

ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS PLÁSTICOS COM O USO DE REJEITO DE GESSO ACARTONADO DA INDÚSTRIA DE DRYWALL PARA APLICAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

O solo é a camada mais superficial da crosta terrestre, constituída por minerais, possuindo inúmeras variações devido aos seus fatores de formação, como origem, relevo, clima e tempo. Essa variabilidade pode gerar um material com características que não se enquadram nas especificações técnicas tradicionais para uso em engenharia. A plasticidade e a presença de matéria orgânica são os fatores mais prejudiciais do ponto de vista do emprego em pavimentação, assim como a baixa capacidade de suporte de carga, alta compressibilidade e baixa resistência ao cisalhamento do material (SARTORI, 2015).

Nesse contexto, a estabilização de solos tem fundamental importância para pavimentação, uma vez que possibilita o emprego de materiais que naturalmente não estariam aptos a resistir aos rigores do tráfego. Para reduzir custos operacionais, pode-se optar por usar o solo local estabilizado, gerando economia em transporte e/ou compra de agregados, confeccionando assim camadas de base que atendam as características geotécnicas determinadas nas normas, com metodologia descrita tanto pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) quanto pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

A estabilização consiste no tratamento do solo por um processo mecânico ou químico, dando condições de resistir as tensões e deformações durante sua vida de serviço, permanecendo assim, mesmo sob a ação de cargas exteriores e ações climáticas (BATISTA, 1976). Segundo Guimarães (1997), os métodos de estabilização mais difundidos são: compactação, a correção granulométrica e a adição de estabilizantes químicos. A escolha do método a ser utilizado deve levar em consideração os fatores econômicos, o tipo de pavimento e as características do solo adotado.

A estabilização química visa a melhoria das propriedades físicas e mecânicas do solo por meio de alteração da estrutura química do material com o uso de aditivos, que podem ser dos mais variados tipos. Como aditivos para estabilização química, pode-se citar: cimento, cal e rejeitos industriais (como o gesso e o fosfogesso), entre outros.

A geração de resíduos, como o fosfogesso e o gesso, está diretamente relacionada com o processo de industrialização e o crescimento dos centros urbanos. Com a crescente preocupação ambiental, busca-se cada vez mais minimizar os impactos ambientais com o uso de técnicas de reuso ou reciclagem desses resíduos (SILVA, 2009).

O gesso é um dos materiais mais conhecidos e utilizados pelo homem. Segundo a SINDUSGESSO (2011), a produção de gesso no Brasil está localizada basicamente no pólo gesseiro do Araripe, no estado do Pernambuco, responsável por cerca de 95% da produção brasileira. Sua utilização é frequente na confecção de placas pré-moldadas de componentes de forros e acabamentos, na aplicação como revestimento de paredes e na fabricação de painéis de gesso acartonado.

As perdas na produção do gesso acartonado estão ligadas diretamente com os processos de corte. Estima-se que as perdas ficam entre 10 a 15% da produção total. Na região do cariri existe uma indústria de Drywall, com produção anual de 4.000.000 m² e seus resíduos são descartados de forma inadequada.

Diante dessa perspectiva, acredita-se que o resíduo de gesso pode ser utilizado como estabilizante químico, melhorando a plasticidade e resistência dos solos de forma semelhante ao uso da cal e do fosfogesso. Logo, esse trabalho tem por finalidade analisar a possibilidade da aplicação do rejeito do gesso da indústria de drywall como aditivo estabilizador de solos plásticos, corrigindo a plasticidade excessiva e a resistência desses solos da região do cariri cearense para a aplicação em camadas granulares de pavimentos.

1.1 Fundamentação teórica

1.1.1 Estabilização de Solos

A qualidade de um solo é um elemento essencialmente crítico para o sucesso de um projeto de pavimentação, pois nem sempre os solos naturais disponíveis possuem as características geotécnicas exigidas para suportar a obra projetada, principalmente quanto à sua resistência, tornando-se necessário corrigi-lo ou substituí-lo por outro, com a adição ou subtração de componentes, ou com a ação de agentes químicos (orgânicos ou inorgânicos). A escolha da técnica deve ser baseada na economia e ainda na finalidade da obra (GUÉRIOS, 2013).

Diante disso, a estabilização de solos surge como uma boa alternativa. A aplicação deste método possibilita a utilização do solo peculiar de cada trecho acrescido de um aditivo

que tem a função de melhorar características do solo, adaptando-o para atender às especificações técnicas de projeto. Assim, espera-se que o solo resista melhor a esforços e desgastes relacionados ao tráfego e à ação de intempéries (SIMIONI, 2011).

A estabilização pode ser alcançada de diversas formas tais como: mecânica (com a estabilização granulométrica ou com a variação da energia de compactação) e a química (através da adição de produtos como cal, cimento, materiais asfálticos e aditivos específicos).

No processo de estabilização química o solo tem sua estrutura mudada, passando a ter maior resistência, menor permeabilidade e compressibilidade do que o solo nativo. Com a adição de estabilizadores ao solo natural, ocorrem reações químicas que promovem o preenchimento dos poros, assegurando a melhoria das propriedades físicas e mecânicas do solo, para a obtenção da resistência exigida em projeto. Os resultados alcançados por este processo dependem principalmente das reações químicas que acontecem entre o estabilizador e os minerais presentes no solo (GUIMARÃES, 1998).

