

ENSAIOS LABORATORIAIS COM FOSFOGESSO PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO

Tallyta da Silva Curado, Lilian Ribeiro de Rezende
Universidade Federal de Goiás. Escola de Engenharia Civil. Praça Universitária,
n. 1488, Qd. 86, Lote Área, Setor Universitário, Goiânia-GO, CEP: 74605-220
e-mail: tallyta90@gmail.com; lrezende@eec.ufg.br

PALAVRAS-CHAVE: fosfogesso, cal, cimento, ensaios laboratoriais.

1 Introdução

O estado de Goiás apresenta carência de estradas e vias urbanas pavimentadas tendo grande quantidade de vias não revestidas ou que apresentam degradação prematura. Essa degradação pode ocorrer devido aos tipos de materiais utilizados, problemas de execução ou excesso de carga. Dessa forma, verifica-se que muitos pavimentos ainda terão que ser executados ou restaurados. Para tanto, é necessário que existam materiais disponíveis e que estes apresentem viabilidade técnica e econômica para serem utilizados nessas obras.

No entanto, observa-se a escassez de materiais granulares naturais, como o cascalho laterítico, para serem utilizados na região. Como opção para suprir essa escassez tem-se a utilização de resíduos sólidos gerados na região, sendo que essa escolha depende de suas propriedades e características. Dessa forma, proporciona-se um ganho ambiental, já que se está fazendo um reaproveitamento do resíduo que não tem destinação adequada e se está evitando a exploração de materiais naturais. O reaproveitamento de um resíduo e a melhor utilização das matérias primas são vistos no meio técnico-científico como a única alternativa para a continuidade do processo tecnológico já implementado, atuando em perfeita sintonia com o mundo atual (Minas Ambiente, 1999).

Nessa linha, existe o fosfogesso que é o subproduto da reação química da rocha fosfática com ácido sulfúrico e água necessária para a produção do ácido fosfórico usado, principalmente, como matéria prima para a produção de fertilizantes fosfatados. Em Goiás, esse resíduo é gerado em mineradoras localizadas nos municípios de Catalão e Ouidor onde é depositado em pilhas gerando uma preocupação. Por ano, pode-se gerar cerca de 680 mil toneladas desse subproduto. A preocupação ambiental associada à deposição em pilhas decorre do fato de que o fosfogesso, embora composto principalmente de sulfato de cálcio,

contém certas impurezas – metais pesados, ânions, e radionuclídeos das séries naturais – que podem percolar através da pilha e atingir fontes de água superficiais e subterrâneas (Silva *et al*, 2002).

Pesquisas contendo o fosfogesso já foram e continuam sendo realizadas para analisar a viabilidade ambiental e técnica da utilização do fosfogesso e misturas contendo esse resíduo em pavimentação. Dentre essas misturas tem-se fosfogesso com solos tropicais, cimento, cinzas volantes, cal e outros estabilizantes. Na Universidade Federal de Goiás (UFG), as principais pesquisas sobre o fosfogesso foram realizadas por Mesquita (2007), Rufo (2009) e Metogo (2010).

Mesquita (2007) estudou a incorporação do fosfogesso nos solos finos locais (Estado de Goiás) focando nos ensaios de laboratório para determinar as propriedades geotécnicas e avaliar a viabilidade ambiental por meio dos riscos de contaminação das misturas. A pesquisadora tinha como objetivo principal determinar a mistura que ofereceria o melhor comportamento mecânico para o uso em pavimentação. A partir das metodologias adotadas, permitiu-se concluir que o fosfogesso misturado a solos finos regionais pode ser utilizado na construção de aterros, camadas de reforço do subleito e até sub-base de pavimentos. No entanto, não é interessante a incorporação de elevados teores de fosfogesso na mistura, sendo recomendado trabalhar com teores inferiores a 30% devido apenas à questão de resistência mecânica. Sobre as questões ambientais e da radiação, observou-se que o fosfogesso estudado não apresenta riscos.

Rufo (2009) realizou uma pesquisa para analisar o comportamento de outras misturas de fosfogesso, solo tropical e cal hidratada através de ensaios de laboratório com o objetivo de obter misturas com melhor desempenho mecânico. Realizou-se um estudo comparativo de misturas solo-cal confeccionadas com diferentes solos tropicais regionais (solos de Catalão-GO, Goiânia-GO e Brasília-DF). Nessa pesquisa, pode-se concluir que estabilização química de um solo tropical encontrado na região com o fosfogesso ou com a cal hidratada apresenta potencial de aplicação principalmente em sub-bases de pavimentos asfálticos. No caso do fosfogesso, recomenda-se a utilização de até 20% no processo de estabilização. Na tentativa de obter melhor desempenho mecânico e expandir o potencial de aplicação do fosfogesso para a camada de bases de pavimentos, estudou-se a incorporação de cal na mistura solo-fosfogesso. No entanto, os resultados obtidos não foram muito promissores devido à existência de elevados valores de expansão devido à formação do mineral etringita, inviabilizando a utilização dessa mistura em camadas de pavimentos. Mesmo assim, é

importante ressaltar que dependendo do tipo de solo utilizado, esta situação pode mudar e serem obtidos valores de expansão considerados aceitáveis.

