

MELHORAMENTO DO SOLO DA RUA ROGÉRIO BÚRIGO COM ADIÇÃO DE CAL HIDRATADA – ESTUDO DE CASO

Bruno Dutra da Silva (1), Pedro Arns (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
b.dutra@outlook.com(1) par@unesc.net(2)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo, estabilizar o solo da Rua Rogério Búrigo no Bairro Verdinho, Município de Criciúma, Sul de Santa Catarina, classificado como um solo A-4, com cal hidratada CH-III, para utilização do mesmo como camada de sub-base ou base de um pavimento rodoviário. As amostras do solo foram aditivadas com os percentuais de 3%, 6%, e 9% de cal CH-III. A compactação dos corpos de prova foi na Energia do Proctor Intermediário, conforme preconiza a Norma do Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre. Foram moldados três corpos de prova para cada teor de aditivo, dos quais dois não obedeceram aos procedimentos do ensaio previsto na NBR 9895/1987. Estes ficaram expostos ao ar livre por sete dias, sendo que um corpo de prova após os sete dias, foi submerso pelo período de 96 horas, e outro foi submetido à compressão simples no sétimo dia de exposição. Este procedimento foi adotado, buscando reproduzir o que ocorre ao executar-se uma camada de pavimento em campo, com solo aditivado. O estudo confirmou que o solo em seu estado natural possui características de material de sub-base, com $CBR \geq 20\%$ e $e \leq 1\%$. Demonstrou o estudo, também, que a estabilização do solo, do presente trabalho, com a adição de cal hidratada CH-III, mostrou-se altamente eficiente. Os acréscimos na resistência à compressão simples, no ensaio do California Bearing Ratio, em relação ao solo natural nos três procedimentos adotados foram de 389,13%, 151,74% e de 583,91% para o teor de 3%; de 668,70%, 752,17% e de 720,86% para o teor de 6%; e de 496,52%, de 426,52%, de 187,39% para o teor de 9%. As reduções das expansões do solo aditivado, em relação ao solo natural foi de 1225%, de 980% e de 653,33% para os teores de 3%, 6% e 9%, respectivamente, de acordo com os ensaios realizados pelos procedimentos das normas. Quando os corpos de prova ficam expostos ao ar livre, a expansão é nula. Os teores da cal aditivada ao solo de 3% e 6%, tornaram o mesmo em material de características mecânicas de material de base. Contudo, o melhor teor em todas as situações foi o percentual de 6%.

Palavras chave: Solo, cal hidratada, estabilização química, solo-cal, sub-base.

1. INTRODUÇÃO

O solo é um material heterogêneo e se apresenta sob os mais diversos aspectos na natureza, de acordo com suas características físicas e químicas oriundas da decomposição da rocha mãe.

Segundo BATISTA (1976) O termo solo abrange uma grande variedade de materiais existentes sob as mais diversas condições e é definido de acordo com a ciência que o estuda. Analisando do ponto de vista rodoviário, o mesmo é definido como sendo um material constituído de rochas decompostas e matérias orgânicas encontradas na superfície da terra, formado de partículas ou grãos de diâmetros diferentes. É um material em abundância e tem um grande emprego na área da pavimentação e construção civil.

Conforme a NBR 6502/95, os solos podem ser definidos como materiais oriundos da decomposição de rochas, através de agentes físicos e químicos, e podem ou não possuir matéria orgânica em sua composição. Segundo DE SENÇO (1972):

“Quando se pretende utilizar o solo como material componente, por exemplo, de uma camada de pavimento, o solo guinda a condição de material de construção e, assim, deve merecer estudos prévios de qualidade e controle rigorosos durante a aplicação. O Solo tem que apresentar certas propriedades físicas e químicas para ser estável e suportar esforços e cargas que será submetido e em certas situações estas condições de campo.”