De acordo com Sherwood (1993), os materiais granulados finos são os mais fáceis de estabilizar quimicamente devido à sua grande área superficial em relação ao seu diâmetro de partícula. Um solo argiloso em comparação com outros, tem uma grande área superficial devido o formato das partículas. Nesse tipo de estabilização, destaca-se o uso de materiais como o cimento, a cal e materiais betuminosos.

Araújo (2009) avaliou a viabilidade técnica da adição de cal em pó e em pasta para a aplicação em rodovias do estado do Ceará, precisamente na região do Agropólo do Baixo Jaguaribe. Neste trabalho foram selecionadas duas amostras de solos da região para serem estabilizadas, variando a forma de aplicação do estabilizante (em pó e em pasta). Os teores de cal foram 3%, 5% e 7%, sendo submetidos a tempos de cura de 0, 7, 14, 28 e 90 dias. A energia de compactação também variou entre normal e intermediária. As amostras foram ensaiadas analisando o comportamento químico e o comportamento mecânico. Foi verificado que a adição de cal proporcionou um incremento significativo de resistência nas amostras de solos, melhorando suas características físicas e mecânicas.

Inúmeras são as pesquisas sobre estabilização de solos destinados a pavimentação usando materiais alternativos, como os trabalhos realizados por Rufo (2009), que analisou o comportamento mecânico de misturas compostas por fosfogesso, solos tropicais e cal, visando a aplicação em pavimentação. Para avaliar o comportamento das misturas solo-fosfogesso, solo-cal e solo-fosfogesso-cal foram realizados ensaios de caracterização física e mecânica

das misturas. As porcentagens de fosfogesso variaram entre 10%, 20% e 30% e as porcentagens de cal variaram entre 3%, 6% e 9%. Ao fim da pesquisa, conclui-se que as mistura solo-cal e solo-fosfogesso obtiveram as melhores resistências, podendo ser utilizada em camadas de base de pavimentos.

Mesquita (2007) estudou o comportamento de misturas de fosfogesso e solos tropicais finos em pavimentos, analisando a viabilidade técnica e financeira da aplicação. Sua pesquisa foi dividida na caracterização de três amostras variando a porcentagem de fosfogesso em 20%, 50% e 80% em massa. Os resultados obtidos mostraram que o fosfogesso pode ser utilizado em camadas de pavimentos, no entanto não recomenda a aplicação de teores acima de 30%, pois acima desse valor a resistência mecânica do material não apresenta aumentos significativos. Com relação a impactos ambientais, não foram detectados problemas.

1.1.2 Gesso

Segundo Bauer (2001), gesso é um termo genérico que se refere a uma série de aglomerantes obtidos a partir da calcinação do minério de gipsita natural, o qual é composto por Sulfato de Cálcio di-hidratado e impurezas. Segundo Bardella (2011), o principal constituinte do gesso é o hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) que, ao entrar em contato com a água, se hidrata, formando novamente a gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); sendo essa reação a responsável pelo endurecimento e pela resistência mecânica da pasta.

Segundo a Sindusgesso (2011), o setor gesseiro brasileiro encontra-se em grande ascensão, com taxa de crescimento na ordem de 8% ao ano. Isso pode ser relacionado a grande disseminação de sistemas construtivos alternativos, o baixo custo do gesso e o alto teor de pureza das jazidas nacionais. Segundo dados da Sindusgesso, em 2007 o estado de Pernambuco era responsável por 85% da produção nacional de gesso, já em 2011 essa porcentagem subiu para 95%, seguido do estado do Maranhão com participação de 3%, o Ceará com 1,5% e o Tocantins com 0,3%.

Ainda no estado do Pernambuco, 61% da produção total é destinada a fabricação de blocos e placas, 35% destinado para revestimentos, 3% para moldes cerâmicos e 5% para outros usos. Na produção em âmbito nacional, cerca de 59% da gipsita é direcionada para o setor de calcinação, 30% para o setor cimenteiro e 11% ao setor agrícola. No setor da construção civil são destinados cerca de 1.000.000 de toneladas do minério por ano (MARCONDES, 2007).

De acordo com Baltar, Bastos e Luz (2005), as jazidas do Araripe são consideradas as de minério de melhor qualidade no mundo e apresentam excelentes condições de mineração. Barbosa, Ferraz e Santos (2014) associam a elevada demanda de gesso na região além das boas condições de mineração das jazidas à excelente qualidade do minério extraído, com pureza que varia de 80 a 95%.

A cadeia produtiva concentrada no Pólo Gesseiro do Araripe é responsável pelo abastecimento de quase toda a região do sudeste brasileira. O pólo é constituído por 37 minas de exploração do minério, 100 calcinadoras e 300 unidades produtoras de componentes, sendo a maioria dos processos feitos artesanalmente (DNPM, 2001). Possui capacidade produtiva de cerca de 1,2 milhões de toneladas por ano e com potencial de exploração de cerca de 600 anos (SINDUSGESSO, 2011).