Metogo (2010) observou o comportamento mecânico em campo das misturas que apresentaram os melhores resultados em laboratório. Para isso, o autor realizou ensaios de laboratório e acompanhou a execução de uma pista de pavimento experimental no município de Aparecida de Goiânia-GO, sendo que suas características estruturais iniciais foram analisadas por meio da realização de ensaios de campo. Com os resultados obtidos pelos ensaios de laboratório realizados, o autor concluiu que o aumento da plasticidade na mistura solo-fosfogesso assim como a expansão da mistura solo-fosfogesso-cal podem prejudicar a utilização desses materiais em pavimentação. Nas análises de resistência (CBR, compressão simples e módulo de resiliência), a mistura solo-fosfogesso-cal apresentou o melhor desempenho mecânico. Observa-se então que apesar dessa mistura ter apresentado esse bom desempenho mecânico em laboratório, sua característica de expansão deve ser mais bem avaliada. Se for o caso, devem ser estudados procedimentos para limitar essa ocorrência.

Segundo Oliveira (2005), outros pesquisadores como Gregory *et al.* (1984), Takeda (1998), Kobayashi (2000) e Silvestre (2002) se dedicaram ao estudo de misturas compactadas contendo cimento e fosfogesso. Tais pesquisadores realizaram trabalhos relatando as propriedades mecânicas do fosfogesso estabilizado com cimento e os fatores que as influenciam, tais como teor e tipo de cimento, energia de compactação, tempo, condição de cura, pH e expansibilidade. Pesquisas realizadas com estes materiais constataram que o fosfogesso estabilizado com cimento pode ser utilizado como material para execução de base e sub-bases rodoviárias.

Sendo assim, esta pesquisa tem como principal auxiliar na definição da melhor maneira de utilização do fosfogesso em obras de pavimentação.

2 Objetivos

Esta pesquisa tem como principal objetivo estudar a utilização de fosfogesso em obras de pavimentação. Como objetivos específicos têm-se:

- Realizar ensaios de laboratório direcionados para a área de pavimentação;
- Estudar misturas do fosfogesso com cal, com cimento e com solo tropical.

3 Materiais e Métodos

A seguir, são apresentados os materiais e métodos definidos para a realização da pesquisa.

realizados em trabalhos anteriores com o fosfogesso produzido em Catalão-GO (Mesquita, 2007; Rufo, 2009; Metogo, 2010) foram definidas proporções para as seguintes misturas:

- Mistura A: Fosfogesso (91%) + cal calcítica CH-III (9%);
- Mistura B: Fosfogesso (11%) + solo fino estudado por Metogo (2010) (80%) + cal calcítica CH-III (9%);
- Mistura C: Fosfogesso (91%) + cimento CP II Z-32 RS (9%);
- Mistura D: Fosfogesso (11%) + solo fino estudado por Metogo (2010) (80%) + cimento CP II Z-32 RS (9%).

3.2 Ensaios de Laboratório

Com essas amostras foram realizados os seguintes ensaios laboratoriais:

- Análise granulométrica NBR 7181 (ABNT, 1984a) com e sem o uso do defloculante;
- Limites de Liquidez NBR 6459 (ABNT, 1984b);
- Limite de Plasticidade NBR 7180 (ABNT, 1984c);
- Ensaio de compactação NBR 7182 (ABNT, 1986) na energia Proctor intermediário;
- Expansão e Índice de Suporte Califórnia (ISC) conforme NBR 9895 (ABNT, 1987);
- Compressão sem cura e com cura de 7 e 28 dias conforme NBR 12770 (ABNT, 1992).

Com os dados obtidos a partir dos ensaios de caracterização (granulometria e limites), os materiais foram classificados conforme o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e a *Transportation Research Board (TRB)*. A partir dos resultados dos ensaios mecânicos, foram escolhidas as misturas que apresentaram melhores características para serem aplicadas em pavimentação.

4 Resultados e Discussões

A seguir são apresentados os resultados obtidos neste estudo.

4.1 Ensaios de Caracterização

Para a determinação da granulometria de cada amostra obtida foram realizados ensaios de sedimentação com e sem o uso de defloculante e de peneiramento. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos e nas Figuras 3 e 4 tem-se as curvas granulométricas determinadas através dos ensaios.

Tabela 1. Frações granulométricas das amostras analisadas.