Segundo DE OLIVEIRA, o solo natural é um material complexo e variável, porém devido a sua abundância e baixo custo oferece grandes oportunidades de emprego na engenharia. Entretanto, para uma determinada obra o solo existente pode ou não atender as características para seu uso, em seu estado natural. Quando se depara com esta situação a solução é a remoção do mesmo e substituí-lo por outro que atenda as exigências. Pode-se, ainda, corrigi-lo por processos como a estabilização granulométrica, ou pela adição de aditivos químicos que melhoram as características físicas e mecânicas do mesmo para seu aproveitamento.

Na busca de melhorias com custo reduzido, que visem a sustentabilidade, a estabilização de solos surge como uma boa opção em contrapartida ao emprego de britas, cujo uso é tradicional na área da pavimentação.

As técnicas de estabilização de solos devem ser aprimoradas e aplicadas, focando sempre no baixo custo, velocidade de execução e durabilidade, evitando desta maneira gastos exorbitantes com manutenções e retrabalhos de pistas (BERNUCCI, 2006).

O emprego da cal como aditivo para estabilização de um solo é uma das mais antigas técnicas utilizadas pelo homem para melhorar as características físicas e mecânicas do mesmo. Há exemplos dessa utilização na via Àpia (sul da Itália), construída em 312 a.C. e em trechos da Muralha da China, datado de 2280 a.C. (GUIMARÃES, 1998).

O presente trabalho tem por objetivo estudar o solo da Rua Rogério Búrigo no Município de Criciúma - SC, com adição de cal CH-III, para utilizá-lo como camada de pavimento, e determinar o teor ótimo do aditivo, de forma a atingir as características físicas e mecânicas exigidas por Norma.

2. MATERIAIS

2.1 SOLO NATURAL

O solo estudado no presente trabalho foi coletado na Rua Rogério Búrigo, na Cidade de Criciúma, região sul de Santa Catarina, de coordenadas geográficas de latitude - 28.785628 e longitude -49.419508. As amostras de solo foram extraídas com o auxílio de uma retro escavadeira, ensacadas, etiquetadas e transportadas para o Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) do Instituto de Desenvolvimento e Tecnologia (IDT) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Como a amostra do solo se encontrava na umidade bem acima da ótima, o mesmo foi levado a estufa para secagem. Após totalmente seco foi destorroado e homogeneizado e devidamente preparado para ser submetido aos ensaios. Na Figura 01, temos a imagem da retroescavadeira coletando as amostras.

Figura 01- Coleta da amostra.



Fonte: Autor, 2017.

A composição do solo pode conter grãos de diferentes tamanhos: argila, silte e areia e por vezes, agregados maiores, como cascalho e pedras. A determinação da porcentagem de cada fração presente no solo é feita na análise granulométrica. No Brasil, adota-se a NBR 6502/95. "Dependendo de qual dos três componentes é dominante, falamos de um solo argiloso, siltoso ou arenoso" (CAMPOS, 2012). O solo coletado foi submetido a uma série de ensaios de caracterização física e mecânica para sua classificação de acordo com a Highway Research Board (HRB) que corresponde hoje a atual Transportation Research Board (TRB).

2.2 CAL

Conforme GUIMARAES (1998), a cal utilizada em melhoramentos de solo é resultado da calcinação, em temperaturas próximas de 1000°C, de rochas magnesianas e carbonatadas cálcicas existentes na superfície terrestre.

No presente trabalho foi utilizada a Cal Hidratada CH-III como aditivo, para melhorar o comportamento do solo. A cal hidratada deve obedecer às determinações da NBR 7175/2003 resultante do tratamento da cal virgem com uma quantidade de água suficiente para satisfazer sua afinidade química, sob as condições de hidratação.

