Utilizou-se a argila calcinada em substituição ao agregado tradicional para a execução de ensaios em misturas asfálticas, realizando a dosagem pelo método Marshall e analisando os resultados de fadiga e módulo de resiliência para os corpos-de-prova produzidos no teor ótimo.

ABSTRACT

This study presents the characterization results of calcined clay aggregates. Several soil samples from Santarém-PA had been studied. First the physical, chemical and mineralogical properties of the soils are studied, and then the samples for the production of the aggregates are chosen. The final choice was made by using the soils samples that presented the best results in some preliminary characterization tests with the produced aggregates. Other tests were performed in order to analyze the mechanical resistance of the aggregate. The calcined clay aggregate was used instead of regular aggregates in asphalt mixes. The Marshall test procedure was used and it was also performed fatigue and resilient modulus analysis with samples at the optimum asphalt content.

1. INTRODUÇÃO

Areia e pedra britada são insumos que se caracterizam pelo baixo valor unitário e pelos grandes volumes consumidos. O transporte responde – em termos médios - por cerca de 2/3 do preço final do produto, o que impõe a necessidade de produzi-las o mais próximo possível do mercado. O maior problema para o aproveitamento das reservas existentes é a urbanização crescente que restringe a extração de importantes depósitos. A ocupação do entorno de pedreiras por habitações e as restrições ambientais à utilização de várzeas e leitos de rios para extração de areia limitam, cada vez mais, a operação das lavras. Em consequência, novas áreas de extração estão cada vez mais distantes dos pontos de consumo, encarecendo o preço final dos produtos (Chiari, 2002).

O principal fator condicionante do projeto e execução de pavimentos rodoviários na região amazônica é a escassez de agregados pétreos naturais, o que torna economicamente inviável o emprego de bases granulares e misturas asfálticas convencionais. Por outro lado, a abundância e variedade dos solos finos na região constituem um natural atrativo à produção de agregados artificiais calcinados.

Durante os anos 60, através da CINASA (atual CINEXPAN), deu-se início a produção de agregados de argila expandida no Brasil. A sua utilização como agregado em pavimentação rodoviária se limita, entretanto, a algumas obras de pontes e viadutos e a um trecho

experimental construído em 1982 pelo DNIT. Este trecho se constituiu na etapa final de uma grande pesquisa iniciada pelo órgão no final dos anos 70, na qual foram realizadas algumas considerações sobre o agregado de argila calcinada (DNER, 1981).

Nos dias atuais, a tecnologia de produção e emprego de agregados de argila expandida é razoavelmente conhecida pelo meio técnico, porém os elevados custos de produção desse agregado acabam por inviabilizar economicamente o seu emprego em serviços de pavimentação rodoviária. Estudos anteriores realizados pelo DNER (1981) e pelo IME (1998 e 2000) já demonstraram a possibilidade da obtenção de agregados artificiais de argila calcinada a custos significativamente inferiores aos da argila expandida, o que pode se constituir numa alternativa técnica atraente para a região amazônica.

De maneira geral entende-se por agregado artificial (ou agregado sintético) de argila, o agregado produzido com a utilização de solos argilosos. Pode ser classificado como expandido se apresenta um inchamento quando queimado a temperaturas superiores a 1100°C ou não expandido, sendo este último também denominado de agregado de argila calcinada ou de argila queimada, não apresentando inchamento e sendo queimado a temperaturas de cerca de 900°C.

O desenvolvimento de estudos relacionados à produção de agregados artificiais no Brasil – particularmente para emprego em serviços de pavimentação rodoviária na região amazônica – têm-se direcionado à obtenção de agregados de *argila calcinada* e não *expandida*, pois esta necessita de maiores temperaturas de aquecimento para atingir o início do processo de pré-fusão, encarecendo o seu custo.

2. ARGILA CALCINADA E EXPANDIDA

A técnica de se “queimar” argilas para obtenção de agregados para uso rodoviário é relativamente antiga, tendo sido desenvolvida há cerca de 86 anos. O empreiteiro e fabricante de tijolos STEPHEN J. HAYDE, da cidade de Kansas, em Missouri, EUA, é apontado como o criador da indústria de argila expandida. Tentando resolver um problema de inchamento anormal dos tijolos fabricados com alguns folhelhos argilosos, acabou criando toda uma indústria de agregados leves. Haydes patenteou o seu processo em fevereiro de 1918 e desde então o emprego deste agregado evoluiu e espalhou-se rapidamente, sendo utilizado tanto para fins estruturais quanto para pavimentação rodoviária.