Misturas	Com defloculante				Sem defloculante			
	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Fosfogesso (METOGO, 2010)	0,00	35,10	62,32	2,59	0,00	51,88	47,83	0,30
Solo (METOGO, 2010)	0,80	54,35	13,63	34,23	0,80	71,44	27,56	0,21
A (F+9%Ca)	0,00	11,21	88,79	0,00	0,00	30,28	69,72	0,00
B (11%F+S+9%Ca)	0,14	52,69	47,17	0,00	0,14	65,21	34,64	0,00
C (F+9%Ci)	0,00	13,41	86,60	0,00	0,00	23,97	76,03	0,00
D (11%F+S+9%Ci)	0,07	53,66	46,28	0,00	0,07	65,92	34,01	0,00

Obs.: F = fosfogesso, Ca = cal, Ci = cimento, S = solo

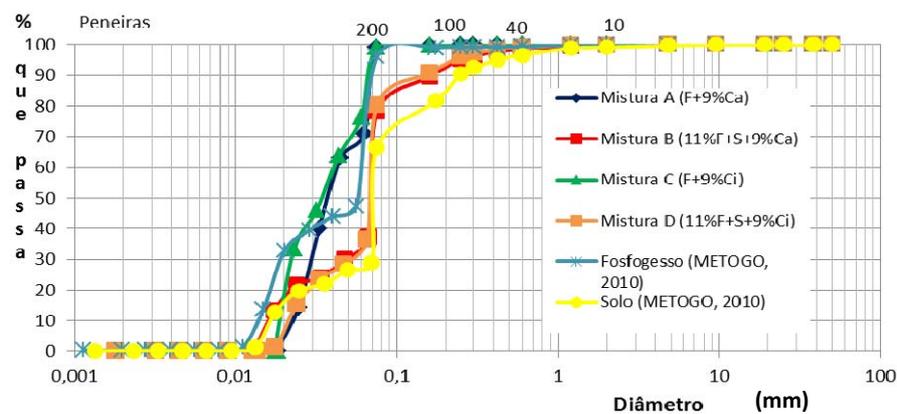


Figura 3. Curvas granulométricas das amostras para cada mistura sem o uso do defloculante.

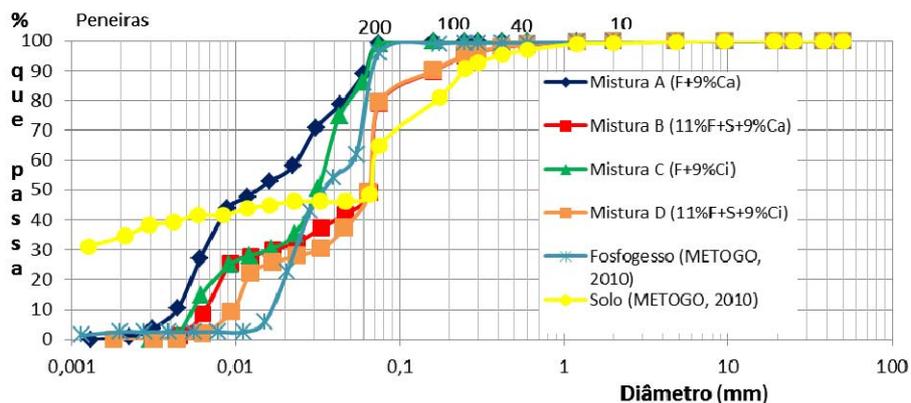


Figura 4. Curvas granulométricas das amostras para cada mistura com o uso do defloculante.

Com a realização dos ensaios sem o uso do defloculante, todas as misturas não apresentaram frações de argila nas suas análises granulométricas. As amostras A e C não apresentaram também pedregulho tendo apenas composição de silte e areia, com

predominância de silte. Já as amostras B e D apresentaram em suas composições frações de pedregulho, areia e silte, tendo a predominância de areia. Ou seja, com esses dados, verifica-se nas misturas realizadas apenas com o fosfogesso e o estabilizante químico (cal ou cimento), predomina a granulometria de fosfogesso, que é de um silte. Já nas misturas executadas com o solo, predomina a fração areia.

Com os resultados obtidos pelos ensaios com o uso de defloculante hexametáfosfato de sódio, verificou-se que as misturas continuaram a não apresentar fração de argila, tendo ainda as frações de areia reduzidas consideravelmente e as de silte, conseqüentemente aumentadas. Esta variação nas frações ocorreu devido à atuação do defloculante que tem a função de desfazer as agregações formadas pela cimentação das partículas menores do solo. Isto mostra que ocorre estabilização química nas diversas misturas estudadas e que independente do estabilizante utilizado (cal ou cimento), os resultados obtidos são semelhantes. As principais diferenças estão no uso puro do fosfogesso ou nas misturas de solo com fosfogesso.

Em laboratório, existe outro aspecto que deve ser observado: nos trabalhos realizados por Metogo (2010), Rufo (2009) e Mesquita (2007), sempre que se foi determinada a umidade de amostras contendo fosfogesso, o material foi levado para a estufa numa temperatura 105 °C, que é o procedimento geralmente adotado para solos. No entanto, conforme apresentado por Ortiz (1997), verifica-se que ocorre mudança do tipo do fosfogesso (alteração química) quando levado a temperaturas superiores a 70 °C. Dessa forma, nos procedimentos de determinação da umidade não ocorre a estabilização da massa. Sendo assim, todas as vezes que amostras contendo fosfogesso foram levadas para a estufa, utilizou-se a temperatura máxima de 70°C e aguardou-se o tempo necessário para estabilização da massa. Somente depois desta estabilização é que a temperatura da estufa foi elevada para 105°C.

