

Estudo de solos do Acre para a produção de agregados de argila calcinada e misturas para bases em pavimentação— uma alternativa estratégica para o estado do Acre

Victor Hugo R Barbosa, Antônio C R Guimarães, Maria E S Marques, Carmen Dias Castro
 Instituto Militar de Engenharia (IME)
 Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270, Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
 *victorhrb@gmail.com

RESUMO: O artigo apresenta estudos realizados para avaliar a viabilidade da utilização de solos oriundos do estado do Acre na confecção de agregados artificiais de argila calcinada visando seu emprego em bases de solo-agregado. Considerando o alto custo dos agregados britados nessa região, decorrente de extensas áreas sem ocorrências de jazidas, torna-se imperativo o uso de alternativas tecnológicas que aproveitem os recursos locais e reduzam os custos na construção civil, fortalecendo a infraestrutura de regiões estrategicamente importantes para a segurança nacional.

PALAVRAS-CHAVE: Argila Calcinada. Pavimentos. Acre.

ABSTRACT: The paper presents studies carried out in a soil from the Southwest of Brazilian Amazon in order to produce artificial calcined aggregates for use in pavements. Due to lack of rocky outcrops, stony aggregates used there have the most expensive price in Brazil. Therefore, it's important the use of technological alternatives that utilize local resources and reduce costs in construction, reinforcing both local infrastructure and National security.

KEYWORDS: Calcined Aggregates. Pavements. Amazon.

1. Introdução

As características geotécnicas do estado do Acre vêm demandando grandes esforços da engenharia rodoviária nas últimas décadas. Caracterizado por uma bacia sedimentar com um horizonte espesso de material fino em quase toda sua superfície, o estado possui uma grande variedade de solos, dos quais grande parte não apresenta pedogênese adequada para emprego direto em camadas de pavimentos [1].

Um dos fatores que dificultam a implantação de obras rodoviárias no Acre é a presença de solos conhecidos localmente como tabatinga, cuja ocorrência é mais intensa na região central do estado, tornando-se praticamente inviável sua remoção ao longo do leito estradal. Trata-se de um solo silto-argiloso de origem sedimentar e coloração esbranquiçada, apresentando consistência muito plástica e elevada expansão quando em contato com a água.

Os estudos conduzidos por [2] evidenciam a baixa capacidade de suporte desse material em

pavimentos, onde ensaios triaxiais dinâmicos mostram que a tabatinga se deforma rapidamente quando saturada por capilaridade, situação na prática facilmente atingida em solos da Amazônia. A **figura 1** apresenta um trecho da rodovia BR-364 – único eixo de ligação Leste-Oeste do estado –, conhecida no meio rodoviário acreano pela grande ocorrência de tabatinga no subleito e também pela recorrência de defeitos estruturais em diversos pontos.



Fig. 1 – Dificuldade de tráfego na BR-364 em decorrência da tabatinga durante o período chuvoso.

Outro problema rodoviário no estado é a ausência de jazidas de rochas disponíveis para exploração comercial, o que torna o Acre o único estado do Brasil que não produz esse tipo de agregado. A alternativa utilizada vem sendo a importação de agregados pétreos de estados vizinhos, porém a custos muito elevados, o que dificulta o planejamento e a viabilização de diversas obras [3]. A título de comparação, na **figura 2** é apresentado um comparativo entre os preços do m³ da pedra britada para diversos estados segundo os índices da Construção Civil – SINAPI de janeiro de 2017 [4], onde constata-se que o Acre é o estado que apresenta o preço mais elevado do país, sendo o dobro do 2º mais caro, que é o estado do Pará.



Fig. 2 – Comparativo do preço da brita para diversos estados[4].

A procura por material tecnicamente conveniente que substituísse a rocha como material de construção resultou na descoberta e exploração de jazidas de solos lateríticosconcrecionados (lateritas ou piçarras) a partir dos anos 80, cujo material passou a constituir-se em uma alternativa comumente empregada para compor camadas granulares de pavimentos no Acre, especialmente pelo bom desempenho obtido na prática [1]. Contudo, esse tipo de solo não é considerado abundante na natureza local, com ocorrências bastante esparsas nos pontos mais elevados do relevo da região [5].

Outra peculiaridade reside na alta variabilidade entre as características físicas das diferentes jazidas de lateritas no Acre, não atendendo a diversos critérios de aceitação de materiais relativos à granulometria, índice de plasticidade e CBR da Norma DNIT 098/2007 – ES [6], a qual preserva critérios tradicionais de seleção de solos. Tal fato resulta em dificuldades contratuais, o que, via de regra, é solucionado através da estabilização física ou química desse material, encarecendo a obra [3].

