

Comportamento dos Tipos de Cal em Solos Lateríticos

Mirele Marques Fernandes

Centro Universitário Planalto do Distrito Federal (UNIPLAN), Brasília, Brasil;
mirelemf@gmail.com

Rosemary Janneth Llanque Ayala

Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Brasil; jannethllanque@gmail.com

RESUMO: O objetivo desse trabalho foi analisar a variação da quantidade de cal necessária para otimizar a adição desse elemento no solo. Foram realizados inicialmente estudos com um solo laterítico e com cal hidratada dos tipos CH-I e CH-III. A pesquisa foi direcionada a avaliar a mudança na densidade do solo após a adição da cal e da água e também, verificar a variação de pH do solo. Por meio destas análises, verifica-se a otimização na estabilização do solo, de modo que a execução de pavimentação asfáltica seja mais econômica. Fundamentou-se nesta fase inicial do estudo a realização de ensaios de mini- compactação para energia intermediária e variação de pH. Foram realizados para cada tipo de cal, ensaios nos teores de: 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, 11%, e 12%, sendo realizados ensaios 1 hora após ao armazenamento da mistura (solo, cal e água) e também ensaios realizados após 24 horas. Os resultados obtidos permitiram concluir que a adição do cal ao solo para longos tempos de repouso permite obter compostos homogêneos, mas o tempo torna-se pouco relevante em compostos de solo – cal tipo CH-III, a partir de um teor de 6 % de cal existem variações negativas nos pesos específicos aparentes secos independentes do tempo de repouso e do tipo de cal, assim também o pH sofre grandes variações entre os dois compostos solo-cal a partir de um teor de 6% de cal.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização, Cal, Solos Lateríticos, pH.

1 INTRODUÇÃO

Para pavimentação asfáltica, a primeira necessidade é identificar o tipo de solo que será trabalhado, assim como sua composição e características.

O tipo de solo encontrado em abundância em Brasília é o laterítico, um tipo de solo tropical, resultante da intemperização na parte superior do solo, pertencente ao horizonte A e B, possui sua cor em tonalidades mais fortes e quentes devido ao enriquecimento do solo com óxidos hidratados (de ferro e/ou alumínio) e também pela presença de caulinita.

Solos lateríticos apresentam grandes índices de vazios e como consequência, possuem uma elevada taxa de compressibilidade, razão pela qual é muito utilizado para pavimentação, porém, devido ao grande índice de vazios, haverá

alteração do volume do solo na presença de água, resultando assim em buracos na pavimentação asfáltica em períodos chuvosos.

Pensando então em estabilizar esse solo para obter uma estrutura de pavimento de maior qualidade e durabilidade, desenvolveu-se então, técnicas de estabilização de solos, utilizando outros materiais para melhorar o solo de maneira eficiente e econômica, como por exemplo: Reforços de Solos com Fibra Natural feito por Ayala *et al.*, (2015), Estabilizantes Químicos e Fosfogesso feito por Silva *et al.*, (2013) e Estabilização de Solos com Cal Hidratada feito por Prudente *et al.*, (2006).

Diversos autores defendem a estabilização de solos com adição de cal hidratada como material econômico e de bom desempenho.

O tratamento de solos com cal se divide em modificação e estabilização do solo. A

modificação do solo com cal interfere na redução da plasticidade do solo, no aumento na resistência de defloração e erosão e melhora também a trabalhabilidade e quanto a estabilização do solo com cal, resulta no aumento permanente da resistência e rigidez do solo devido a ocorrência de reações pozolânicas.

Na tabela 1, vemos alguns autores que optaram por utilizar a cal para a melhoria de solos.

Tabela 1. Uso da cal na melhoria dos solos.