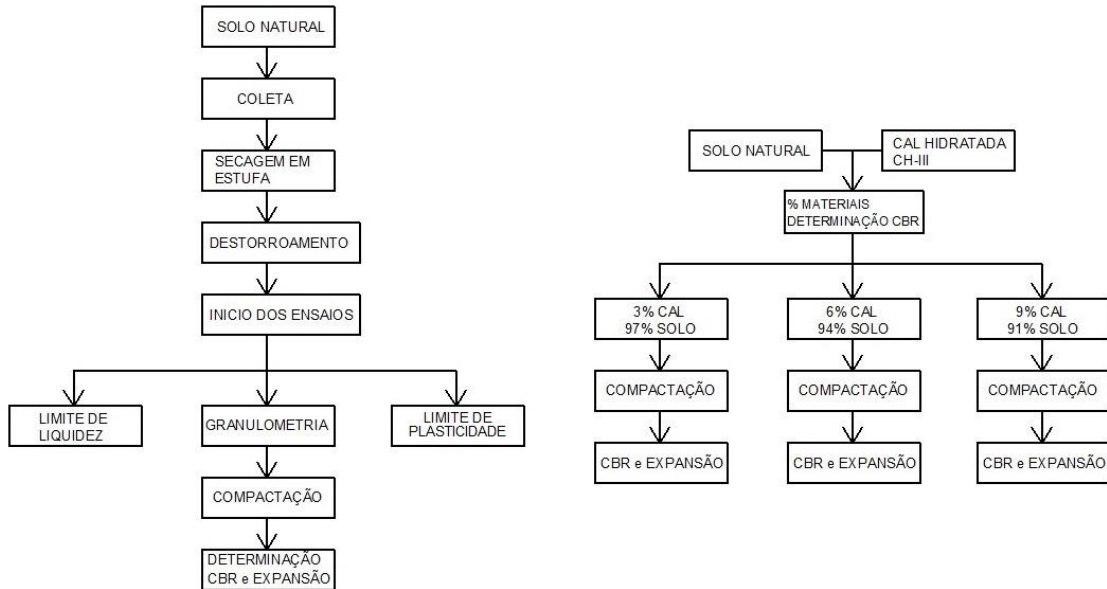
Segundo DE SENÇO (1972):

“A cal pode ter utilização, com restrições quanto a danos a saúde dos operários, pois não só permite a estabilização de solos para sub-base e base de pavimentos, como também tem aplicação como agente de melhoria das características de um solo, possibilitando sua estabilização por meio de um outro aglutinante.”

3. METODOLOGIA

O presente trabalho obedeceu em sua metodologia o fluxograma da Figura 02.

Figura 02 – Fluxogramas dos Ensaios Realizados.



Fonte: Do autor, 2017.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

Os ensaios de caracterização do solo foram executados no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS), de acordo com as normas e especificações, tanto para o solo natural, quanto para o aditivado com cal hidratada conforme o Quadro 01.

Quadro 01- Ensaios de Caracterização.

Ensaios	NORMA
Granulometria Simples	NBR 7181/1984
Limite de Liquidez	NBR 6459/1984
Limite de Plasticidade	NBR 7180/1988
Compactação realizado pela energia do Proctor Intermediário	NBR 7182/1998
Indice de Suporte Califórnia	NBR 9895/1987
Preparação das amostras de solo	NBR 6457/1986

Fonte: Do autor, 2017.

3.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica do solo foi realizada de acordo com a NBR 7181/84, por peneiramento e sedimentação. Através deste ensaio foi possível determinar uma curva de distribuição granulométrica, cuja finalidade foi classificar o solo.

As peneiras utilizadas para o ensaio foram as de nº10, 40 e 200, conforme Quadro 02, responsáveis pela classificação dos solos segundo a HRB.

Quadro 02 - Dimensões nominais das peneiras usadas no Ensaio de Granulometria.

Dão da Peneira		Abertura da Peneira	
Padrão	Número	Milímetros	Polegadas
2,00mm	10	2,00	0,0789
425µm	40	0,425	0,0168
75µm	200	0,075	0,0029

Fonte: do Autor, 2017.

Segundo DAS (2007), a curva de distribuição granulométrica mostra, não somente, os tamanhos das partículas presentes no solo, mas, também, a distribuição das partículas em seus vários tamanhos.

3.3 LIMITES DE ATTERBERG

O limite de liquidez (LL) do solo natural foi determinado de acordo com NBR 6459/84 e para sua execução foi utilizado o Aparelho de Casagrande e o limite de plasticidade (LP) de acordo com o procedimento descrito na NBR 7180/84.