Neste trabalho, optou-se por fazer uma correção nos valores das umidades até então obtidas através da correlação das umidades dos materiais levados à estufa nas diferentes temperaturas. Para cada mistura, determinou-se uma equação de correlação (Figuras 5 e 6). Observa-se que temperaturas maiores geram valores maiores de umidade, justificada pela desidratação do fosfogesso di-hidratado e alteração da estrutura pela evaporação da água molecular.

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos para a massa específica dos grãos (ρ), limites de liquidez (w_L) e plasticidade (w_P), índice de plasticidade (IP) e as classificações tradicionais SUCS e *TRB*. Observa-se que quando o fosfogesso é utilizado, não existe plasticidade na amostra e a massa específica varia entre 2,4 e 2,9 g/cm³ devido aos minerais presentes nos

materiais. O solo apresentava baixo valor de IP. No entanto, a incorporação do fosfogesso e dos estabilizantes químicos (cal e cimento) gerou aumento dessa propriedade. Isto provavelmente ocorreu devido à formação de novos minerais durante as reações.

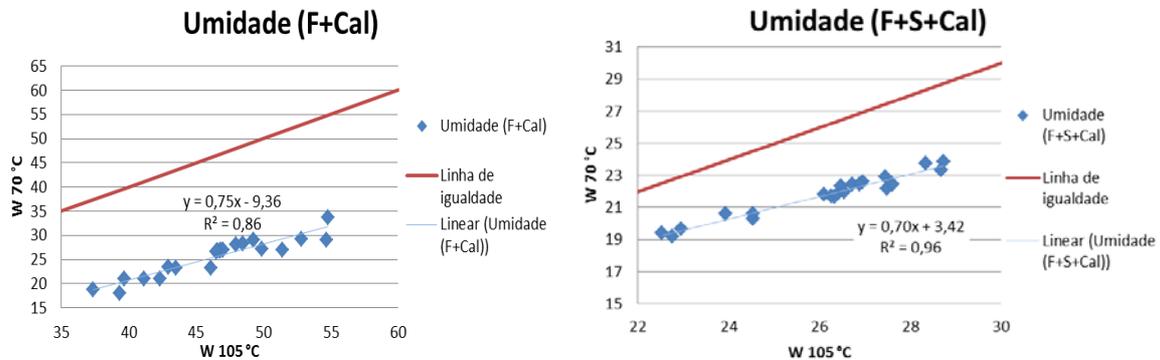


Figura 5. Relação entre teores de umidades obtidos a temperaturas de 70 ° C e 105 ° C, das misturas A e B.

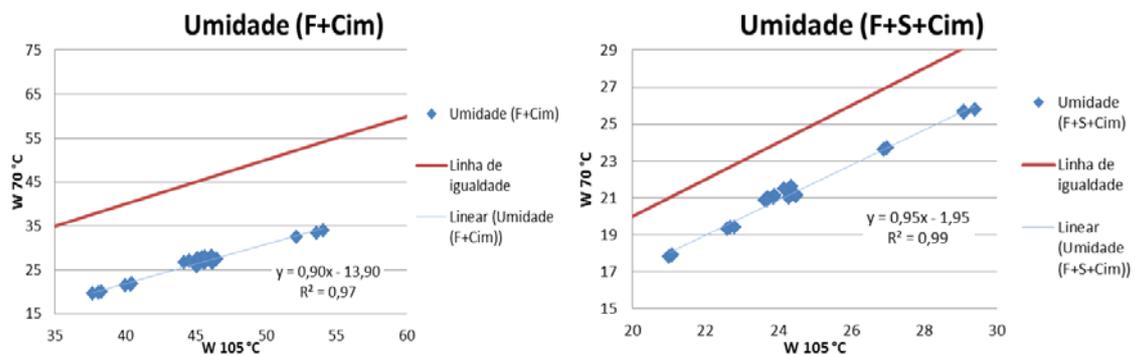


Figura 6. Relação entre teores de umidades obtidos a temperaturas de 70 ° C e 105 ° C, das misturas B e C.

Tabela 2. Massa específica dos grãos, limites de consistência e classificações.

Misturas	Propriedades				Classificação	
	ρ (g/cm ³)	w _L (%)	w _p (%)	IP (%)	SUCS	TRB
Fosfogesso (METOGO, 2010)	3,293 ^(*)	---	---	NP	ML	A-4
Solo (METOGO, 2010)	2,697	34,0	29,0	5,0	ML	A-4
A (F+9%Ca)	2,542	---	---	NP	ML	A-4
B (11%F+S+9%Ca)	2,902	31,0	24,5	6,5	ML	A-4
C (F+9%Ci)	2,461	---	---	NP	ML	A-4
D (11%F+S+9%Ci)	2,733	32,4	23,4	9,0	ML	A-4

Obs.: F = fosfogesso, Ca = cal, Ci = cimento, ρ = massa específica dos grãos, w_L = limite de liquidez, w_p = limite de plasticidade, IP = índice de plasticidade, SUCS = Sistema Unificado de Classificação dos Solos, TRB = *Transportation Research Board*; NP = não plástico.