Autores	Cal (%)	Avaliado	Sucesso
Prudente e Rezende, 2006	3,6, 9	Compactação, expansão, CBR	Sim
Corteletti, 2013	5, 7, 9, 11	Compressão simples	Sim
Guérios, 2013	2, 5, 10	Proctor normal, cisalhamento	Sim
Oliveira, 2010	2, 4, 6	CBR, LFP, pH	Sim
Cruz, Neves e Santos	2, 3	Liquidez, plasticidade e outros	Sim
Rosa, Guimarães e Ferreira	3, 6	Mini-proctor e CBR	Sim
Klinsky, Faria e Leal, 2014	3, 5, 7	Expansão, CBR e outros.	Sim
Nóbrega, 1988	5	Proctor normal, mini-CBR e mini-MCV	Depende do solo.
Corrêa, Marcon, Trichês, 2009	2, 3	Limites de Atterberg, ISC, proctor normal e outros	Sim

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A Tabela 2 descreve a composição das quarenta e quatro amostras ensaiadas, sendo vinte e duas amostras com a cal CH-I e vinte e duas amostras com a cal CH-III, verificou-se a variação do pH e foi realizado o ensaio de mini- compactação.

O solo foi seco em laboratório, ao ar, pelo período de 1 dia, ao fim desse período, o solo apresentou umidade higroscópica de 1,72%. Logo após, passou-se pela peneira Nº 10 o solo estudado e dividiu-se e amostras com 200 gr. Com diversas quantidades de água, essas amostras foram umedecidas, posteriormente ensacadas e logo após armazenadas em uma câmara úmida em dois diferentes intervalo de tempo, 1 hora e 24 horas após a realização da mistura para assim realizar a compactação.

Tabela 2. Descrição dos ensaios realizados.

Solo (%)	CH-I (%)	CH-III (%)	Mini-Proctor	pH
98	2	-	x	x
98	-	2	x	x
97	3	-	x	x
97	-	3	x	x
96	4	-	x	x
96	-	4	x	x
95	5	-	x	x
95	-	5	x	x
94	6	-	x	x
94	-	6	x	x
93	7	-	x	x
93	-	7	x	x
92	8	-	x	x
92	-	8	x	x
91	9	-	x	x
91	-	9	x	x
90	10	-	x	x
90	-	10	x	x
89	11	-	x	x
89	-	11	x	x
88	12	-	x	x
88	-	12	x	x

A preparação do solo e os ensaios de compactação em equipo miniatura foram realizados respectivamente de acordo com as normas NBR 6457-86 e DNER-ME 256/94.

Pretendeu-se entender e recomendar o tipo e classe de cal que melhor se adapte ao solo, para cumprir as metas optou-se por utilizar todos os tipos de cal existentes no mercado, no entanto sendo difícil a obtenção da cal tipo CH-II no mercado comum, determinou-se fazer os ensaios para as cales tipo CH-I e CH-III. Os dois tipos de cal foram comprados na loja SÓ REPAROS situada na Asa Norte, Brasília- DF.

O solo estudado foi coletado a 3,0 m de profundidade na Universidade de Brasília, no Campo Experimental do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia.

3 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização das amostras, utilizou-se dois tipos de cal hidratada, tipo CH-I e CH-III como apresentado na Tabela 3:

Tabela 3. Dados Cal Hidratada.

Cal	Marca	Comp. química
CH-I	ICAL	CaO + MgO
CH-III	ICAL	CaO + MgO

Na Tabela 4 são apresentados os dados técnicos dos dois tipos de cal.

Tabela 4. Dados Técnicos Cal Hidratada.

	Resíduos insolúveis	Óxidos não-hidratados	Óxidos totais	Anidrido carbônico
CH-I	< 6%	0 %	> 90%	< 5 %
CH-III	< 6%	0 %	> 90%	< 10%

O solo em análise é formado por uma argila arenosa vermelho escura. De acordo com os resultados obtidos por Carvalho (1995), temos os seguintes dados para a profundidade de 3m: 38,7% de gibbsita, 5,4% de caulinita, 37,6% de quartzo, 6,7% de hematita, 4,7% de goethita, 4,1% de anastásio e 3,1% de rutilo.

O solo estudado tem como limite de liquidez o valor de 36%, limite de plasticidade equivalente a 26% e índice de plasticidade de 10%.

4 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO.

Para classificar o solo de estudo realizou-se o ensaio mini-MCV (DNER-ME 258/94), os resultados obtidos são apresentados na Figura 1. De acordo com esses resultados, o solo analisado é classificado em areia argilosa laterítica (LA').