Diante desse cenário geotécnico desfavorável, a produção de agregados alternativos a partir de recursos locais é uma alternativa que não pode ser desconsiderada. E o aproveitamento de solos

de larga ocorrência não utilizáveis em pavimentos pode ser útil como matéria-prima para a fabricação de agregados de argila calcinada. Os agregados produzidos, uma vez que ensaios específicos atestarem suas características físicas e mecânicas como uma alternativa à brita, podem facilitar a estabilização de solos granulares como as lateritas do Acre, que usualmente apresentam granulometria com excesso de finos.

Recentemente, a pesquisa e emprego dessa tecnologia em solo amazônico vem sendo aperfeiçoada através de trabalhos desenvolvidos pelo Exército Brasileiro. Nesse sentido, os Batalhões de Engenharia e Construção vêm contribuindo na obtenção de diversos dados locais, propiciando o suporte logístico necessário ao desenvolvimento de inúmeros trabalhos, em especial às pesquisas realizadas nas instalações do Instituto Militar de Engenharia (IME). No caso do estado do Acre, uma região fronteiriça, a propositura e execução de alternativas técnica e economicamente viáveis possibilitaria ao Exército, além da ampliação da atuação de sua força, promover o fortalecimento da infraestrutura em locais de importância estratégica para a defesa nacional.

2. Agregados artificiais de argila calcinada

De maneira geral, agregados artificiais ou sintéticos de argila são produtos cerâmicos fabricados ou reutilizados com o objetivo de substituir ou aperfeiçoar o uso de agregados naturais.

Os agregados artificiais de argila podem ser definidos como aqueles provenientes da transformação de um solo argiloso, previamente processado, em um material inerte e com resistência mecânica satisfatória a uma

determinada finalidade. O produto final depende fundamentalmente da temperatura de queima, da matéria-prima utilizada e do processo de conformação da massa cerâmica [7].

Os agregados artificiais de argila também podem ser provenientes de resíduos da indústria cerâmica, tais como telhas ou tijolos. Contudo, tais agregados reciclados geralmente apresentam características físicas muito diferentes dos agregados manufaturados, uma vez que no processo inicial de fabricação a que foram submetidos não havia a preocupação em atender as características necessárias a um agregado para uso em engenharia rodoviária.

Os agregados obtidos a partir da queima da argila podem ser classificados como expandidos ou calcinados (**figura 3**). A argila expandida é produzida a partir de matérias-primas específicas, as quais apresentam um inchamento pirolástico a temperaturas elevadas (cerca de 1100 °C), sendo sua produção operacionalizada por meio de grandes fornos rotativos. A argila calcinada, por outro lado, não apresenta essa expansão e é queimada a temperaturas mais baixas, a partir de 760°C. Desta forma, a argila calcinada pode ser produzida com mais facilidade em unidades cerâmicas convencionais, além de dispor de uma maior variabilidade de matérias-primas para sua produção, reduzindo custos [8], [9].



Fig. 3 – (a) Agregados de argila expandida produzidos pela empresa CINSITA; (b) Agregados calcinados antes e após redução por britagem [10], [7].

Os primeiros trabalhos relevantes envolvendo agregados de argila calcinada em pavimentação rodoviária foram realizados nos EUA, nas décadas de 1950 e 1960, por meio de instituições como o *Texas Highway Department* e o *Louisiana Department of Highway* [11], [12]. As pesquisas desenvolvidas nesses locais serviram de base para que o Instituto de Pesquisas Rodoviárias, do antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (IPR/DNER), desse início às primeiras pesquisas no Brasil no final dos anos 70, o que resultou na fabricação de uma unidade de usina móvel e na construção de alguns trechos experimentais [13].

Com base na experiência americana, tendo em vista estabelecer um sistema de classificação para uso em obras rodoviárias, o DNER adaptou métodos de ensaio e normas técnicas relativas à classificação de agregados sintéticos de argila, conforme apresentado nas **tabelas 1, 2 e 3**, por meio das quais é possível classificar o agregado em expandido ou não expandido, atribuindo-lhes valores de classe e grupo, seguido da obtenção do melhor tipo de utilização para o agregado em estudo [7], [12].

Tab. 1 – Ensaio do *Texas Highway Department* adaptados pelo DNER.

Método	Ensaio
DNER-ME 222/94 [14]	Agregado sintético fabricado com argila - desgaste por abrasão
DNER-ME 223/94 [15]	Argilas para fabricação de agregado sintético de argila calcinada - seleção expedita pelo processo de fervura
DNER-ME 225/94 [16]	Agregado sintético fabricado com argila - determinação da perda de massa após fervura

Tab. 2 – Classificação de agregados sintéticos (DNER-EM 230/94) [17].

Classificação dos agregados graúdos		Massa específica aparente t/m ³		Desgaste na água após fervura (%)	Abrasão Los Angeles (%)
Classe	Grupo	Máx	Mín	Máximo	Máximo
I Argila Expandida	A	0,880	0,560	6	35
	B	0,880	0,560	6	40
	C	0,880	0,560	10	45
II Argila não expandida	A	-	0,880	6	35
	B	-	0,880	6	40
	C	-	0,880	10	45

Tab. 3 – Classificação de agregados sintéticos (DNER-ES 227/89) [18].