Agregados leves de argila vêm sendo largamente utilizados pela indústria de elementos pré-moldados de concreto armado e protendido, em todos os tipos de construção civil. Uma das obras que mais despertou a atenção dos profissionais da época para as grandes vantagens técnicas do uso da argila expandida foi a construção da ponte sobre a baía de Oakland, em São Francisco. Estima-se que a redução de peso, proporcionada pelo seu uso no revestimento do tabuleiro da ponte foi da ordem de 134 kg/m², possibilitando uma economia no custo total da estrutura de cerca de três milhões de dólares, em valores da época da construção (1936).

O emprego da argila expandida em pavimentos rodoviários começou na década de 50, também nos Estados Unidos, baseado em estudos pioneiros da Universidade Texas A & M. Posteriormente, o estado da Louisiana desenvolveu estudos no mesmo sentido, sendo que atualmente a técnica do emprego desse agregado em misturas betuminosas e tratamentos

superficiais para rodovias já está bastante difundida. É importante ressaltar que a argila expandida tem revelado um comportamento melhor do que os agregados tradicionais quando empregada na execução de tratamentos superficiais e de camadas antiderrapantes para pavimentos (DNER, 1981).

Com relação à produção dos agregados de argila, Lees (1938) descreve a metodologia empregada na Guiana Inglesa na década de trinta para obtenção destes agregados para uso em construção rodoviária. Através de um dispositivo bastante simples, toras de madeira eram utilizadas para se fazer um colchão de 10 x 15 m, com 0,60 m de espessura, sobre o qual se colocava uma camada de 0,60 m de solo argiloso a ser queimado, conforme mostrado na Figura 1 (Vieira, 2000).

Após a operação de queima, que durava de 6 a 8 horas, novas camadas de lenha e argila, com as mesmas espessuras anteriores eram alternadamente sobrepostas, até que um total de 4 camadas de solo fossem queimadas. Extinto o fogo, 5 a 6 dias eram necessários para o resfriamento e a utilização dos agregados produzidos. Relatos de Grainger (1951) do *Road Research Laboratory - RRL*, da Inglaterra, mencionam o fato de que para cada jarda cúbica ($0,76\text{m}^3$) de agregado produzido havia a necessidade de se queimar um peso equivalente de lenha, e que somente em temperaturas acima de 500°C obtinha-se agregado com boa resistência. O agregado obtido através da queima nestes dispositivos, de acordo com os relatos, teria um bom comportamento como material de revestimento primário e também em misturas betuminosas para confecção de revestimentos (Vieira, 2000).

A matéria prima para a produção dos agregados leves de argila expandida é a argila natural, com determinadas características químicas quando submetida a altas temperaturas. A fabricação industrial de agregados de argila expandida emprega como matéria-prima argilas e folhelhos argilosos, com características expansivas que, depois de beneficiados, são queimados a temperaturas acima de 1100°C . Durante a queima, são liberados gases, em um processo de fusão incipiente, que provocam a expansão do material beneficiado. A argila expandida é produzida em grandes fornos rotativos, transformando a matéria prima em um produto leve, de elevada resistência mecânica, ao fogo e aos principais ambientes alcalinos e ácidos, como os outros materiais cerâmicos. Ela se apresenta em forma de bolinhas de cerâmica leves e arredondadas, com uma estrutura interna formada por uma espuma cerâmica com micro poros e com uma casca rígida e resistente. O agregado expandido possui propriedades específicas, como a durabilidade, leveza, resistência mecânica, incombustibilidade e inércia química, sendo adequados para uso em concreto leve estrutural, isolamento térmico, regularização de pisos, isolamento acústico, blocos de concreto leve, placas, painéis e jardinagem.