3.4 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

O ensaio de compactação é um processo de densificação do solo para a obtenção do peso específico aparente seco e da umidade ótima do mesmo. O ensaio foi realizado na Energia de Compactação do Proctor Intermediário (PI), atendendo a NBR 7182/1998, para 5 (cinco) pontos de diferentes teores de umidades do solo em seu estado natural.

3.5 ENSAIO DO CBR

Para a determinação do California Bearing Ratio– CBR, foram moldados os corpos de prova do solo em seu estado natural, e os dos solos aditivados nos percentuais de cal estabelecidos. Em todos os corpos de prova utilizou-se a Energia de Proctor Intermediário PI.

Para ampliação do estudo do solo aditivado nos percentuais de cal especificados, moldaram-se 3 (três) corpos de prova para cada teor, um corpo de prova de cada teor de aditivo, após compactado foi submerso por 96 horas e rompido. Um de cada teor ficou exposto ao ar livre por 7 (sete) dias e rompido. E um de cada teor foi exposto ao ar livre por 7 (sete) dias, submersos por 96 horas e rompido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo do presente trabalho foi determinar um teor ótimo de cal para ser incorporado ao solo, para melhorar o valor do CBR e da expansão, com a finalidade de usá-lo como camada de pavimento.

4.1 GRANULOMETRIA

No Quadro 03 estão os resultados do ensaio de Granulometria.

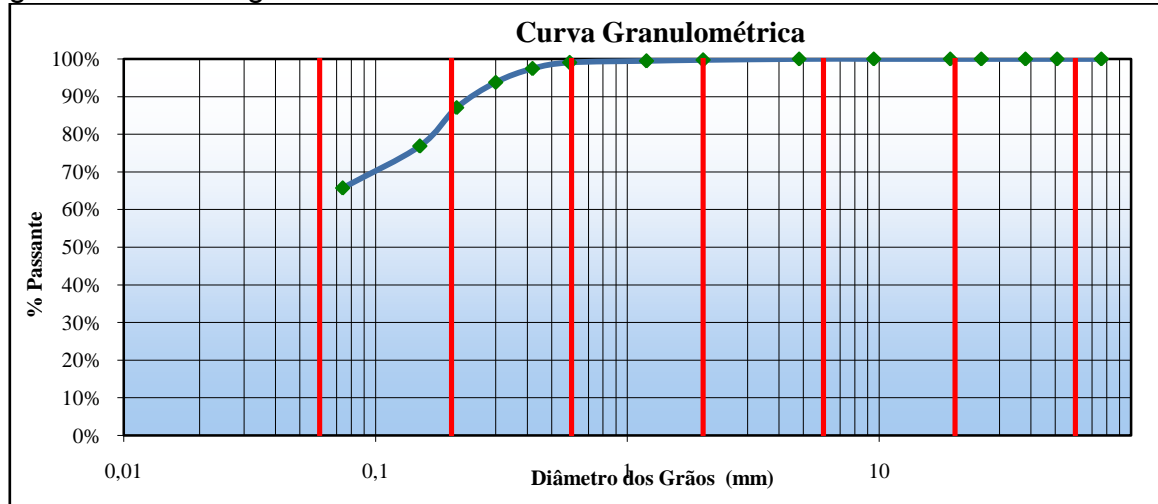
Quadro 03 – Ensaio granulométrico.

Peneira		Material Retido (g)	Fração Retida
Nº	# (mm)		
4	4,8	0,00	
10	2	1,60	0,32%
16	1,19	0,25	0,21%
30	0,59	0,53	0,45%
40	0,42	1,90	1,61%
50	0,3	4,32	3,65%
70	0,21	7,97	6,74%
100	0,15	12,15	10,27%
200	0,074	13,23	11,18%

Fonte: Do autor, 2017.

A partir dos resultados demonstrados no Quadro 03, traçou-se a curva granulométrica conforme Figura 03.

Figura 03 – Curva granulométrica.



Fonte: Do autor, 2017.

Pelos resultados constatou-se que a composição do solo foi 65,69% de argila e silte, 16,79% de areia fina, 16,54% de areia média, 0,66% de areia grossa e 0,32% de pedregulho.