A gipsita é a matéria-prima fundamental para a obtenção do gesso, a qual pode ser obtida de fontes naturais ou fontes residuais, sendo constituída principalmente por sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). A gipsita natural é obtida de rochas sedimentares, constituída por cloretos e sulfatos de sódio, cálcio, magnésio e potássio. Já a gipsita residual é obtida por meio de processos industriais de fabricação do ácido fosfórico (fosfogesso) do ácido fluorídrico (fluorogesso), do ácido bórico (borogesso) e da dessulfurização dos gases de combustão (JOHN; CINCOTTO, 2007).

Segundo Pinheiro (2011) a produção do gesso, por meio da gipsita natural, se inicia a partir da extração da gipsita natural ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), passando pelos processos de britagem, calcinação, pulverização, ensilagem e embalagem final. No processo de extração são utilizados explosivos para a fragmentação do minério. Após a extração, os fragmentos de gipsita passam por uma série de britagens a fim reduzir o tamanho do material, para que a gipsita possa ser calcinada. Na calcinação acontece o processo de desidratação térmica da gipsita, onde ocorre a conversão do mineral com composição inicial ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) no hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), como mostra a equação 1.



De acordo com a temperatura de calcinação, pode-se obter diferentes tipos de gesso. Os hemidratos ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) são obtidos em temperaturas entre 140°C e 160°C. A anidrita III (CaSO_4) é obtida com temperaturas entre 160°C e 200°C. Quando a calcinação acontece em temperaturas de 250°C a 800°C obtém-se a anidrita II (CaSO_4) cuja velocidade

de hidratação é lenta. Acima de 800°C, a anidrita encontra-se em estado similar ao da anidrita natural, com difícil hidratação (PINHEIRO, 2011).

Feito o processo de calcinação, é feito o processo de pulverização do gesso que tem por finalidade conferir ao material a granulometria adequada para sua aplicação. Depois da pulverização, o material é armazenado em silos que, segundo Pinheiro (2011) proporcionam a estabilização dos hemidratos e anidritas, o que configura maior homogeneidade ao material e proporciona melhor qualidade. A partir da ensilagem, o gesso é classificado de acordo com o tempo de pega e embalado.

1.1.3 Gesso Acartonado

Drywall – em português parede seca – é um sistema de vedação interna constituído por placas de gesso revestidas por papel cartão (gesso acartonado) e perfis de aço galvanizado. De acordo com Yazigi (2014), o gesso proporciona a resistência à compressão e o cartão resistência à tração. As placas de gesso acartonado são fixadas em um painel vertical formado por perfis de aço galvanizado que se dividem entre guias e montantes, que servem como apoios para instalação de esquadrias e cargas pontuais (cargas como móveis e eletroeletrônicos). O espaço interno do sistema é preenchido com materiais que melhoram o desempenho termoacústico da vedação, além de configurar proteção à determinadas situações de incêndio. A Figura 3 mostra uma parede em drywall com seus respectivos componentes.

As chapas de gesso acartonado são constituídas por 92% de gesso, 7% de papel cartão e 1% de aditivos e impurezas. O papel cartão utilizado é na grande maioria das vezes importado, por mais que a indústria de celulose no Brasil detenha de tecnologia suficiente para realizar a produção, não é viável economicamente devido à baixa competitividade nacional da produção desse material (MARVIN, 2000).

De acordo com dados da Associação Brasileira de Fabricantes de Chapas para Drywall (2017), são consumidos 60 milhões de metros quadrados de chapas anualmente no Brasil, e o segmento tem um crescimento médio de 15% ao ano.

Atualmente existem quatro indústrias do segmento no Brasil. Dentre as indústrias de gesso acartonado instaladas no Brasil, uma está localizada na cidade de Juazeiro do Norte (CE). Segundo dados coletados, a fabricante possui atuação concentrada nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil, e conta com uma produção média anual de 4.000.000 m² de chapas para drywall.

Associado a essa grande produção, está a geração de resíduos. O volume de resíduos gerado durante o processo de fabricação varia em função do local considerado. Nos Estados Unidos, o valor é da ordem de 3% a 5% (CAMPBELL, 2003). No Brasil, o volume estimado alcança o valor de 2,5% (MARCONDES, 2007). Os resíduos de gesso gerados no processo de fabricação das chapas são constituídos por gesso hidratado e papelão. Pinheiro (2011) afirma que, quando controladas as impurezas e os contaminantes, é possível utilizar o resíduo de gesso em processos de reciclagem simples, constituídos de etapas de moagem e/ou de moagem associada à calcinação.

Devido a sua facilidade de reversão da forma hidratada/hemi-hidratada, o gesso torna-se potencialmente reciclável. No entanto, deve-se considerar alguns fatores relevantes, como a gestão adequada na produção do resíduo, de forma a reduzir a contaminação e os teores de impureza no resíduo, e o desenvolvimento de processos de moagem e calcinação que proporcionem ao material reciclado as características necessárias para um uso específico (JOHN; CINCOTTO, 2007).

Diversos trabalhos vem sendo desenvolvidos com o objetivo de estudar as características do resíduo do gesso, assim como a viabilidade do reuso ou reciclagem, tanto do gesso das chapas de drywall como do gesso da construção civil.