Para se classificar um solo é necessário primeiramente determinar se o solo será classificado em seu estado natural ou se será solo desagregado ou defloculado. Neste estudo de caso, nos interessa o solo em seu estado natural. Tomando como nota a curva granulométrica de solos fornecida por Guimarães (2002) em que, para o solo em seu estado natural, a sua classificação é de solo areno-siltoso.

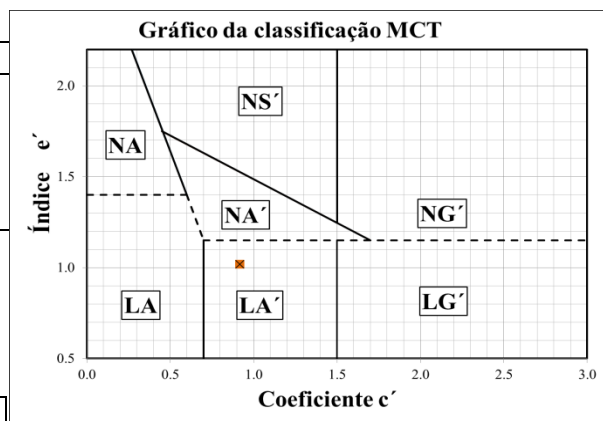


Figura 1. Classificação MCT do solo.

O solo estudado é classificado como silte inorgânico de baixa plasticidade de acordo com o Sistema de Classificação Unificada de Solos, próximo então da classificação textural obtida.

Se levarmos em consideração a análise de granulometria realizada sem o defloculante, o solo analisado classifica-se como silte argiloso e pertencente ao grupo A-4. Em relação à classificação TRB.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em consequência dos ensaios de mini-proctor realizados, obtém-se resultados satisfatórios, válidos para solos com características similares.

Na Figura 2 apresenta-se os resultados obtidos a partir dos ensaios de mini-compactação, a relação peso específico aparente seco e umidade ótima para a cal tipo CH-I.

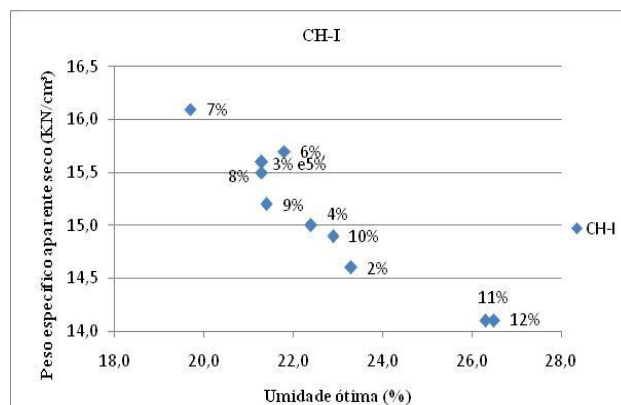


Figura 2. Resultados Cal CH-I com 2 a 12%.

Segundo o incremento de cal no solo observa-se uma redução do peso específico aparente seco e um incremento da umidade ótima. Esta variação é atribuída à absorção de água do solo

para alcançar o equilíbrio químico da reação.

A Figura 3 apresenta a relação dos pesos específicos aparentes secos com a umidade ótima e a cal tipo CH-III.

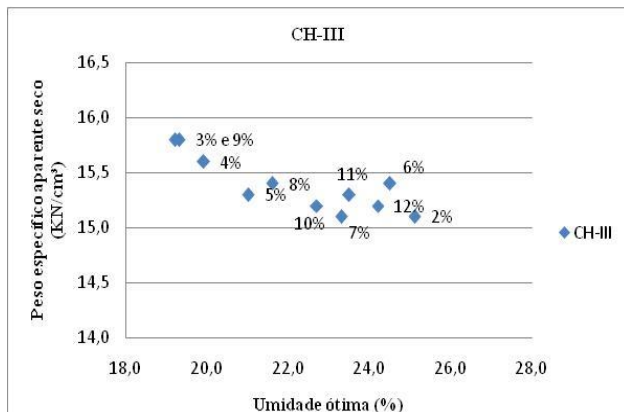


Figura 3. Resultados Cal CH-III com 2 a 12%.