(*) Valor com umidades determinadas a temperatura de 105 ° C sem realização de correção dos valores de umidade.

4.2 Compactação, Expansão e California Bearing Ratio (CBR)

Na Tabela 3 estão apresentados parâmetros obtidos nos ensaios de compactação dos materiais na energia Proctor intermediário, CBR e nas Figuras 7 a 11 estão apresentadas as curvas obtidas. Os corpos-de-prova após serem compactados foram imersos em água durante quatro dias para a realização do ensaio de expansão e posterior ensaio de CBR. Nesse caso não são apresentados os parâmetros do fosfogesso puro pelo fato dele não apresentar resistência, conforme relatado por Mesquita (2007). Sabe-se que no caso de materiais estabilizados quimicamente, o CBR não é o ensaio mais adequado para determinar suas características mecânicas e definir qual a dosagem ideal a ser utilizada numa obra. O correto é realizar ensaios de compressão simples ou até mesmo o triaxial dinâmico específico para pavimentação. No entanto, com os resultados obtidos podem ser realizadas algumas comparações entre os diferentes materiais estudados.

Tabela 3. Resultados de compactação, expansão e CBR.

Misturas	Propriedades			
	w_{ot} (%)	$\rho_{dmáx}$ (kN/m ³)	Expansão (%)	CBR (%)
Solo (METOGO, 2010)	21,0	16,00	0,00	14
A (F+9%Ca)	24,4	13,30	0,30	40
B (11%F+S+9%Ca)	21,9	15,60	1,21	248
C (F+9%Ci)	25,6	13,30	1,50	135
D (11%F+S+9%Ci)	20,9	15,70	0,27	500

Obs.: F = fosfogesso, Ca = cal, Ci = cimento, S = solo, w_{ot} = umidade ótima, $\rho_{dmáx}$ = peso específico aparente seco máximo, CBR = *California Bearing Ratio*.

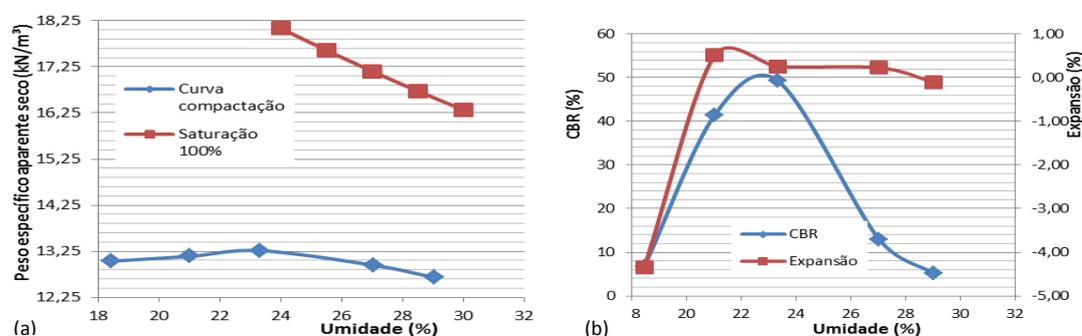


Figura 7. Curvas da Mistura A: (a) Curvas de compactação e Saturação 100%, (b) Curvas de CBR (%) e Expansão (%).

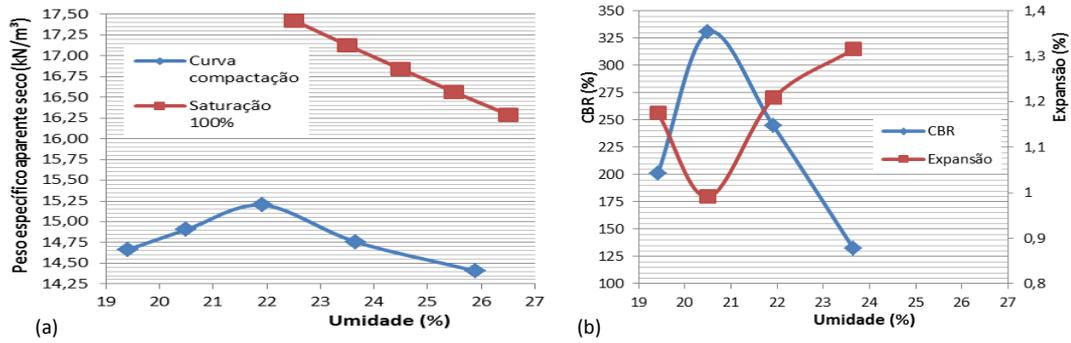


Figura 8. Curvas da Mistura B: (a) Curvas de compactação e Saturação 100%, (b) Curvas de CBR (%) e Expansão (%).