Carvalho (2018), estudou as propriedades físicas e mecânicas do gesso acartonado, abrindo espaço para o estabelecimento de processos de reinserção dos resíduos em cadeias produtivas. Seu trabalho teve como metodologia a realização de ensaios laboratoriais, a fim de quantificar os parâmetros estabelecidos nas normas que atestam a aceitação do gesso para a construção civil. As amostras foram calcinadas nas temperaturas de 160°C e 200°C, durante os tempos de 1, 8, 16 e 24 horas, o que culminou na separação de amostras para a realização dos ensaios de caracterização física e mecânica. Os resultados obtidos mostraram que a reciclagem do gesso das chapas é viável, abrindo espaço para a definição de mecanismos de reaproveitamento dos resíduos em processos produtivos.

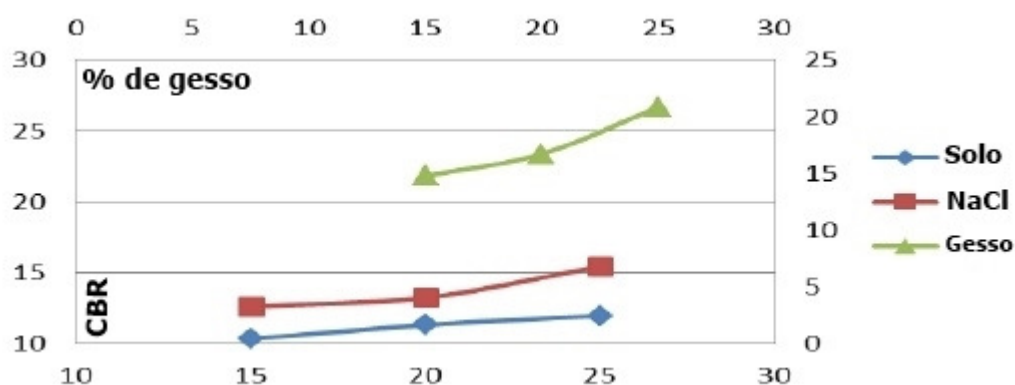
1.1.4 Estabilização Solo-Gesso

O gesso é uma fonte de cálcio que é o principal mecanismo que liga a matéria orgânica do solo à argila, o que confere estabilidade aos agregados. O gesso complementa ou até amplia os efeitos benéficos dos polímeros solúveis em água usados como emendas para melhorar a estrutura do solo. Significativamente o gesso é um produto químico adequado para a melhoria da capacidade de suporte. No caso de solos argilo-siltosos, as propriedades de

engenharia são melhoradas pela adição de sais de cloreto como NaCl, $MgCl_2$ e $CaCl_2$. Os sais de cloreto aumentam a densidade aparente seca máxima, diminuindo o teor ótimo de umidade (MURTHY *et al.*, 2016).

Murthy *et al.* (2016), estudou o efeito da adição de diferentes compostos, incluindo (NaCl e Gesso), nas propriedades geotécnicas de solos argilo-siltoso. Várias quantidades de sais (15%, 20% e 25%) são adicionadas ao solo para estudar o efeito de agentes estabilizantes nas características de compactação, limites de consistência e resistência à compressão. Os principais resultados deste estudo foram que o aumento na porcentagem de cada um dos compostos químicos aumentou a densidade seca máxima e diminuiu o teor ótimo de umidade. O limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade diminuiu com o aumento do conteúdo de aditivos. A resistência à compressão aumentou à medida que o conteúdo químico aumentou assim como aumentou a capacidade de suporte do solo. A Figura 9 mostra a evolução do comportamento da resistência do solo com a adição de gesso e NaCl.

Figura 9 – Comportamento do CBR do solo com a adição de estabilizante



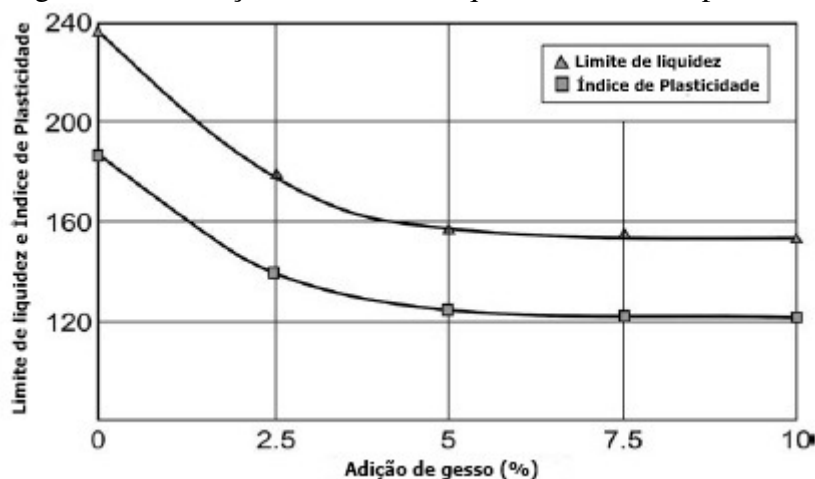
Fonte: Adaptado de Murthy *et al.* (2016).

Percebe-se por meio da Figura 9, que o maior ganho de resistência do solo acontece com a adição de gesso a mistura, passando de um CBR de 10% para um CBR de 22% com a adição de 15% de gesso. Ao adicionar 25% de gesso o CBR do solo chega a cerca de 27%. Logo o teor ótimo de gesso que provoca um aumento acentuado na resistência do solo seria em torno de 15%. A adição de NaCl não gera mudanças significativas no solo.