Ao analisar a Figura 3, referente aos resultados para a cal CH-III, percebe-se que há semelhança com a Figura 2, pois assim como em CH-I, a medida que aumenta a porcentagem de cal, a umidade ótima também aumenta e o peso específico aparente seco diminui, no entanto, a variação não é muito relevante como o caso da cal tipo CH-I.

Na Figura 4 apresenta-se a relação do peso específico aparente seco com a umidade ótima para os teores de cal tipo CH-I adicionados ao solo após armazenamento por 24 horas.

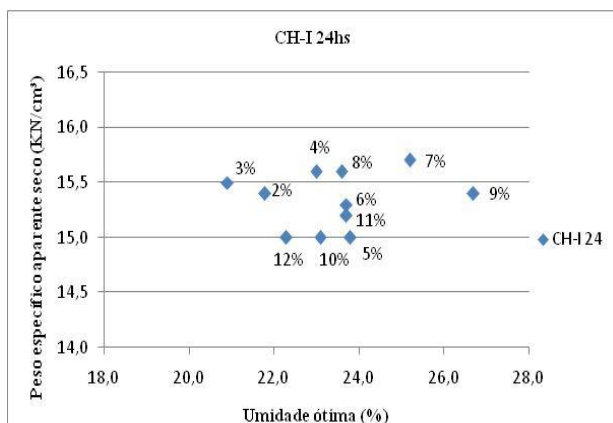


Figura 4. Resultados Cal CH-I com 2 a 12% após 24 hs.

Tendo como referência a Figura 4, analisamos que independentemente da quantidade adicionada de cal aos ensaios, a variação do peso específico aparente seco não é relevante com o aumento da umidade ótima.

Na Figura 5 apresenta-se a relação do peso específico aparente seco com a umidade ótima

para os teores de cal tipo CH-III adicionados ao solo após armazenamento por 24 horas.

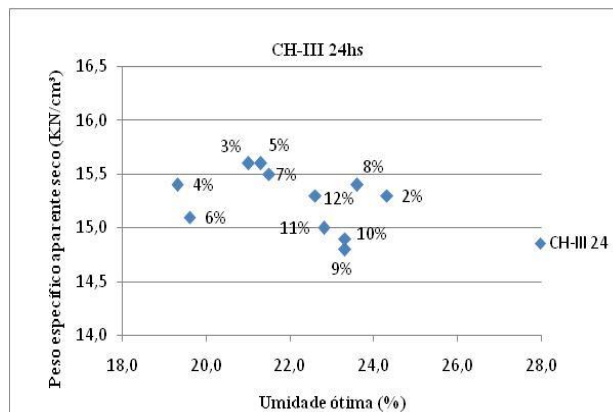


Figura 5. Resultados Cal CH-III com 2 a 12% após 24 hs.

Verifica-se que existe uma variação não relevante do peso específico aparente seco mas, existe um incremento na umidade ótima quando adicionada a cal tipo CH-III ao solo e armazenada por 24 horas.

Na Figura 6 apresenta-se a variação dos pesos específicos aparentes secos para diferentes teores de cal dos tipos CH-I e CH-III com repouso de uma hora.

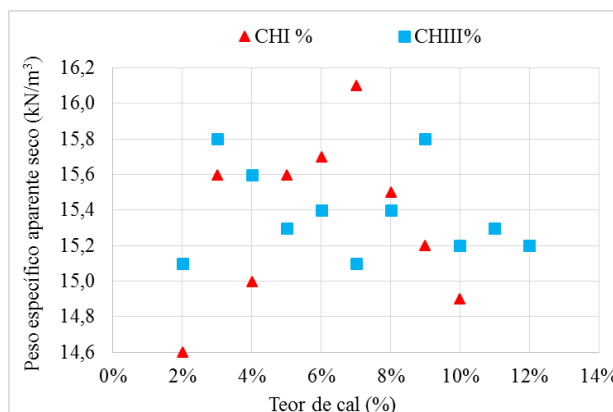


Figura 6. Variação de pesos específicos aparentes secos para teores de cal com 1 hora de repouso.