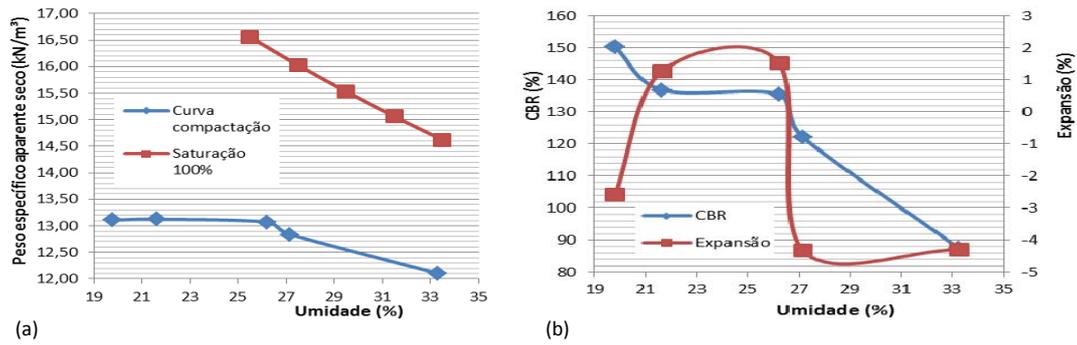


Figura 9. Curvas da Mistura C: (a) Curvas de compactação e Saturação 100%, (b) Curvas de CBR (%) e Expansão (%).

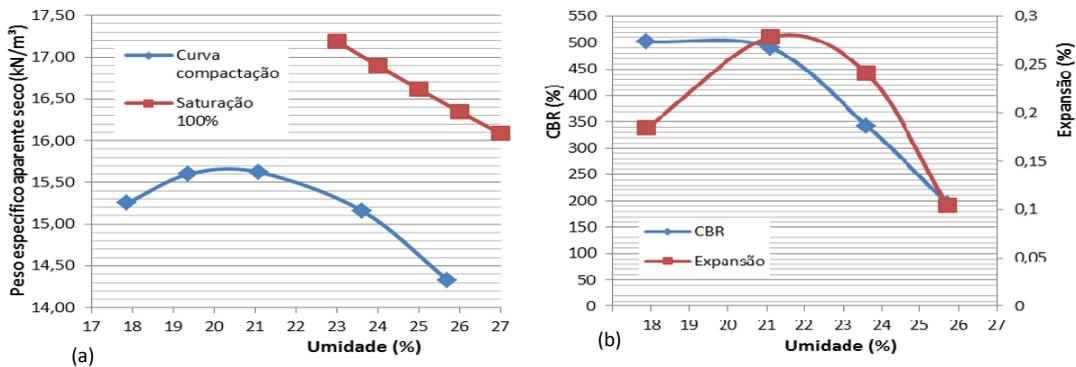


Figura 10. Curvas da Mistura D: (a) Curvas de compactação e Saturação 100%, (b) Curvas de CBR (%) e Expansão (%).

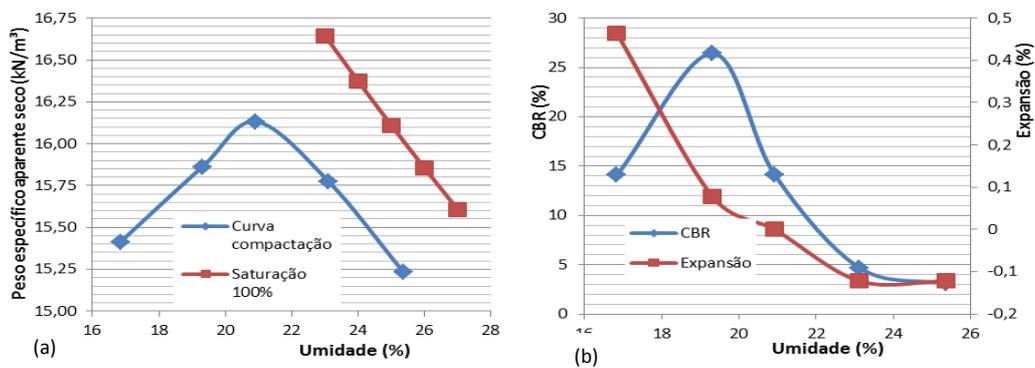


Figura 11. Curvas do Solo (Metogo, 2010): (a) Curvas de compactação e Saturação 100%, (b) Curvas de CBR (%) e Expansão (%).

Diferente do que foi observado nos ensaios de caracterização, a mudança do estabilizante químico utilizado (cal ou cimento), parece influenciar nos resultados. Para essas amostras, o cimento proporcionou maior ganho de resistência quando comparado com a cal. Para confirmar ou não essa hipótese, devem ser realizados ensaios mais apropriados e avaliados também diferentes tipos de cura. No entanto, em termos de expansão, os dados obtidos foram contraditórios: foram observados valores elevados quando a cal foi incorporada na mistura de solo e fosfogesso e quando o cimento foi misturado apenas com o fosfogesso. Para explicar melhor esta questão, é necessário que sejam realizados ensaios complementares como, por exemplo, microscopia para análise da estrutura das diferentes misturas compactadas e difração de raios-X para identificação dos minerais existentes.