Yilmaz e Civelekoglu (2009), estudaram o desempenho da adição do gesso para o tratamento de solos argilosos expansivos. Quantidades diferentes de gesso (2,5%, 5%, 7,5% e 10%) foram adicionadas ao solo, sendo realizados ensaios de compactação, Limites de Atterberg e resistência a compressão, executadas em diferentes tempos de cura (0, 7, 14 e 28

dias). Utilizando o teor máximo considerado de gesso (10%), verificou-se que a mudança mais importante ocorreu na primeira semana, e o período de cura de 7 dias foi aceito como um tempo de cura que resulta em uma melhora significativa da mistura. A Tabela 1 mostra o comportamento dos Limites de Atterberg com a adição do gesso.

Figura 10 – Variação do limite de liquidez e índice de plasticidade.



Fonte: Adaptado de Yilmaz, Civelekoglu 2009

Tabela 1 – Influência das porcentagens de gesso nos limites de Atterberg

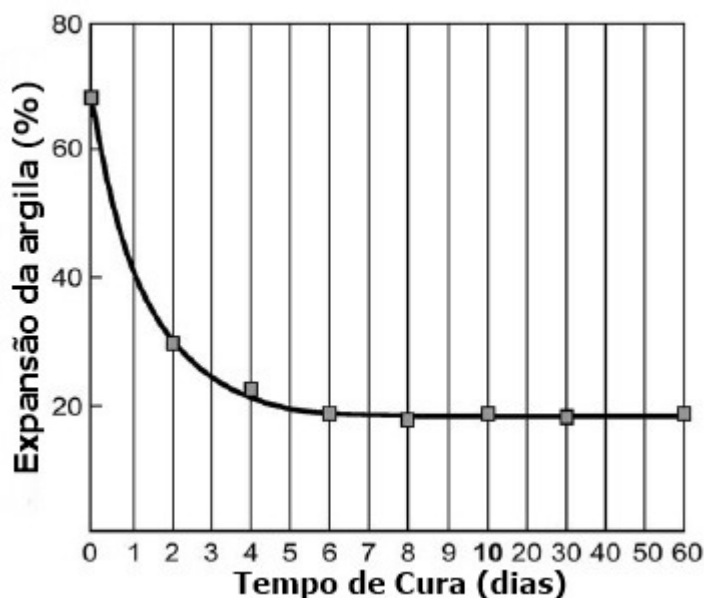
<i>LIMITES DE ATTERBERG</i>					
% DE GESSO	0	2,5	5	7,5	10
LIMITE DE LIQUIDEZ %	237,3	180,7	157,4	155,2	152,8
LIMITE DE PLASTICIDADE %	50,4	41,2	33,1	33,3	32
INDICE DE PLASTICIDADE %	186,9	139,5	124,3	121,9	120,8

Fonte: Adaptado de Yilmaz, Civelekoglu 2009

Por meio do gráfico da Figura 10 pode-se perceber que após a adição de 5% de gesso a mistura não sofre grandes alterações de plasticidade, sendo, portanto, o teor ótimo da mistura. Com relação ao tempo de cura da mistura, a Figura 11 mostra a variação na expansão da argila, variando o teor de gesso e o tempo de cura. Verificou-se que as mudanças mais importantes ocorreram rapidamente na primeira semana, sendo o período de 7 dias aceito como o tempo de cura ótimo.

De acordo com a Tabela 1, verifica-se que com o aumento das porcentagens de gesso os índices de plasticidade reduziram significativamente, principalmente entre as porcentagens de 2,5% e 5%, no qual, por exemplo, o limite de liquidez reduz mais de 50%, influenciando diretamente no índice de plasticidade. Enquanto que nas amostras de 7,5% e 10% as mudanças foram quase que insignificativas. A Figura 10 mostra a variação do limite de liquidez e do índice de plasticidade de acordo com a variação das porcentagens de gesso na mistura.

Figura 11 – Variação da expansão da argila e o tempo de cura.



Fonte: Adaptado de Yilmaz, Civelekoglu 2009

Os resultados obtidos neste estudo (Yilmaz, Civelekoglu, 2009) mostraram que a o gesso pode vir a ser efetivamente usado como um agente estabilizador de solos argilosos, sendo o custo do gesso aproximadamente 2-3 vezes mais barato do que a cal.

Kamei *et al.* (2011), estudaram a durabilidade do solo estabilizado com o resíduo de gesso em um ambiente úmido, visto que o gesso é um material solúvel. O presente estudo investigou a influência do ambiente úmido na resistência à compressão, peso unitário seco e durabilidade de solo argiloso estabilizado com gesso reciclado sob efeito de ciclos de umedecimento e secagem. Amostras de solos foram preparadas e curadas por 28 dias em uma sala controlada com temperatura e umidade constantes. Os resultados indicaram que a resistência à compressão aumentou com o aumento do conteúdo de gesso reciclado nos diferentes ciclos de molhagem-secagem investigados.

Diante do exposto, pode-se perceber que o efeito do gesso na melhoria das características geotécnicas depende de inúmeros fatores, sendo o período de cura e o teor de gesso particularmente importantes. A adição de gesso no solo leva a uma substituição de sódio monovalente do solo por íons de cálcio do gesso, que levam a uma redução acentuada no limite de liquidez e limite de plasticidade da amostra (KAMEI *et al.*, 2011). Logo, conclui-se que o gesso é um potencial estabilizador das argilas, assim como a cal e o fosfogesso.