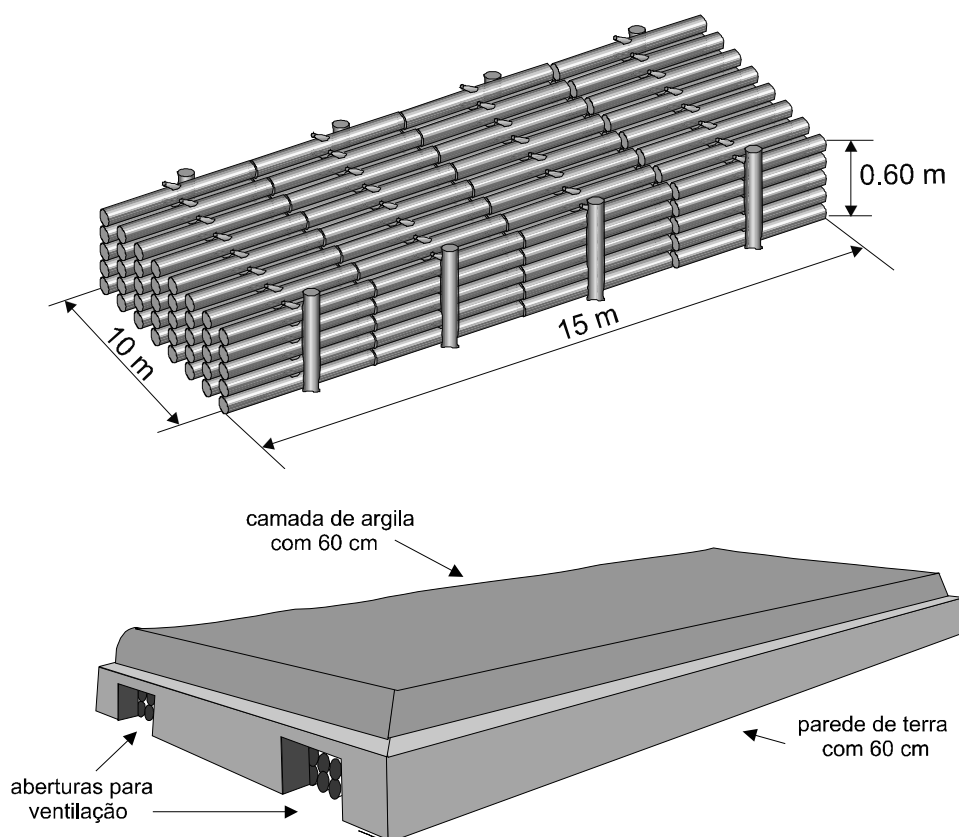


Figura 1: Produção artesanal de agregados de argila na Guiana (Vieira, 2000)

A produção de argila calcinada não requer matéria prima com características expansivas e sua obtenção pode ser feita a temperaturas de cerca de 900°C. Não sendo necessária a presença de minerais expansivos, torna viável o emprego da maioria dos solos argilosos como matéria prima. Resultados experimentais obtidos pelo DNER (1981) e pelo CETEM (1972 e 1997) têm evidenciado que grande parte das argilas muito plásticas, que, quando moldadas em forma de pequenas pelotas ou cilindros e secas ao ar apresentem boa resistência à compressão manual, podem estar aptas à fabricação destes agregados. Estas argilas, quando calcinadas a temperatura abaixo da temperatura de fusão, fornecem agregados com peso específico maior do que se expandissem, sendo, assim, mais adequadas ao emprego em misturas asfálticas.

Segundo estudos realizados pelo DNER (1981), acredita-se que em geral as amostras propícias para a fabricação de cerâmica vermelha são também aptas para a fabricação de agregados artificiais de argila. No Brasil, as argilas utilizadas para fabricação de tijolos de

alvenaria, tijolos furados e extrudados e telhas de vários tipos são normalmente argilas sedimentares, terciárias e quaternárias, de deposição recente em várzeas e margens de rios. Assim, não há distribuição preferencial dessas argilas pelas regiões do Brasil, exceto o fato de se acharem nas bacias fluviais (Norton, 1973).

3. PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS DE ARGILA CALCINADA

Para o desenvolvimento do presente estudo, foram obtidas 55 (cinquenta e cinco) amostras de solos do subleito da rodovia BR-163, trecho Santarém/PA – Rurópolis/PA, obtidas a intervalos de 1km entre os km 163 e 217. As amostras recebidas foram caracterizadas e foram selecionadas algumas delas para a produção dos agregados artificiais de argila, como mostra a tabela 1. A granulometria da fração fina dos solos foi realizada no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), com o uso do equipamento Micromeritics Sedigraph 5100, o qual se mostrou muito mais preciso e rápido do que o tradicional ensaio de granulometria por sedimentação.