UTILIZAÇÃO	CLASSE E GRUPO
Tratamentos superficiais	IA
Revestimento de concreto asfáltico	IA, IIA
Bases de concreto asfáltico	IA, B, C IIA, B, C
Estruturas expostas de concreto de cimento portland leve	IA
Pavimentos e concretos de cimento portland não expostos	IA, B IIA, B
Materiais para base	Todos

A partir de 1997, no entanto, o IME iniciou com sucesso diversas pesquisas envolvendo agregados de argila, porém obtidos por calcinação, tendo em vista possuir um custo de produção mais baixo que os agregados de argila expandida. Como resultado, vários trabalhos passaram a atestar o uso da argila calcinada como uma alternativa para a obtenção de agregados econômicos, especialmente visando suprir a carência de rochas adequadas na região amazônica.

Entre os trabalhos de grande relevância estão [9] e [13], onde foi desenvolvida uma metodologia completa de produção do agregado de argila calcinada, tendo como importantes

premissas a correta seleção da matéria-prima e um eficiente controle tecnológico. Dessa forma, por meio de um projeto do Centro de Excelência em Engenharia de Transportes (CENTRAN) e do apoio técnico e logístico do 8º Batalhão de Engenharia de Construção (8º BEC), foi possível produzir o material em uma unidade cerâmica convencional, sendo o agregado aplicado em um trecho de 1,0 km da rodovia BR-163 Cuiabá – Santarém (**figura 4**).



Fig. 4 – Detalhe da superfície do segmento da BR-163 construído com argila calcinada em 2009 após dois anos de uso[13].

3. A Engenharia do Exército

Desde a retomada das pesquisas com agregados artificiais de argila calcinada no final dos anos 90, o Exército Brasileiro tem se destacado através de sua efetiva participação na evolução dessa tecnologia, seja por meio do suporte dos Batalhões de Engenharia na amazônia ou pelos trabalhos desenvolvidos no IME.

A atuação da Engenharia do Exército, presente na Amazônia desde o século XVII, representa em muitas dessas localidades a única presença

do Estado apta a prover condições mínimas necessárias a muitas famílias [19]. Além disso, mesmo em lugares mais desenvolvidos da região, os Batalhões de Engenharia preservam grande respaldo junto ao meio técnico rodoviário, contribuindo fortemente para a defesa nacional e o desenvolvimento do país.

Nesse contexto está inserido o 7º Batalhão de Engenharia de Construção (7º BEC). Localizado em Rio Branco, capital do estado do Acre, que possui um grande acervo englobando as principais obras de Rodovias e Aeroportos do estado (**figura 5**), além de um histórico de forte atuação no apoio técnico especializado às unidades de fronteira da região.



Fig. 5 - Implantação da BR-364 pelo 7º BEC em 1971 [14].

Com base nesse cenário, nota-se a importância de o Exército adquirir cada vez mais independência na propositura de alternativas técnicas mais eficientes e econômicas em solo amazônico, especialmente em regiões carentes de agregados como o estado do Acre. Isso se torna mais relevante ao considerarmos que os órgãos rodoviários desses locais muitas vezes não possuem condições de realizar estudos científicos no mesmo nível de pesquisas realizadas nos grandes centros do país. Tal situação é observada

na Universidade Federal do Acre, que apesar de possuir um corpo docente qualificado, ainda não possui programa de Pós-Graduação na área de Engenharia Civil.

4. Produção dos agregados calcinados

Visando à produção de agregados calcinados, foram coletadas no entorno da cidade de Rio Branco (**figura 6**) amostras de uma argila cujo aspecto tátil-visual demonstrava alta plasticidade, textura muito fina e aspecto mosqueado, com fundo cinza e manchas vermelhas, possivelmente relacionadas à redução de ferro, conforme pode ser visto na **figura 7**. Solos com essas características são identificados regionalmente como tabatinga, que foi escolhido para essa pesquisa por sua ampla ocorrência no estado e também por se tratar de um material muito presente na realidade rodoviária local, especialmente ao longo da BR-364.



Fig. 6 – Localização da ocorrência da matéria-prima desta pesquisa.

Em seguida, o material coletado foi transportado até o Laboratório de Solos do IME/RJ, onde foi realizada a caracterização física, química e térmica, além da caracterização mineralógica realizada no Laboratório de Pedologia e Mineralogia das Argilas

da UFRJ [20].



Fig. 7 – Aspecto da matéria-prima coletada.