1.2 Justificativa

Os resíduos gerados das atividades industriais geram elevados impactos ambientais,

sendo de responsabilidade da empresa desde o acondicionamento até o descarte final, podendo, muitas vezes, servir de matéria-prima para outras indústrias. No entanto, os resíduos acabam sendo colocados em segundo plano, gerando um acúmulo sucessivo na unidade fabril, ocupando grandes áreas, gerando elevada poluição ambiental. Verifica-se, portanto que a destinação adequada dos resíduos é imprescindível, sendo o reuso uma excelente alternativa.

Com a crescente preocupação ambiental e a falta de jazidas com características geotécnicas adequadas para engenharia, tem surgido o interesse de estudar a aplicação desses resíduos industriais em obras de pavimentação.

O reaproveitamento dos resíduos da cadeia produtiva vem ao encontro dos novos padrões de crescimento econômico do setor integrado às necessidades sociais e ambientais. Diferente dos demais segmentos da cadeia produtiva da construção civil, a indústria de gesso apresenta um grande potencial de contribuição para a sustentabilidade da indústria da construção, devido ao baixo consumo energético do processo de produção e da viabilidade de reciclagem dos resíduos gerados ao longo de sua cadeia produtiva (JOHN; CINCOTTO, 2007).

Segundo o Ministério de Minas e Energia – MME, no relatório técnico apresentado pelo consultor Marcelo Soares Bezerra em 2009, o Brasil apresenta reservas significativas de gesso, todas elas localizadas nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do país. A região metropolitana do sul do Ceará está localizada próxima a jazidas de gesso, como por exemplo, as cidades Araripina, Ipubi e Trindade. Na cidade de Juazeiro do Norte - CE há, no distrito industrial, uma empresa que fabrica placas de gesso acartonado e que consequentemente gera resíduos.

De acordo com Nascimento e Pimentel (2010), a geração de resíduos de gesso representa um problema econômico com graves consequências e impactos ao meio ambiente. Devido as suas características físico-químicas, o resíduo de gesso tem grande potencial tóxico, liberando gases inflamáveis, gerando risco de contaminação de lençol freático e do solo. Necessita-se, portanto, de uma ação urgente no gerenciamento do resíduo gerado no segmento gesseiro, quer pelo impacto ambiental causado diretamente ou pela necessidade de adaptação do setor ao modelo de desenvolvimento sustentável.

Além disso, um grande problema enfrentado na engenharia rodoviária é a escassez de material com características geotécnicas adequadas para o uso em camadas de base e sub-base de pavimentos, que atendam as especificações em vigor. Solos muito plásticos, com presença de matéria orgânica, além da baixa capacidade de suporte e baixa resistência ao

cisalhamento não são adequados para o uso rodoviário. Surge, portanto, a aplicação de técnicas de estabilização que confirmam ao material características necessárias ao projeto de pavimentação (ARAÚJO, 2009).

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é verificar a potencialidade do uso do rejeito de gesso acartonado calcinado e não calcinado da indústria de drywall para estabilização de solos plásticos para camadas de bases e sub-bases de pavimentos.

Para alcançar o objetivo principal desta pesquisa, têm-se os objetivos específicos a seguir:

- Avaliar a influência da adição do rejeito de gesso calcinado e não calcinado na plasticidade do solo;
- Avaliar o efeito da adição do rejeito do gesso calcinado e não calcinado na curva de compactação do solo;
- Avaliar a ação do rejeito do gesso calcinado e não calcinado sobre a resistência do solo por meios de ensaios de CBR, resistência a compressão simples e módulo de resiliência.

3 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos desse trabalho serão desenvolvidas as seguintes etapas metodológicas:

- a) Realização de uma revisão bibliográfica sobre estabilização de solos plásticos para uso em pavimentação e da produção e descarte do rejeito de gesso acartonado na indústria de drywall.
- b) Seleção e coleta das amostras de solo a serem estudadas;
- c) Seleção e coleta do rejeito do gesso acartonado na unidade fabril, localizada na cidade de Juazeiro do Norte;
- d) Calcinação de parte do rejeito de gesso coletado;

e) Realização de ensaios de caracterização física e mecânica das amostras de solo e rejeito de gesso calcinado e não calcinado selecionados;

f) Realização de ensaios de caracterização física e mecânica das misturas de solo e rejeito de gesso não calcinado, com teores de gesso de 5%, 10% e 15%, em tempos de cura de 0, 7 e 14 dias.

g) Realização de ensaios de caracterização física e mecânica das misturas de solo e rejeito de gesso calcinado, com teores de gesso de 5%, 10% e 15%, em tempos de cura de 0, 7 e 14 dias.

h) Análise e discussão dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais.