Na Figura 6 identifica-se uma queda evidente de valores do peso específico aparente seco para a cal tipo CH-I a partir de um 6% do teor de cal, esta queda é menos evidente para o tipo de cal CH-III, sendo efetiva a partir do mesmo teor. Este efeito é atribuído ao processo de carbonatação que sofre o excesso de cal em contato com o ar, a pureza da cal tipo CH-I permite reagir quimicamente com a água do solo com maior rapidez em comparação à cal tipo CH-III, mas ambas estabelecem um limite de aceitação de aproximadamente 6% de cal, para

um tempo curto de repouso.

Na Figura 7 apresenta-se a variação dos pesos específicos aparentes secos para diferentes teores de cal quando submetidos a 24 horas de repouso para a cal tipo CH-I e CH-III.

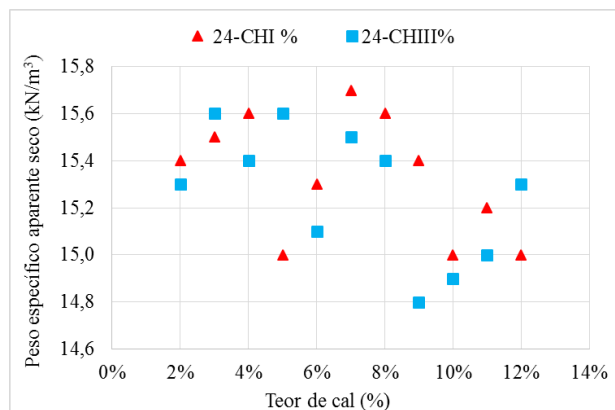


Figura 7. Variação de pesos específicos aparentes secos para teores de cal com 24 horas de repouso.

Da Figura 7 pode-se afirmar que existe um incremento de valores dos pesos específicos aparentes secos até um 5% aproximadamente, a partir desse teor de cal apresenta-se uma queda de pesos específicos aparentes secos não existindo diferença entre o tipo de cal para este comportamento.

Na Figura 8 apresenta-se a variação dos pesos específicos aparentes secos para diferentes teores de cal do tipo CH-I para repouso de 1 e 24 horas.

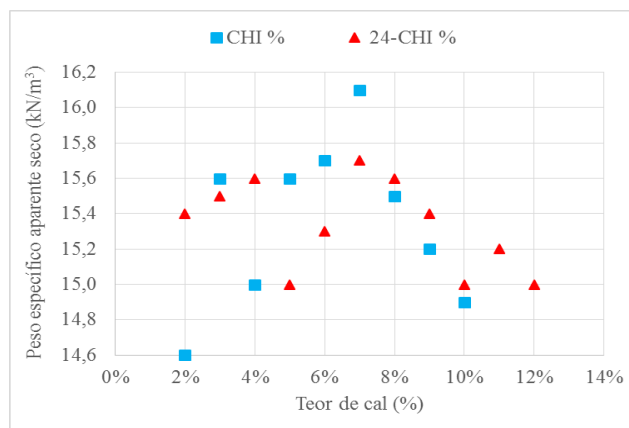


Figura 8. Variação de pesos específicos aparentes secos para teores a cal tipo CH-I.

Da Figura 8 afirma-se uma variação positiva de incremento dos pesos específicos aparentes secos até um 6% de teor de cal tipo CH-I independente do tempo de repouso, a partir desse valor ocorre uma queda dos valores, efeito explicado pelo processo de carbonatação que

sofre a cal.

Na Figura 9 apresenta-se a variação dos pesos específicos aparentes secos para diferentes teores de cal para a cal tipo CH-III quando submetida a repouso de 1 e 24 horas.

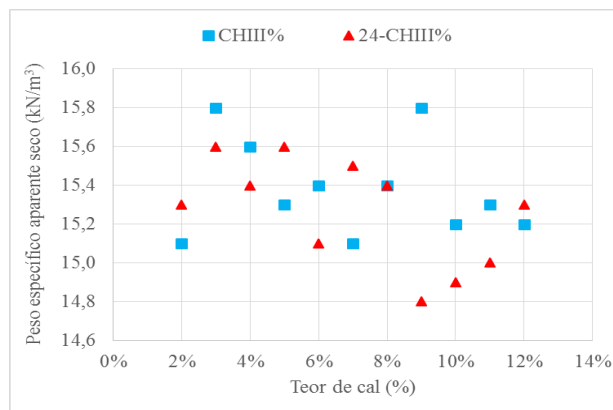


Figura 9. Variação de pesos específicos aparentes secos para teores a cal tipo CH-III.