Com o objetivo de reproduzir em laboratório as etapas de produção da argila calcinada em escala industrial, a confecção dos agregados foi baseada em procedimentos desenvolvidos nos Laboratórios de solos e de misturas asfálticas do IME, por meio de processos de extrusão e queima da argila em diferentes temperaturas. A metodologia de produção consistiu nas seguintes etapas:

- A matéria-prima foi desagregada e seca ao ar. Logo após, foi umedecida até alcançar uma plasticidade que garanta uma boa extrusão no equipamento do IME, sendo utilizado como referência um teor de umidade próximo à metade do Limite de liquidez desse material, conforme sugerido em [7];
- Em seguida, foi vedada em um saco plástico e colocada na câmara úmida por 24 horas, de modo a permitir uma melhor homogeneização antes da extrusão (**figura 8**);
- O material foi então submetido à extrusão a vácuo no equipamento do IME, cujo bocal

possui formato hexagonal de diâmetro circunscrito de aproximadamente 20 mm, em função da maior angulosidade proporcionada por esse formato, conforme sugerido em[8].

- Após a extrusão das barras, estas eram cortadas com um fio de aço em pequenas peças medindo aproximadamente 15 mm;
- Devido à alta plasticidade da massa e visando a evitar problemas de trincas, os agregados foram secos ao ar livre durante seis dias, situação onde perdem grande parte da água livre (**figura 9**).



Fig. 8 – Sequência de processos necessários à fabricação dos agregados em laboratório: (a) Umidecimento e mistura; (b) homogeneização da massa na câmara úmida.



Fig. 9 – (a) Extrusão à vácuo; (b) corte das barras e (c) aspecto dos agregados durante o processo de secagem.

- Em seguida, foram colocados na estufa a 110^o C durante 24 horas, completando um período

total de sete dias de secagem;

- Após a etapa completa de secagem, os agregados foram calcinados em três temperaturas diferentes: 900, 1000 e 1100 °C durante 30 minutos, tendo em vista que algumas propriedades variam consideravelmente em função da temperatura de queima. O equipamento utilizado foi um forno mufla, cuja taxa de aquecimento é de cerca de 20 °C/min até atingir o patamar desejado (**figura 10**).



Fig.10 – (a) Calcinação em forno mufla e (b) obtenção das amostras em três diferentes patamares de temperaturas – 900, 1000 e 1100 °C.

Com o objetivo de classificar os agregados produzidos e visando aferir suas propriedades em diferentes patamares de temperatura, foi realizada a caracterização física e mecânica das amostras mediante uma série de ensaios padronizados.

Como critério classificatório para o atendimento aos limites preconizados na norma DNER EM 230/94 [17], foram realizados os ensaios de Massa unitária (DNER ME 152/95 [21]), Perda de massa após fervura (DNER ME 225/89 [16]) e Desgaste por abrasão (DNER ME 222/94 [14]). Adicionalmente, tendo em vista obter maiores parâmetros comparativos com agregados calcinados (e também naturais) de outras pesquisas, foram realizados os ensaios de absorção de água (DNER ME 081/98 [22]), Massa

específica aparente (DNER ME 081/98 [22]) e Perda ao choque Treton (DNER ME 399/99 [23]). Todos os ensaios foram realizados no laboratório de asfaltos do IME, conforme **figura 11**.

Tendo em vista promover a mistura dos agregados calcinados produzidos com um solo local, utilizou-se uma laterita oriunda de uma jazida comercial localizada na rodovia BR-317, próximo à divisa com a BR-364, cujos finos foram classificados como lateríticos argilosos (LG') segundo a metodologia MCT.



Fig. 11 – Exemplos de ensaios de caracterização física e mecânica nos agregados: (a) Perda de massa após fervura; (b) Absorção de água; (c) Perda ao choque Treton e (d) Desgaste por Abrasão Los Angeles.

Assim como as lateritas estudadas em [3], o material utilizado apresenta elevado teor de finos (83,5% passante na peneira 10 mm) e conseqüente carência de material granular, o que impossibilita o enquadramento desse solo dentro de uma das faixas granulométricas da norma DNIT 98/2007, a qual especifica as condições de serviço a serem adotadas em camadas de pavimentos utilizando

solos lateríticos.

Como alternativa às soluções tradicionalmente empregadas no Acre – estabilização química ou física a custos elevados –, promoveu-se a mistura desse solo laterítico com os agregados calcinados produzidos em uma composição, em massa seca, de 70% solo laterítico e 30% agregado calcinado. Para isso, os agregados foram fracionados por compressão mecânica em partículas menores através do uso de uma prensa Amsler, conforme apresentado na **figura 12**.



Fig. 12 – (a) Britagem dos agregados produzidos; (b) e (c) antes e depois da mistura solo laterítico – agregado calcinado.

5. Resultados dos ensaios na argila calcinada

Devido à alta plasticidade da matéria-prima e elevado teor de finos (100% passante na peneira nº 200), verificou-se que o processo de confecção da massa demandou uma grande quantidade de água, o que exigiu um maior tempo de secagem ao ar livre antes da queima no forno mufla.