3.1 Caracterização do solo

Após a coleta do solo na jazida escolhida, será feito a caracterização física e mecânica por meio dos métodos de ensaio a seguir listados:

- DNER – ME 041/94: Solos – Preparação de amostras para ensaios de caracterização;
- DNER – ME 051/94: Solos – Análise Granulométrica;
- DNER – ME 093/94: Solos – Determinação da Densidade Real;
- DNER – ME 122/94: Solos – Determinação do Limite de Liquidez – Método de Referência e Método Expedito
- DNER – ME 082/94: Solos – Determinação do Limite de Plasticidade;
- DNER – ME 164/2013: Solos – Ensaio de Compactação Utilizando Amostras Não Trabalhadas;
- DNER – ME 049/94: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras Não Trabalhadas;

O ensaio de Resistência a compressão simples seguirá a recomendação da norma do DNER – ME 180/94: Solos Estabilizados com cinza volante e cal hidratada – determinação da resistência a compressão simples.

3.2 Caracterização do gesso

A coleta de material se dará através das visitas a campo realizado na unidade geradora e na unidade de descarte dos resíduos, o material será posteriormente levado aos

laboratórios para caracterização e determinação das propriedades. Todas as análises ocorrerão em acordo com a normatização determinada para os processos.

A ABNT NBR 13207 – Gesso para construção civil - fixa as condições exigíveis para o recebimento do gesso a ser utilizado em engenharia, sendo essas características baseadas nas seguintes normas:

- ABNT - NBR 12127 - Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas do pó - Método de ensaio;
- ABNT NBR 12129 - Gesso para construção - Determinação das propriedades mecânicas - Método de ensaio.

3.3 Caracterização das misturas de solo com rejeito de gesso acartonado

As proporções de mistura entre solo e rejeito foram definidas em função da revisão bibliográfica (Murthy *et al.*, 2016; Yilmaz e Civelekoglu, 2009), que mostraram variações entre 2,5% e 25% de rejeito de gesso em massa, sendo, portanto, fixadas as porcentagens de 5%, 10% e 15%, variando os tempos de cura em 0, 7 e 14 dias.

4 CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS

Países como os Estados Unidos (EUA) possuem políticas para resíduos sólidos desde meados da década de 60, denominada de Resource Conservation and Recovering Act (Lei de Conservação e Recuperação de Recursos). No entanto, no Brasil a preocupação com o descarte ou reciclagem de resíduos de maneira geral é relativamente recente. A instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS em 2010, estabeleceu um novo paradigma de sustentabilidade ambiental - a logística reversa, que consiste em um conjunto de ações, procedimentos e meios para viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Atualmente, a geração de resíduos industriais tem tido destaque em função da sua capacidade de gerar problemas ambientais pelo seu descarte inadequado, devido à carência de alternativas técnicas e economicamente viáveis para o seu aproveitamento (LUZ, 2008). Diante dessa problemática, John e Cincotto (2007), em sua pesquisa sobre a reciclagem do gesso de construção civil, mostraram que materiais como os resíduos de construção e demolição que seriam descartados na natureza provocando impactos ambientais têm sido

adicionados com sucesso a solos, compondo mistura com melhores propriedades que o solo natural. O gesso pode vir a ser um exemplo desse resíduo.

Neste cenário, a implantação de sistemas de logística reversa ganha relevância, à medida que trata do retorno dos bens aos produtores ou agentes da cadeia de produção devido o fim da sua vida útil ou descarte da linha de produção, permitindo o reaproveitamento e consequentemente diminuindo o volume de material descartado no meio ambiente (MARCONDES, 2007).

Espera-se que a adição do rejeito de gesso venha a melhorar as características de solos plásticos abundantes na região do cariri tornando-os adequados para emprego em pavimentação. Dessa forma, será possível agregar um valor mais nobre ao então rejeito da indústria de Drywall, facilitando a sua logística reversa e o problema da deposição inadequada na natureza.

5 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

MÊS	ATIVIDADES
1	COLETA DE MATERIAL (SOLO E GESSO)
2	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO SOLO
3	CALCINAÇÃO E ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE GESSO
4	ENSAIOS DE PLASTICIDADE DAS MISTURAS SOLO-GESEO
5	ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO DAS MISTURAS SOLO-GESEO
6	ENSAIOS DE RESISTÊNCIAS DAS MISTURAS SOLO-GESEO
7	ENSAIOS DE PLASTICIDADE DAS MISTURAS SOLO-GESEO
8	ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO DAS MISTURAS SOLO-GESEO
9	ENSAIOS DE RESISTÊNCIAS DAS MISTURAS SOLO-GESEO
10	ANÁLISE DOS RESULTADOS
11	ANÁLISE DOS RESULTADOS
12	RELATÓRIO FINAL

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. F. (2009) **Avaliação de Misturas de Solos Estabilizados com Cal, em Pó e em Pasta, para Aplicação em Rodovias do Estado do Ceará**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 213 fl.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL - ABD. **Resíduos de gesso na construção civil: Coleta, armazenagem e reciclagem**. 2. ed. São Paulo: Agns, 2014. 39 p.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. Gipsita. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. (Org.). **Rochas & Minerais Industriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. cap. 21, p. 449-470.

BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. **Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso obtido do polo do Araripe**. Cerâmica, São Paulo, v. 60, n. 356, p. 501-508, dez. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S036669132014000400007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 3 set. 2018.

BARDELLA, P. S. **Análise das propriedades de pastas de gesso de construção reciclado**. 2011. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2011.

BATISTA, C. F. N. **Ensaio Fundamentais para a Pavimentação e Dimensionamentos dos Pavimentos Flexíveis**. Vol. 1, 2ª Edição, Editora Globo, Porto Alegre, RS, 1976.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Vol. 1, 5. ed. revisada. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. (1979). 2001.