Da Figura 9 verifica-se a pouca relevância que tem um repouso de 1 ou 24 horas mas, também é evidente que existe uma tendência negativa a partir de um teor de 6% aproximadamente. Este efeito é atribuído a pureza do tipo da cal, o processo de carbonatação da cal presente no solo não é marcado. O decremento nos valores dos pesos específicos aparentes secos da mistura induz a um incremento de energia para alcançar valores superiores ao do solo natural.

Na Figura 10 apresenta-se a variação da umidade ótima para teores de cal de tipo CH-I e CH-III para 1 hora de repouso.

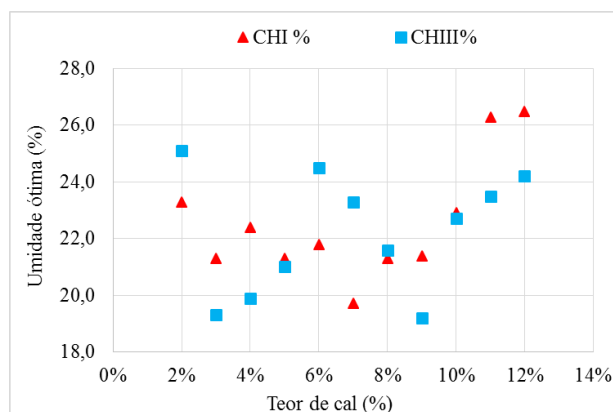


Figura 10. Variação da umidade ótima para teores de cal com 1 hora de repouso.

Da Figura 10 pode-se afirmar que existe uma tendência incremental da umidade ótima no composto segundo o incremento do teor de cal, este fenômeno é mais notável para a cal tipo CH-

III, atribui-se este evento à retenção de água de forma mais evidente na cal tipo CH-III.

Na Figura 11 verifica-se a variação da umidade ótima para diferentes teores de cal de tipo CH-I e CH-III para um tempo de repouso de 24 horas.

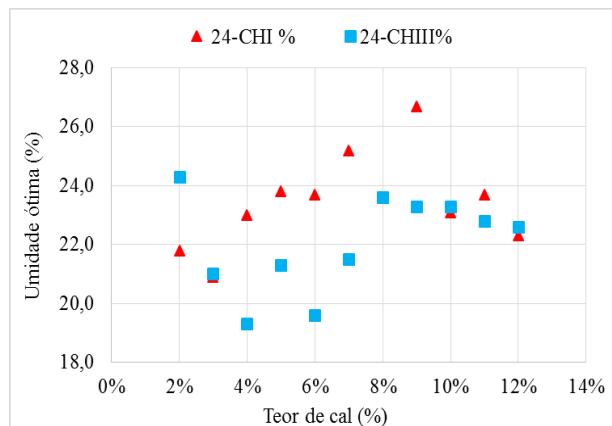


Figura 11. Variação da umidade ótima para teores de cal com 24 horas de repouso.

Da Figura 11 é verificado que a retenção de água é mais evidente para a cal tipo CH-I do que na cal tipo CH-III, seguindo uma tendência quase linear positiva.

Na Figura 12 evidencia-se a variação de umidade ótima para diferentes teores de cal tipo CH-I com tempos de repouso de 1 e 24 horas.

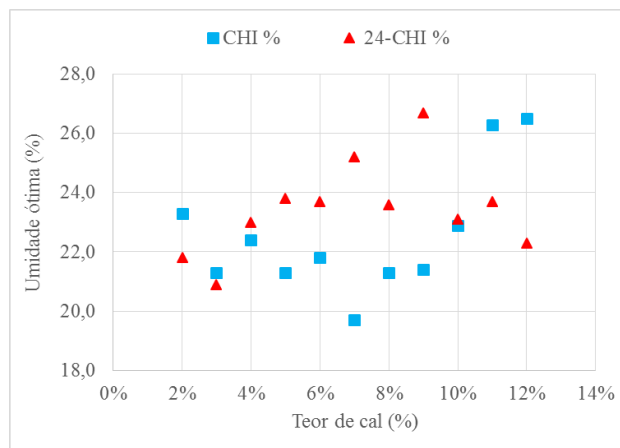


Figura 12. Variação da umidade ótima para teores de cal tipo CH-I com repouso de 1 e 24 horas.