Em todos os lotes de agregados produzidos não foram detectadas trincas ou deformações nos três patamares de temperatura utilizados. A seguir, são apresentados os resultados dos ensaios realizados.

5.1 Absorção de água

O ensaio de absorção permitiu uma primeira visão sobre a qualidade do agregado produzido em função da temperatura de queima, uma vez que a redução de vazios nas partículas geralmente resulta no aumento da resistência mecânica. De forma inversamente proporcional, à medida que a absorção diminuiu, ocorreu um aumento da densidade aparente, resultado da maior coalescência dos grãos e da redução de vazios ou fissuras em seu interior.

Os resultados dos ensaios de absorção e massa específica aparente foram comparados com os valores obtidos na literatura. No caso da absorção, foi inserido também o limite máximo aceitável de 18%, conforme sugerido por [9]. Na **figura 13** é apresentado o resultado do ensaio de absorção da matéria-prima deste trabalho, conforme [20], comparando-os com as citadas referências em diferentes patamares de temperatura obtidas em [7], [9] e [24].

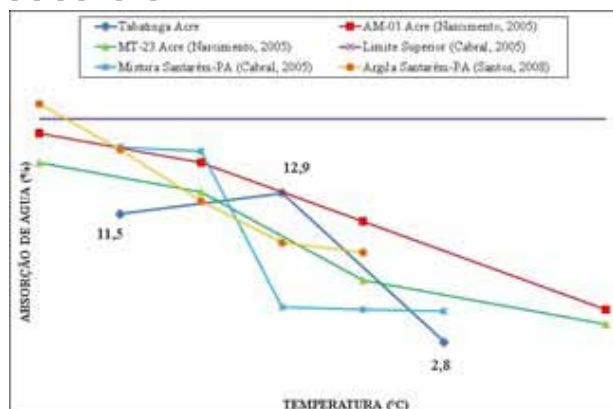


Fig. 13 – Absorção versus temperatura de queima.

Analisando os gráficos, nota-se inicialmente que entre 900 °C e 1000 °C a argila desta

pesquisa não apresenta significativa redução nos valores de absorção, indicando que o material ainda está em fase de pré-sinterização ou não chegou a formar a fase líquida, porém em ambos os casos os valores obtidos são inferiores ao limite máximo. Entre 1000 °C e 1100 °C, contudo, ocorre uma significativa redução na absorção da matéria-prima, apresentando valores inferiores aos demais trabalhos.

5.2 Massa unitária

A massa unitária pode ser entendida como a massa real do agregado englobando todos os espaços internos e externos. Os agregados sintéticos graúdos de argila calcinada (não expandidos) devem estar acima do limite mínimo de 0,88 g/cm³ para serem classificadas como tal, de acordo com a norma DNER 230/94 [17].

Na **figura 14** são apresentados os resultados do ensaio. Nota-se um valor satisfatório no que concerne o atendimento à norma citada, o que indica que os agregados produzidos podem ser classificados como agregados calcinados adequados para utilização em bases ou ainda para revestimentos asfálticos.

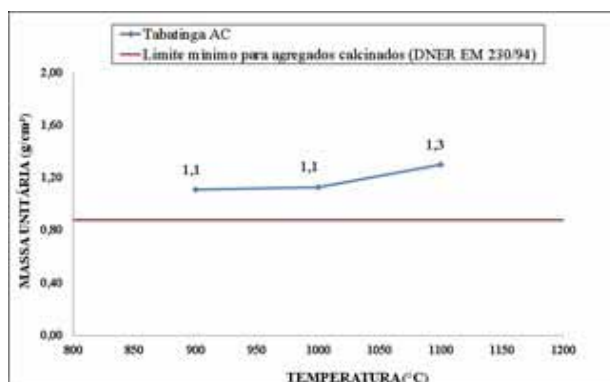


Fig. 14 – Massa unitária versus temperatura de queima.

5.3 Perda de massa após fervura

Os resultados dos ensaios indicaram que a desidratação dos agregados foi satisfatória, o que muito contribui para a qualidade final do agregado, tendo em vista se tratar de um ensaio especificado em normas estrangeiras e nacionais. Dessa forma, ficou evidenciado que as massas cerâmicas produzidas apresentam resistência mecânica suficiente para os critérios da especificação DNER-ES 227/89 [18]. Utilizando essa especificação, temos que a perda de massa aceitável é de 10% para o uso em bases de pavimentação.

Na **figura 15**, além do limite aceitável do DNER, são apresentados também trabalhos da literatura de referência para fins de comparação listados em [9], [7], [12] e [25], observando que alguns valores são apenas pontuais, pois alguns autores não realizaram o ensaio para mais de um patamar de temperatura.