CAMPBELL, S. Lead by Example. Walls & Ceillings, Troy, Michigan, USA, v. 1, n. 1, p.1-6, 5 mar. 2003. Disponível em: <http://www.wconline.com/Articles/Feature_Article/6f999d146a768010VgnVCM100000f932a8c0_____>. Acesso em: 15 set. 2018.

CARVALHO, I. G. G. (2018) **Determinação das Propriedades físicas e mecânicas do Gesso Reciclado dos Resíduos Gerados da Produção do Gesso Acartonado na Cidade de Juazeiro do Norte**. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Cariri. Juazeiro Do Norte, 2018.

_____. DNER (1994) ME 041/94 – Solos – **Preparação de Amostras para Caracterização**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasília, DF.

_____. DNER (1994) ME 049/94 – Solos – **Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras Não Trabalhadas**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasília, DF.

_____. DNER (1994) ME 051/94 – Solos – **Análise Granulométrica**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasília, DF.

_____. DNER (1994) ME 082/94 – Solos – **Determinação do Limite de Plasticidade**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasília, DF.

_____. DNER (1994) ME 093/94 – Solos – **Determinação da Densidade Real**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasília, DF.

_____. DNER (1994) ME 122/94 – Solos – **Determinação do Limite de Liquidez – Método de Referência e Método Expedito**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasília, DF.

_____. DNER (1994) ME 164/2013 – **Solos – Compactação Utilizando Amostras Não Trabalhadas**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasília, DF.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DOS TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. Balanço Mineral Brasileiro 2001. DNPM, 2001. 696 p. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001>>. Acesso em: 9 set. 2018.

GUÉRIOS, E. M. (2013) **Estudo do Melhoramento de solo com adição de cal hidratada para uso em pavimento urbano**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2013.

GUIMARÃES, J.E.P (1997). **A cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia**. Editora PINI, 1º edição, São Paulo, SP, 275p.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Gesso de construção civil**. In: ISAIA, G. C. Materiais de construção civil. São Paulo: Ibracon, 2007. p. 727-760.

KAMEI, T.; AHMED, A.; UGAI, K; (2011) **The performance of soft clay soil stabilized with recycled gypsum in wet environment**. Pan-Am CGS Geotechnical Conference, Japão, 2011.

LUZ, M. P. **Aproveitamento de filer de pedreiras da região metropolitana de Goiânia em pavimentos flexíveis urbanos: avaliação técnica e sócioambiental**. 2008. 103 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

MARCONDES, F. C. S. **Sistemas logísticos reversos na indústria da construção civil - estudo da cadeia produtiva de chapas de gesso acartonado**. 2007. 365 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MARVIN, E. **Gypsum wallboard recycling and reuse opportunities in the state of Vermont**. Vermont: Waste Management Division Vermont Agency of Natural Resources, 2000. 44 p. Industrial technical paper.

MESQUITA, G. M. **Aplicação de misturas de fosfogesso e solos tropicais finos na pavimentação**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2007.

MURTHY, G.V.L.N.; SIVA KAVYA, K.B.V.; VENKATA KRISHNA, A.; Ganesh, B.; (2016) **Chemical stabilization of sub-grande soil with gypsum and NaCl**. International Journal of Advances in Engineering & Technology, Sri Vasavi Engineering College, TP Gudem, AP, India, 2016.

_____. NBR 12127: **Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas do pó - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 12129: **Gesso para construção - Determinação das propriedades mecânicas - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 13207: **Gesso para construção civil – Especificação**. Rio de Janeiro, 2017.

NASCIMENTO, F. J. F; PIMENTEL, L. L. **Reaproveitamento De Resíduo De Gesso**. XIII ENATAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Canela, RS. 2010.

PINHEIRO, S. M. M. **Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes**. 2011. 330 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, na área de concentração de Arquitetura e Construção) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

RUFO, Rosely Costa. **Estudo laboratorial de misturas de fosfogesso, solo tropical e cal para fins de pavimentação**. 2009. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

SARTORI, G. **Estudo de estabilização de solos para fins de pavimentação na região de Campo Mourão**. Trabalho de Conclusão de curso. Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PR, 2015.

SHERWOOD, P. T. (Philip T). **Transport Research Laboratory (Great Britain)**. Published. London : HMSO, 1993. Physical Description. 153 p.

SILVA, B. T. A. (2009) **Utilização de Materiais Alternativos para a Construção de Pavimentos Urbanos na Região Metropolitana de Fortaleza**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 213 fl.

SIMIONI, C.F. **Estudo da Estabilização de Solos com cal na região de Sinop_MT para fins de pavimentação**, 2011. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Estado de Mato Grosso, Mato Grosso, 2011.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO GESSO DO ESTADO DE PERNAMBUCO – SINDUSGESSO (Brasil). **Consumo de gesso no Brasil**. Disponível em: < <http://www.sindusgesso.org.br/> >. Acesso em: 27 out. 2018.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 14. Ed. São Paulo: Pini: Sinduscon, 2014.

YILMAZ, I.; CIVELEKOGLU, B.; (2009). **Gypsum: An additive for stabilization of swelling clay soils**. Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Sivas, Peru, 2009.