Da Figura 12 é verificada a importância do tempo para a reação da cal no solo, o que leva a um incremento da quantidade de água no composto.

Na Figura 13 apresenta-se a variação da umidade ótima para diferentes teores de cal tipo CH-III quando submetidos a tempos de repouso

de 1 e 24 horas.

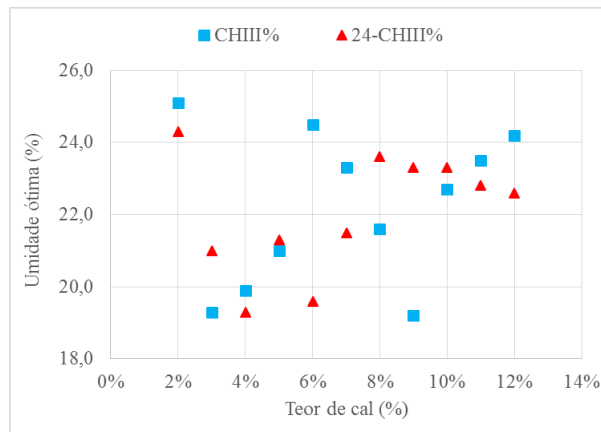


Figura 13. Variação da umidade ótima para teores de cal tipo CH-III com repouso de 1 e 24 horas.

Da Figura 13 evidencia-se a pouca relevância do tempo na reação cal tipo CH-III com o solo a efeitos de estimar o valor da umidade ótima do composto.

Após a realização de todos os ensaios de mini-Proctor, realizou-se o ensaio de determinação do pH para o solo com diferentes teores de cal, dos tipos CH-I e CH-III.

A Figura 14 indica os resultados obtidos de acordo com as análises.

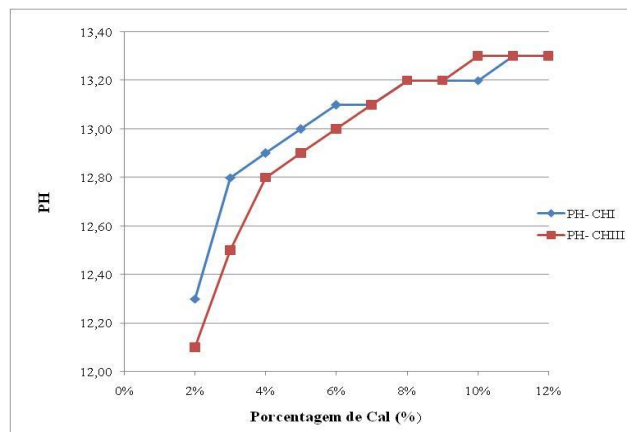


Figura 14. Variação do pH para diferentes teores de cal tipos CH-I e CH-III.

Ao analisar a Figura 14, observa-se que para solos com a adição de cal do tipo CH-I, nas porcentagens de 2% até 3%, há um grande aumento nos valores de pH, nos teores a partir da adição de 3% de cal até 6%, há um aumento linear na variação do pH e a partir do acréscimo de 7% de cal, a variação do pH é pouco relevante para a cal tipo CH-I.

Esta variação grande e linear até 4% para a cal

do tipo CH-III. No intervalo das porcentagens de 4% a 8%, há outro aumento linear e a partir da adição de 9% a variação do pH é pouco relevante.

Observa-se que nas porcentagens a partir de 7% o pH será o mesmo para os dois tipos de cal hidratada, não tendo importância então, qual tipo de cal utilizar.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos é evidente que a adição de cal ao solo de tipo laterítico produz uma leve queda de valores dos pesos específicos aparentes secos, esta queda é marcante para misturas de solos a partir de aproximadamente 6% de teor de cal ora tipo CH-I ou tipo CH-III.

Quanto mais tempo estiverem em repouso os teores de cal com o solo, o processo de reação do composto cal-solo fornecerá resultados estáveis.