Tabela 1: Caracterização das amostras selecionadas para a produção de agregados

Amostra	Ensaio Físicos			Granulometria (finos)	
	LL%	LP%	IP%	% silte	% argila
164	49,0	26,2	22,8	20,81	41,32
172	62,0	33,5	28,5	6,72	70,01

Além das amostras do subleito da BR-163 foram recolhidas posteriormente outras amostras de beira de rio da região metropolitana de Santarém, muito utilizadas pelas olarias locais.

O estudo dedicou-se inicialmente à pesquisa de um equipamento de laboratório capaz de produzir um agregado de boa qualidade e em grandes quantidades, e que pudesse servir de modelo para uma futura produção industrial. Foram pesquisados diversos fabricantes de extrusoras (também conhecidas industrialmente como “marombas”), geralmente utilizadas pela indústria cerâmica para a produção de tijolos, chegando-se ao modelo de laboratório apresentado na Figura 2. Constatou-se que a extrusora produz uma barra bastante compactada, reduzindo o índice de vazios do agregado e possibilitando uma velocidade muito maior de produção, em relação à produção manual. Visando estudar o melhor formato para os agregados, foram confeccionadas sob encomenda 6 boquilhas de diferentes formatos e diâmetros de saída, ilustradas na Figura 3, permitindo a variação do formato da seção da barra prismática.

Os primeiros resultados obtidos com os solos em estudo (km 164 e km 172) produziram agregados frágeis, facilmente quebráveis com as mãos, tanto para os produzidos através das formas de madeira quanto para os produzidos na maromba. Após pesquisa e análise do ocorrido, chegou-se a conclusão que um dos fatores que influenciaram nos resultados foi o tempo de secagem prévia ao ar, que inicialmente foi de 24 a 48h. Concluiu-se também que este deveria ser de, no mínimo, 3 a 4 dias, dependendo das condições climáticas. Não existe um período determinado para esta secagem, devendo-se observar a mudança de coloração das barras seguida da verificação tátil da umidade existente. Caso se considere que a barra já está praticamente seca ao ar e a umidade existente não é suficiente para provocar trincas na

mesma, já se pode colocá-las sob o calor de lâmpada infravermelha (cerca de 60°C) ou levar as amostras diretamente à estufa (cerca de 110°C), se for o caso.



Figura 2: Maromba de laboratório usada no estudo

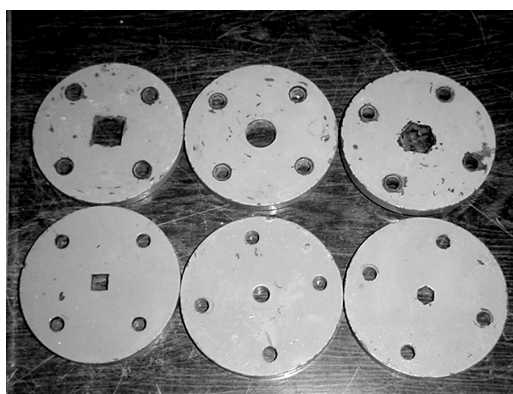


Figura 3: Boquilhas de saída nos formatos circular, hexagonal e quadrado confeccionadas para este estudo

Norton (1973) define que a retração excessiva é indesejável porque tende a causar trincas e empenamento de peça seca. A mais comum das formas de corrigir esse defeito é adicionar materiais não-plásticos à argila. Esses materiais adicionados devem ser relativamente “grosseiros”, e da mesma forma, argilas de granulometria grossa retraem-se menos que argila

de granulometria fina, donde se conclui que um solo com um teor muito elevado de argila pode não ser o ideal para a produção de agregados. Tais mudanças foram experimentadas e produziram uma melhora aparente na resistência do agregado, porém esta ainda não foi suficiente para atingir a qualidade desejada. A expectativa inicial foi confirmada através dos ensaios de Seleção Expedita pelo Processo da Fervura e Perda de Massa após Fervura, cujos resultados se encontram nas Tabelas 3 e 4. Foram realizados ainda ensaios com a amostra do km 190, porém os resultados também não foram satisfatórios.