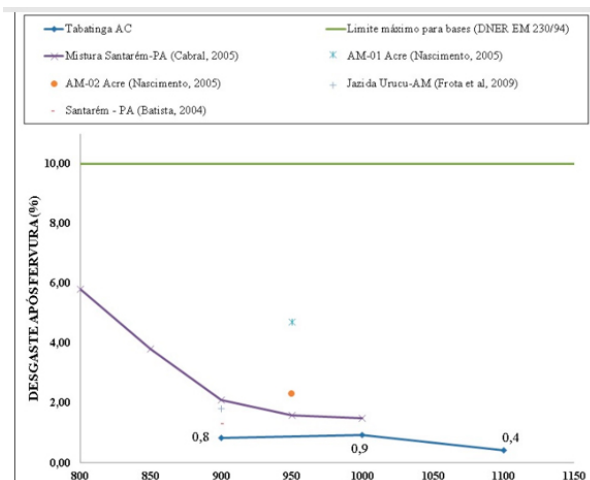


Fig. 15 - Perda de massa pós fervura versus temperatura de queima.

Observando o gráfico, nota-se que para todas as faixas de temperatura estudadas a perda foi inferior à literatura de referência, enquadrando-se facilmente no limite normativo de 10% de perda prescrito pela norma DNER EM 230/94 [17].

5.4 Perda ao choque Treton

O gráfico da **figura 16** mostra resultados satisfatórios para as amostras ensaiadas nos três diferentes patamares de temperatura, encontrando-se abaixo dos valores de referência [9] e [26] e ainda do limite máximo aceitável definido por [9].

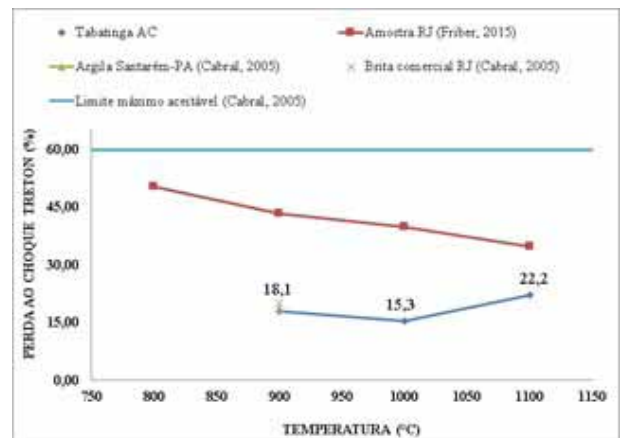


Fig. 16 – Perda ao choque Treton versus temperatura de queima.

5.5 Desgaste por Abrasão Los Angeles

O resultado deste ensaio indicou uma perda de 23%, que se encontra abaixo do limite normativo (estabelecido pelo DNER EM 230/94 [17]) de 45% para o uso de agregados calcinados em bases flexíveis, conforme mostrado na **figura 17**. O resultado obtido atende ainda o limite aceitável de 50% de perda por abrasão, estipulado pela Metodologia desenvolvida por [9]. Adicionalmente, assim como nos demais ensaios, são apresentados valores de referência da

literatura obtidos em [26], [7] e [9], evidenciando os baixos valores obtidos e mostrando que o agregado desta pesquisa, segundo o critério desse ensaio, possui características favoráveis para o emprego em bases de rodovias.

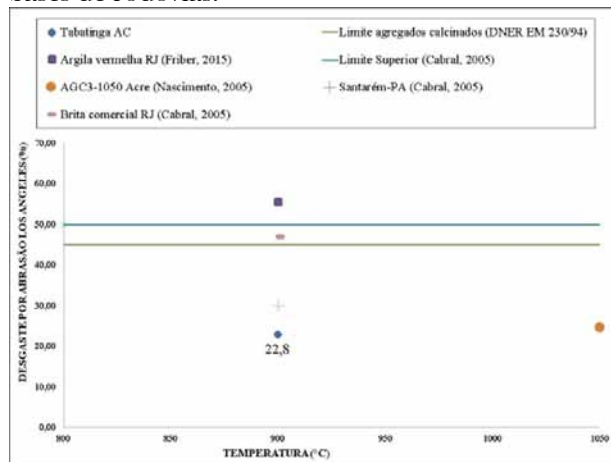


Fig. 17 - Abrasão Los Angeles versus temperatura de queima.

5.6 Resumo dos ensaios

Na **tabela 4** estão resumidos os resultados dos ensaios realizados nos agregados produzidos nesta pesquisa, onde verifica-se que em todos os patamares de temperatura utilizando como matéria-prima a tabatinga pura foram atendidos, de forma simultânea, aos limites normativos para utilização em bases e aos limites indicados na metodologia desenvolvida em [9].

Tab. 4 – Classificação de agregados sintéticos [18].