A diferença no tipo de cal, sendo a utilizada nos estudos de Metogo (2010) a cal calcítica CH-I e a utilizada nesse estudo a cal calcítica CH-III, pode ter influenciado na variação dos resultados obtidos já que o solo utilizado foi o mesmo nas duas pesquisas. É importante ressaltar a origem do solo utilizado já que Metogo (2010) verificou que o tipo de solo influencia na determinação da viabilidade da utilização das misturas de solo+fosfogesso+cal em pavimentação comparando com os resultados obtidos por Rufo (2009).

Comparando as formas das curvas de compactação obtidas (Figuras 7a, 8a, 9a, 10a e 11a), observa-se que quanto maior o teor de fosfogesso na mistura, mais achatada é a forma da parábola. Esse fato pode interferir na maior ou menor facilidade de se compactar os materiais numa pista real. Sendo assim, pensando numa aplicação em campo, as misturas que apresentam solo em sua composição seriam mais indicadas para serem utilizadas. Em termos da variação da expansão em função da umidade de compactação (Figuras 7b, 8b, 9b, 10b e 11b), cada mistura apresentou formas diferenciadas de curvas, recomendando-se, neste caso, a análise apenas do valor de expansão referente ao teor de umidade ótima (Tabela 3).

4.3 Resistência à compressão simples

Os resultados obtidos no ensaio de compressão das misturas estão apresentados na Tabela 4. Nas Figuras 12 e 13 são apresentadas as curvas medidas durante a execução dos ensaios. Observa-se que a mistura que apresentou a menor resistência à compressão simples sem cura foi a Mistura A (F+9%Ca). Com 7 dias de cura, o ganho de resistência foi pequeno mantendo-se estável aos 28 dias. Já as outras misturas obtiveram ganhos consideráveis ao longo do tempo. As misturas com a composição de cimento foram as que apresentaram as maiores resistências, principalmente na mistura contendo solo.

Tabela 4. Resultados de resistência à compressão simples

Misturas	Pressão de ruptura (kPa)		
	Sem cura	7 dias	28 dias
Solo (Metogo, 2010)	376	-	-
A (F+9%Ca)	312	397	395
B (11%F+S+9%Ca)	532	854	1563
C (F+9%Ci)	328	1588	2075
D (11%F+S+9%Ci)	613	2533	3222

Obs.: F = fosfogesso, Ca = cal, Ci = cimento, S = solo

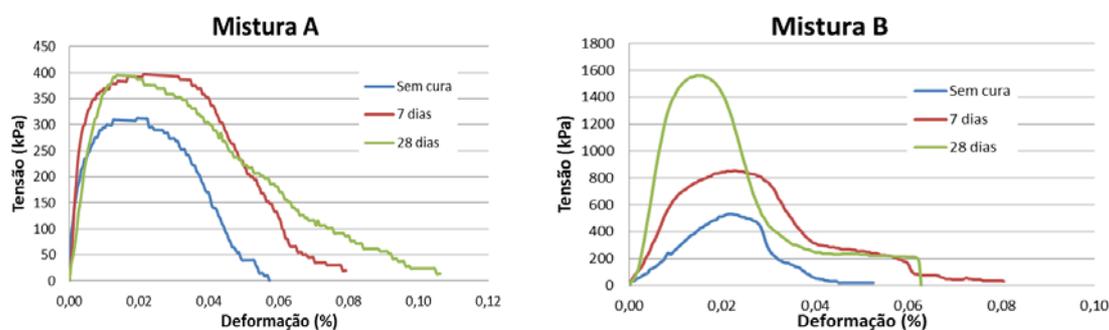


Figura 12. Curvas Tensão x Deformação obtidas com o ensaio de compressão simples das misturas A e B.

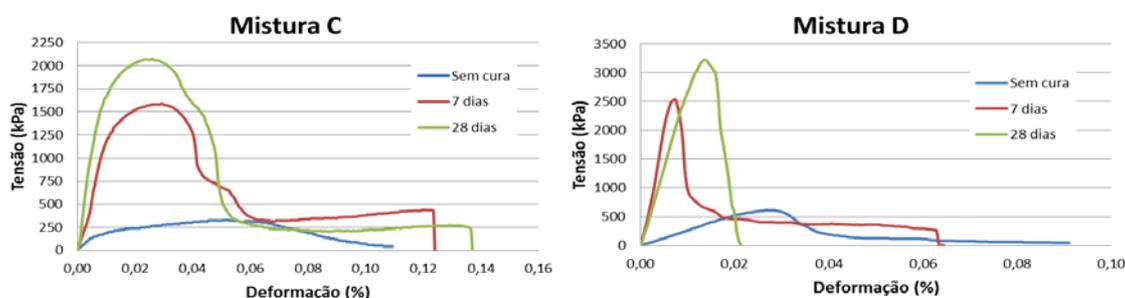


Figura 13. Curvas Tensão x Deformação obtidas com o ensaio de compressão simples das misturas C e D.