Utilizaram-se então 2 novas amostras de solo da região de Santarém, em processo semelhante ao adotado pelas olarias locais: **mistura de dois solos** de beira de rio para a produção dos agregados. Estes solos foram identificados como “olaria1” e “olaria2” e apresentaram os resultados de caracterização mostrados na Tabela 2, e a mistura destes 2 solos foi denominada de “**olaria**”.

Tabela 2: Resultados da caracterização dos solos de olaria

Amostra	LL%	LP%	IP%	#200	% silte	% argila
OLARIA1	55,3	31,5	23,8	100	48,2	51,8
OLARIA2	66,2	34,6	31,6	100	57,0	43,0

Norton (1973) e Santos (1975) alertam que deve-se conhecer a composição química das argilas a fim de se obter informações para a avaliação de seus usos específicos. No entanto essa informação deve ser complementada com as análises mineralógicas, como difração de raios-X, análise térmica diferencial e outros métodos. Assim, pode-se realizar uma avaliação mais completa do seu uso tecnológico, donde se conclui que para a produção de agregados artificiais de argila o solo deve possuir, além das propriedades físicas, determinadas características químicas e mineralógicas. Foram realizados ensaios de difração de raios-x e de composição química (EDS) neste estudo, porém não foi possível chegar a nenhuma conclusão relevante.

Norton (1973) define ainda que no caso de vários objetos feitos da mesma massa cerâmica porém de tamanhos diferentes, os maiores não apenas secarão mais lentamente em igualdade de condições, mas também terão uma tendência maior para trincar. Assim sendo e visando-se acelerar o tempo de secagem ao ar, reduzir o tempo necessário de calcinação no forno e também a energia gasta para a britagem das barras, resolveu-se cortar as barras de argila em comprimentos de 1 a 2cm logo após a extrusão, conforme mostra a Figura 4. Foram moldadas barras nos 3 formatos de boquilhas existentes e o formato escolhido para a produção destinada aos testes mecânicos foi o hexagonal, em função da sua maior angulosidade.

Foram produzidos então agregados em quantidades suficientes para a execução dos ensaios de desgaste após fervura, abrasão Los Angeles e tensão de ruptura a flexão (corpos de prova prismáticos), cujos resultados serão apresentados nas Tabelas 4 e 5. Para os estudos, fixou-se a temperatura de calcinação no forno em 900°C e o tempo de calcinação em 30 minutos. Após a calcinação, os agregados foram quebrados e recalcinados por mais 20 minutos, gerando agregados artificiais de argila semelhantes aos ilustrados na Figura 5.



Figura 4: Agregados após extrusão e corte em tamanhos de aproximadamente 2 cm



Figura 5: Agregados de argila após quebra e recalcinação

Tabela 3: Resultados do ensaio de fervura para as amostras deste estudo

Amostra	Resultado
km 164	Desfavorável
km 172	Desfavorável
km 190	Desfavorável
Olaria	Favorável

Tabela 4: Resultados de Desgaste após Fervura das amostras usadas neste estudo

CLASSE	GRUPO	Desgaste após Fervura % máximo	km 164 % obtido	km 172 % obtido	olaria % obtido
II	A	6			
Argila não	B	6	39,0	8,6	1,3
Expandida	C	10			

Tabela 5: Resultado do ensaio de Abrasão Los Angeles modificado, para o solo de olaria

CLASSE	GRUPO	Abrasão Los Angeles % máximo	Abrasão Los Angeles % obtido
II	A	35	
Argila não	B	40	23
Expandida	C	45	

4. RESULTADOS OBTIDOS

Para a dosagem de uma mistura de concreto asfáltico foi realizada inicialmente a análise granulométrica dos agregados sintéticos produzidos, de uma amostra de areia da região de Belterra, localizada a 40km de Santarém, e do filer a ser utilizado (cimento portland). Foi verificada ainda a adesividade, a qual foi considerada satisfatória. A densidade dos agregados foi determinada utilizando-se o método da Louisiana TR-312-69 para agregados sintéticos graúdos, que consiste basicamente em se medir a densidade de agregados retidos na peneira de 2,0mm envolvidos em ligante, por diferença de volume, com o auxílio de um recipiente de vidro de boca larga repleto de água (Louisiana Department of Highways, 1969).