Tipo de ensaio	Limite DNER EM 230/94 [17]	Limite Met. CA-BRAL (2005) [9]	Valores obtidos em °C (Tabatinga AC)		
			900	1000	1100
Absorção (%)	-	≤ 18	11,5	12,9	2,8
Massa específica aparente (g/cm ³)	-	-	1,9	1,9	2,2
Massa unitária (g/cm ³)	≥ 0,8	-	1,1	1,1	1,3
Perda após fervura (%)	≤ 10	≤ 6	0,8	0,9	0,4
Perda ao choque Treton (%)	-	≤ 60	18,1	15,3	22,2
Desgaste por abrasão Los Angeles (%)	≤ 45	≤ 50	22,8	-	-

6. Mistura de solo-agregado calcinado

No que concerne à correção granulométrica da laterita através da mistura de 30% em massa seca do agregado calcinado britado, a adição do agregado permitiu o enquadramento do material na faixa B da norma DNIT 98/2007, conforme apresentado na **figura 18**.

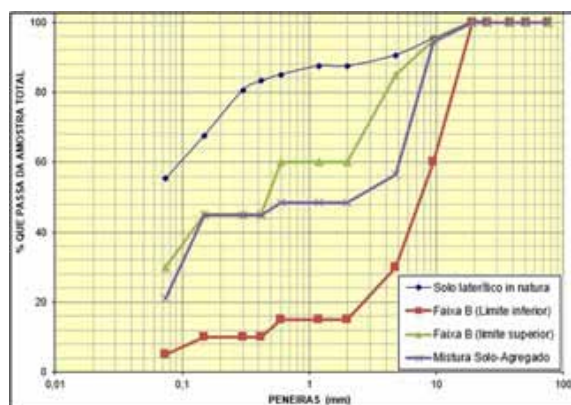


Fig. 18 – Enquadramento granulométrico da Mistura Solo-agregado na ES DNIT 98/2007 – Faixa B.

Um estudo comparativo entre o comportamento mecânico da laterita antes e após a adição dos agregados pode ser vista em [20], onde ensaios triaxiais de módulo resiliente, combinado com a avaliação MCT da fração fina do solo, permitiram verificar que o ganho ou a perda de resistência às deformações elásticas, mediante a adição dos agregados em lateritas, vai depender também das peculiaridades genéticas dos finos desse solo (solos lateríticos) e não somente das características físicas da mistura solo-agregado.

7. Conclusões

A adição dos agregados artificiais permitiu

efetuar a correção granulométrica no solo empregado, enquadrando-o na faixa B da norma DNIT 98/2007 e possibilitando, segundo esse critério, sua utilização como camada de base sem o uso de agregados pétreos importados de outros estados. Contudo, vale ressaltar que a referida norma também prescreve que bases com solos lateríticos de graduação graúda devem apresentar outros requisitos mínimos, tais como $\text{CBR} \geq 60\%$ para $N \leq 5 \times 10^6$ e limite de liquidez inferior ou igual a 40%.

No tocante ao CBR, a laterita analisada apresenta um CBR de 9,7%, o que é considerado um valor baixo para utilização em bases. Vale ressaltar que as condições saturadas impostas na metodologia desse ensaio não refletem as condições reais dos pavimentos em regiões tropicais como a do Brasil. Entretanto, para fins de segurança contratual e atendimento aos métodos tradicionais vigentes, a tendência é que, de maneira geral, a adição de partículas de granulometria grosseira – por meio de uma mistura com os agregados calcinados – eleve os valores do CBR, facilitando o enquadramento nas especificações de serviço do DNIT. Para essa pesquisa, contudo, não foi possível fazer a verificação do CBR após a mistura do solo-agregado, dada a grande quantidade de solo a ser transportado do Acre ao Rio de Janeiro para a produção dos elementos calcinados.

Com relação aos limites de consistência, solos lateríticos como o desta pesquisa podem apresentar valores elevados de limite de liquidez,

acima da tolerância de 40% prevista em norma. Todavia, tal situação pode ser facilmente resolvida através da mistura com solos arenosos oriundos de jazidas locais.

No tocante à qualidade da argila calcinada, os ensaios realizados mostraram que os agregados produzidos nesta pesquisa atendem aos limites preconizados na norma DNER-ES 227/89, podendo ser utilizados como materiais de base para pavimentação. Ficaram evidenciadas as boas propriedades físicas e mecânicas em comparação à literatura utilizada como referência. Constatou-se ainda que a menor temperatura utilizada (900 °C) – que representa uma maior economia de energia na produção – atendeu a todos os critérios citados.

A incorporação de agregados calcinados produzidos a partir da tabatinga apresenta grande potencial de utilização. Em relação aos custos decorrentes do emprego da argila calcinada em pavimentação no Acre, embora não tenha sido objeto aprofundado de análise neste trabalho, pode-se dizer que o aproveitamento dessas argilas – que são abundantes ao longo do principal segmento rodoviário do estado (BR-364), pode ter um custo de fabricação baixo quando se considera as alternativas de importação de material atualmente utilizadas. Além disso, a exploração de jazidas de solo laterítico concrecionado (“piçarra”) para utilização em bases, a despeito do bom comportamento mecânico, pode não suprir a elevada demanda de recuperação e construção de trechos no estado.