Juntando os resultados desta pesquisa com os de Metogo (2010), verifica-se na Figura 14 que sem considerar o tempo de cura, todos os materiais apresentam valores de resistência semelhantes ao do solo. Ao longo do tempo, é notável o ganho de resistência devido às reações químicas existentes entre os diferentes materiais. Para o solo argiloso tropical abundantemente encontrado na região, pensava-se que a estabilização química com cal apresentaria melhor do que com cimento. No entanto, quando se utiliza o fosfogesso, verifica-se que o ganho de resistência obtido com o mesmo teor de cimento é maior.

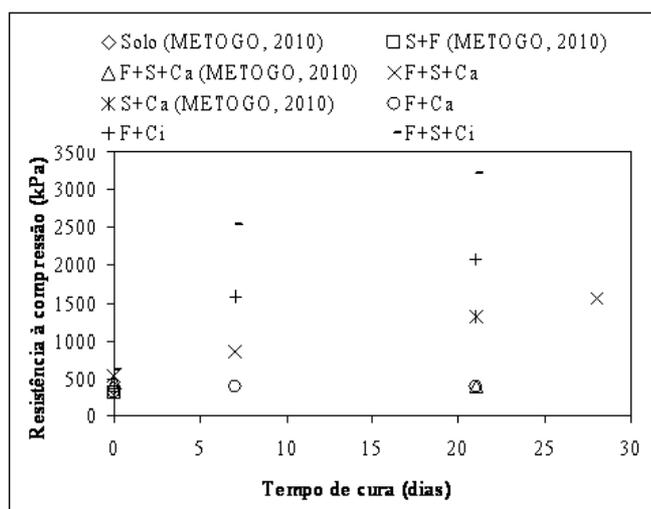


Figura 14. Resistência à compressão versus tempo de cura

5 Conclusões

Pensando no uso desses materiais em pavimentação, verifica-se que o solo ou o fosfogesso sozinhos teriam utilização bastante limitada, pois esses materiais não apresentam resistência mecânica suficiente para suportar a solicitação das cargas devido ao tráfego. Na intenção de propor soluções para utilizá-los, contribuindo ambientalmente com a reutilização de resíduos e na construção de pavimentos econômicos devido ao uso de solos encontrados no próprio local da obra, verifica-se que existe a possibilidade de trabalhar com esses materiais na forma de misturas com cimento ou cal.

No entanto, quando se trata do fosfogesso, nesse processo de estabilização química devem ser realizados ensaios adequados para a análise do comportamento das misturas e investigada a questão da possibilidade de existir expansões elevadas ou não. Dentre os estabilizantes estudados, o cimento promoveu ganho de resistência superior ao gerado pela cal. No entanto, em função do tráfego existente na via e da camada a ser executada, todas as misturas estudadas poderiam ser aplicadas em pavimentação.

Em termos de ganho ambiental, a melhor aplicação seria aquela em que o fosfogesso pudesse ser utilizado em maior quantidade. No entanto, a mistura desse resíduo com solos locais aparece como uma boa alternativa para tornar menos complexo o processo executivo e o controle tecnológico em uma obra real.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e ao CNPq pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

Referências

ABNT. **Solo – Análise Granulométrica – NBR – 7181**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 13p, 1984a.

ABNT. **Solo – Determinação do limite de liquidez – NBR – 6459**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 6p, 1984b.

ABNT. **Limite de plasticidade – NBR – 7180**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 3p, 1984c.

ABNT. **Ensaio de compactação – NBR – 7182**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 10p, 1986.

ABNT. **Índice de Suporte Califórnia – NBR – 9895**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 1986.

ABNT. **Solo coesivo - Determinação da resistência à compressão não confinada - NBR 12770**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 4p, 1992.

MINAS AMBIENTE. **Ensino e desenvolvimento tecnológico para controle ambiental na indústria: pesquisa tecnológica para controle ambiental em unidades de produção de ferro-gusa de Minas Gerais**. Relatório Técnico, Belo Horizonte, 1999, 140p.

MESQUITA, G.M. **Aplicação de misturas de fosfogesso e solos tropicais finos na pavimentação**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente. Goiânia, 2007, 144p.

METOGO, D.A. **Construção e Avaliação de um Trecho Experimental de Pavimento Flexível Executado com Misturas de Solo Tropical, Fosfogesso e Cal**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Mecânica Estrutural e Construção Civil, 2010, 195p.

OLIVEIRA, S. M. F. **Estudo do comportamento mecânico de misturas de fosfogesso e cal para utilização na construção rodoviária**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005, 190p.

ORTIZ, J.A. **Estudo de misturas de solo e fosfogesso com vistas a sua utilização em rodovias**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, SP, 1997, 179 p.

RUFO, R. C. **Estudo laboratorial de misturas de fosfogesso, solo tropical e cal para fins de pavimentação**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2009, 152p.

SILVA, N. C.; CIPRIANI, M.; TADDEI, M. H. T. **Estudos da taxa de exalação de radônio, dos processos de lixiviação de metais pesados e radionuclídeos e das características físicas, químicas e radiométricas do fosfogesso da Ultrafértil e da Copebrás, visando a**

sua utilização na construção de aterros. Comissão Nacional de Energia Nuclear, Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear. Poços de Caldas, MG, 2002.