Para a dosagem foi utilizado o método Marshall e o ligante utilizado foi o CAP-20, fornecido pela REDUC (Refinaria Duque de Caxias). Os agregados foram enquadrados na faixa B do DNER como mostra a Tabela 6. Foram utilizados apenas os agregados de argila calcinada e o cimento portland (fíler), sendo descartada a necessidade de utilização de outros tipos de agregados, graúdos ou miúdos.

Tabela 6: Composição granulométrica da mistura usada neste estudo corrigida pela diferença de densidades, enquadrada na faixa B do DNER

de densidade, enquadrada na faixa B do DNER						
Peneiras	Argila Calcinada		Fíler		PROJETO	Faixa B
	95%		5%			
1 pol	100	95,0	100	5,0	100,0	100 - 95
¾ pol	100	95,0	100	5,0	100,0	100 - 80
1/2 pol	85	80,8	100	5,0	85,8	-
3/8 pol	74	70,3	100	5,0	75,3	80 - 45
No 4	49	46,6	100	5,0	51,6	60 - 28
No 10	21	20,0	100	5,0	25,0	45 - 20
No 40	11	10,5	100	5,0	15,5	32 - 10
No 80	6	5,7	100	5,0	10,7	20 - 8
No 200	3	2,9	95	4,8	7,6	8 - 3

Foram moldados corpos-de-prova nos teores de 9%, 10% e 11% de CAP, e o teor ótimo

de ligante encontrado na mistura foi de 9,7% significativamente mais elevado que os teores normalmente encontrados nas misturas betuminosas com agregado pétreo natural. Uma das prováveis razões para esse elevado teor de ligante está associada à elevada absorção do agregado. Estudos têm sido feitos no sentido de se reduzir o valor dessa absorção através de modificações no tempo e na temperatura de queima.

Os resultados encontrados para três corpos-de-prova produzidos no teor ótimo foram considerados bastante satisfatórios. Foram moldados então 27 corpos-de-prova no teor ótimo, visando a execução dos ensaios de resistência à tração, módulo de resiliência e fadiga. A Figura 6 ilustra um corpo-de-prova moldado com a utilização da argila calcinada como agregado.



Figura 6: Corpo-de-prova de concreto asfáltico com Argila Calcinada

Os resultados de resistência à tração, módulo de resiliência e fadiga obtidos para o concreto asfáltico com argila calcinada deste estudo estão expressos nas Tabela 7 e 8 e nas equações 1 e 2.

Tabela 7: Resultados dos ensaios de resistência à tração

Ensaio	Temp. (°C)	RT (MPa)
Resistência à Tração	25°C	0,65
	30°C	0,33
	35°C	0,22

Tabela 8: Resultados dos ensaios de módulo de resiliência do CBUQ com argila calcinada

T (°C)	Módulo de Resiliência (MPa)
25	2086
30	1068
35	780

As equações consideradas representativas para a vida de fadiga em função da diferença de tensões (em MPa) e da deformação específica resiliente inicial para o CBUQ com argila calcinada deste estudo foram, respectivamente:

$$N = 542.83 (\Delta\sigma)^{-2.89} \quad (1)$$

$$N = 3 \times 10^{-9} (\epsilon)^{-2.89} \quad (2)$$

em que: N: vida de fadiga

$\Delta\sigma$: diferença de tensões

ϵ : deformação específica resiliente

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os resultados obtidos no estudo comprovaram a viabilidade técnica da utilização do agregado de argila calcinada em misturas asfálticas para a pavimentação na Região Amazônica. A metodologia para a produção deste agregado foi praticamente definida, devendo ser empregados equipamentos industriais de grande porte semelhantes aos equipamentos de pequeno porte utilizados neste estudo para uma obra real.

Esta metodologia deve, entretanto, sofrer ajustes e otimizações, sobretudo no que diz respeito à temperatura e ao tempo de calcinação, visando sempre a melhora da qualidade final do agregado e a redução dos custos de produção.

Uma temperatura e um tempo de calcinação um pouco mais elevados que os adotados neste estudo provavelmente irão levar a um agregado de resistência superior, porém deve-se analisar se esta melhoria é economicamente interessante, em função do aumento nos custos que certamente ocorrerá. Em síntese, deve-se buscar o equilíbrio entre a qualidade do agregado e os custos de produção.