Referências Bibliográficas

- [1] ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Livro temático II: Recursos Naturais I - Geologia, Geomorfologia e Solos do Acre. Programa Estadual de Zoneamento ecológico-econômico do Acre Fase II - Escala 1:250.000. SEMA Acre, Rio Branco, 2010.
- [2] GUIMARÃES, A. C. R. Um método mecanístico-empírico para a previsão a deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos. 2009. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- [3] GUIMARÃES, A. C. R.; MOTTA, L. M. G.; VIEIRA, A. Contribuição para a aplicação de uma Abordagem Mecanística na Avaliação Estrutural de Pavimentos Asfálticos do Estado do Acre. 13ª REUNIAO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA – 13ª RPU. Maceió/AL – Brasil. 2006.
- [4] CAIXA (Caixa Econômica Federal). SINAPI: Índices da Construção Civil. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/>, acesso em janeiro de 2017.
- [5] SEIXAS, S. Comportamento dinâmico dos materiais componentes do pavimento da pista de pouso do novo aeroporto de Rio Branco. 1997. 237 p. Dissertação de Mestrado, COOPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- [6] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT, 2007. ES 98/2007. Pavimentação – base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico. Rio de Janeiro, RJ.
- [7] NASCIMENTO, R. R. Utilização de agregados de argila calcinada em pavimentação: uma alternativa para o estado do Acre. 2005. 165 p. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- [8] VIEIRA, A.; BATISTA, F. G. S.; LOPES, L. A. S. Produção e caracterização de agregados artificiais de argila calcinada para uso em pavimentação rodoviária. XVIII ANPET. Florianópolis – SC, 2004.
- [9] CABRAL, G. L. L. Metodologia de produção e emprego de agregados de argila calcinada para pavimentação. 2005. 358 p. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.
- [10] CINEXPAN, 2016, disponível em: <<http://www.cinexpan.com.br/>>, capturado em maio de 2016.
- [11] POLIVANOV, H., MOTTA, L. M. G., MODESTO, F. B. F., BARROSO, E. V. Argilas calcinadas para uso em pavimentos rodoviários. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA). Nº 04, 2015.
- [12] BATISTA, F. G. S. Caracterização física e mecanística dos agregados de argila calcinada produzidos com solos finos da BR-163/PA. 2004. 159 p. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.
- [13] CABRAL, G. L. L. Utilização do agregado artificial de argila calcinada em obras de pavimentação e aperfeiçoamento da tecnologia. 2011. 216 p. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- [14] DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, 1989. ME 222/94 – Agregados sintéticos grãos de argila calcinada: desgaste por abrasão. Rio de Janeiro, RJ.
- [15] DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, 1994. ES 223/94 - Argilas para fabricação de agregado sintético de argila calcinada - seleção expedita pelo processo de fervura. Rio de Janeiro, RJ.
- [16] DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, 1994. ES 225/94 - Agregados sintéticos grãos de argila calcinada: determinação da perda de massa após fervura. Rio de Janeiro, RJ.
- [17] DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, 1994. EM 230/94 – Agregados sintéticos grãos de argila calcinada. Rio de Janeiro, RJ.
- [18] DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, 1989. ES 227/89 - Agregados sintéticos grãos de argila calcinada: emprego em obras rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ.
- [19] FIGUEIREDO, W. M. [et al]. A Engenharia do Exército na construção do desenvolvimento nacional. 1ª Ed. 294 p. Departamento de Engenharia e Construção, Brasília, 2014.

- [20] BARBOSA, V. H. R. Estudo de solos do Acre para a produção de agregados calcinados e misturas para Bases em Pavimentação. 2017. 155 p. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.
- [21] DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, 1995. ME152/95–Agregado em estado solto– determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, RJ.
- [22] DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, 1998. ME081/98–Agregados – determinação da absorção e da densidade do agregado graúdo. Rio de Janeiro, RJ.
- [23] DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, 1999. ME399/99–Agregados – determinação da perda ao choque no aparelho Treton. Rio de Janeiro, RJ.
- [24] SANTOS, R. A. Avaliação do emprego de agregado artificial de argila calcinada em pavimentação. 2008. 269 p. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.
- [25] FROTA, C. A.; SILVA, C. L. A.; SILVA, C. L.; REBELO, E. P. Processo produtivo de agregados sintetizados de argila calcinada para a região Amazônica. Estudos tecnológicos – Vol 5, nº 3: 374-388. São Leopoldo, RS. 2009.
- [26] FRIBER, M. A. Avaliação do agregado calcinado de resíduo de mineração para o emprego em pavimentação. 2015. 96 p. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.