Se evidência um limite de teor de cal em solos lateríticos de 6% independente do tipo de cal o que verifica um ganho relativo de valores de pesos específicos aparentes secos, a partir deste valor é produzida uma queda, situação que levaria a um incremento da energia de compactação, em consequência, tornaria este método antieconômico.

Há variações produzidas no pH do solo quando adicionados diferentes teores de cal, esta variação é relevante até 6% para ambos tipos de cal, a partir de 7% o comportamento da mistura do solo-cal em termos de pH não tem relevância para ambos casos.

É importante fazer os ensaios de resistência considerando estes teores de cal como referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986). *Amostras de Solos- Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização*. NBR 6457, Rio de Janeiro, ABNT, 9 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992). *Cal Hidratada para Argamassa*. NBR 7175, Rio de Janeiro, ABNT, 10 p.
- Ayala, R. J. L., Metogo, D. A. N. e Carvalho, J. C., (2015). *Reforço de Solos com Fibra Natural, uma Alternativa Ambientalmente Sustentável*. Brasília, DF. (2015), 7p.
- Corrêa, J. F., Marcon, A. F. e Trichês, G., (2009). *Melhorias das Propriedades Físicas e Mecânicas dos Solos Originados de Rochas Sedimentares pela Adição de Cal*. CONINFRA 2009, Congresso de Infraestrutura de Transportes, 17 p.
- Corteletti, E. J. B. (2013). *Melhoramento do Solo Residual de Lajeado com a Adição de Cal*. Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, 57 p.
- Cruz, N., Neves, E. C., Santos, J. *Melhoramento com Cal de um Solo do Miocénico para Utilização em Camadas de Leito de Pavimento*. 10 p.
- DNER-ME 256 (1994). Solos Compactados em Equipamento Miniatura – Determinação da Perda de Massa por Imersão. Método de Ensaio. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. 06p.
- DNER-ME 258 (1994). Solos Compactados com Equipamento Miniatura – Mini-MCV. Método de Ensaio. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. 14p.
- Guérios, E. M. (2013). *Estudo do Melhoramento com Solo com Adição de Cal Hidratada para Uso em Pavimento Urbano*. Graduação em Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 80 p.
- Guimarães, J. E. P., (2002). *A Cal- Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil*, 2ª Ed. São Paulo: Pini, 341p.
- Guimarães, R.C. (2002). *Análise das propriedades e comportamento de um perfil de solo laterítico aplicada ao estudo do desempenho de estacas escavadas*. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-091A/02, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, UnB, Brasília, DF, 183p.
- Klinsky, L. M. G., Faria, V. C. e Leal, A. D. (2014). *Estudo do Comportamento Mecânico de Solos Estabilizados com Cal Hidratada*. Centro de Pesquisas Rodoviárias (CPR) da Concessionária Nova Dutra, do grupo CCR. Relatório Elaborado para Agência de Transportes Terrestres (ANTT). 109 p.
- Nóbrega, N. T. (1988). *Contribuição ao Estudo da Estabilização de Solos Tropicais com Adição de Cal para Fins Rodoviários. Aspectos Mineralógicos e Morfológicos de alguns Solos das Regiões Sul e Sudeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 210 p.
- Oliveira, E. (2010). *Emprego da Cal na Estabilização de Solos Finos de Baixa Resistência e Alta Expansão: Estudo de Caso no Município de Ribeirão das Neves/MG*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 171 p.
- Prudente, J. P. e Rezende, L. R. (2006). *Estabilização de Solos Lateríticos Finos com Cal Hidratada para Utilização em Pavimentação*. Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC - Florianópolis, SC - Julho/2006, 3 p.
- Rosa, J. B., Ferreira, C. J. e Guimarães, R. C. *Estabilização de Solos com Cal para Uso em Pavimentação*. IV Seminário de Iniciação Científica, 6 p.
- Silva, M. V., Curado, T. S., Rezende, L. R., Moura, E. (2013). *Estudo Laboratorial de Misturas de Solo Tropical, Estabilizantes Químicos e Fosfogesso Anidro*. 42ª Reunião Anual de Pavimentação, RAPv, 16º Encontro Nacional de Conservação, Enacor, 13 p.