Ressalta-se que a temperatura e o tempo de queima variam conforme a natureza da argila e do forno utilizado. A sua produção, entretanto, pode ser realizada de forma industrial e a um baixo custo, se comparada com os gastos para a aquisição e transporte do agregado pétreo na região amazônica, como mostrado. No entanto são recomendados estudos complementares em função de se tratar de uma técnica inédita no Brasil.

Para próximos estudos sugere-se uma aprofundada pesquisa sobre a absorção destes agregados, pois esta exerce forte influência no percentual de ligante, gerando a necessidade de um alto teor de ligante e um elevado consumo.

Em função desta absorção, podem ser estudados e comparados ainda diferentes métodos de medida da densidade, em especial os métodos da Louisiana e de Rice.

Pode-se britar/triturar ainda mais a argila e testar uma dosagem com 100% de argila calcinada, sem a inclusão de filler artificial.

Sugere-se também a execução de um grande número de ensaios com misturas asfálticas utilizando a argila calcinada como agregado, de forma que possam ser propostas algumas modificações nos métodos de ensaio atualmente adotados, em função das características peculiares deste tipo de agregado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CENTRO DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS, *Características das Argilas Utilizadas pela Cerâmica Vermelha em Santarém*, 1997.
- CENTRO DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS, *Projeto Argila Belém*, 1972.

- CHIARI, L.C., *Areia artificial – definições, informações gerais*, Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais, UFSCar/UNESP, São Carlos-SP, 2002.
- CINEXPAN, disponível, www.cinexpan.com.br, capturado, 12/2003.
- COSTA, F.W.A., M.A.V.SILVA e M.A. MELLO, M.A., *Agregado de Argila Calcinada da Amazônia: Análise dos Parâmetros de Fadiga e Resiliência em Misturas Asfálticas*, Projeto de Fim de Curso, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2000.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM, *Pesquisa de Viabilidade de Implantação da Fábrica de Argila Expandida na Região Amazônica – Relatório Final*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias – Divisão de Pesquisa. Rio de Janeiro, RJ, 1981.
- GRAINGER, G. D., *The Production of a Low-Grade Aggregate from Black Cotton Soil by Heat Treatment*. Note Nº RN/1482/GDC, Department of Scientific and Industrial Research. Road Research Laboratory – RRL. England, 1951.
- LEES, M.H.; *Burnt Cotton Soil. It's use in roads and runways*. Proc. Sudan Engineering Society, 1938.
- LOUISIANA DEPARTMENT OF HIGHWAYS, *Highway Research: Expanded Clay Hot Mix Study – Final Report, Part I*, 1969.
- NORTON, F.H., *Introdução à Tecnologia Cerâmica*, editora Edgar Blucher, 324p, 1973.
- SANTOS, P.S., *Ciência e Tecnologia das Argilas*. Editora Edgard Blucher Ltda. 2ª Edição. Volumes I e II. São Paulo, SP, 1975.
- SOARES, A.L.C.P., F.G.S. BATISTA, e G.L.L. CABRAL, *Estudo da Viabilidade Técnica do Agregado de Argila Calcinada para a Pavimentação da Amazônia*, Projeto de Fim de Curso, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1998.
- VIEIRA, A., *Agregados de Argila Calcinada: Produção e Utilização em Pavimentação Rodoviária na Região Amazônica*, Seminário, COPPE/UFRJ, 2000.

AUTORES DO TRABALHO

FERNANDO GOMES DA SILVA BATISTA

Engenheiro Militar, M.Sc.
8º Batalhão de Engenharia de Construção
Santarém - PA
e-mail : fernandogsb@yahoo.com.br

LUIZ ANTONIO SILVEIRA LOPES

Professor do Departamento de Engenharia de Fortificação e Construção
Instituto Militar de Engenharia – IME
Praça Gen Tiburcio 80 – Praia Vermelha
CEP 20.290-270 Rio de Janeiro
e-mail: laslopes@ime.eb.br

ALVARO VIEIRA

Professor do Departamento de Engenharia de Fortificação e Construção
Instituto Militar de Engenharia – IME
Praça Gen Tiburcio 80 – Praia Vermelha
CEP 20.290-270 Rio de Janeiro
e-mail: alvaro@ime.eb.br

Capítulo 3

Avaliação e Dimensionamento