4.2 LIMITES DE ATTERBERG

No Quadro 04, constam os valores obtidos no ensaio da determinação do limite de liquidez.

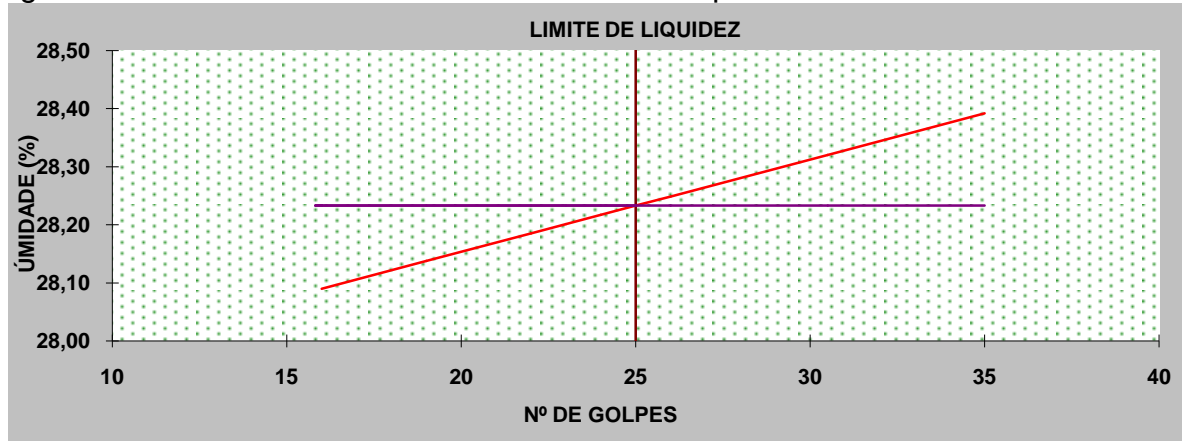
Quadro 04 – Ensaio limite de liquidez.

LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459/84 (DNER - ME 122-94)							
Cápsula (n°)	Cápsula e Solo Úmido (g)	Cápsula e Solo Seco (g)	Peso da Cápsula (g)	Peso da Água (g)	Peso do Solo Seco (g)	Porcentagem de Água (%)	Número de Golpes
1	14,00	12,62	7,65	1,38	4,97	27,77	16
2	12,58	11,55	7,97	1,03	3,58	28,77	22
3	12,70	11,72	8,22	0,98	3,50	28,00	24
4	13,27	11,98	7,43	1,29	4,55	28,35	26
5	11,16	10,05	6,12	1,11	3,93	28,24	35

Fonte: Do autor, 2017.

Na Figura 04, representou-se graficamente o resultado do ensaio da determinação do limite de liquidez do solo. Foram necessários 25 golpes para fechar a ranhura-padrão com teor de umidade de 28,24%.

Figura 04 – Gráfico dos resultados do Limite de Liquidez.



Fonte: Do autor, 2017.

No Quadro 05, constam os valores obtidos no ensaio para determinação do limite de plasticidade. Observa-se que o solo utilizado apresentou um limite de plasticidade igual a 21%.

Quadro 05 – Limite de Plasticidade.

Cápsulas	1	2	3	4	5
Úmidade	20,63	20,00	20,69	20,63	19,67
Média (LP)	21				

Fonte: Do autor, 2017.

O índice de plasticidade, sendo a diferença entre LL e LP, resultou em 7,24%, indicando um solo medianamente plástico.

Para HERRIN e MITCHELL (1968):

“Independentemente do aumento ou diminuição do limite de liquidez, o aumento do limite de plasticidade é tal que o índice de plasticidade comumente diminui com a adição de pequenas porções de cal. O índice de plasticidade de muitas argilas altamente plásticas pode ser diminuído de 50 a 80% com pequenas quantidades de cal.”

O Quadro 06 representa a classificação dos solos segundo a HRB em grupos de acordo com a variação da granulometria, limite de liquidez, índice de plasticidade e o índice de grupo. Analisando os resultados obtidos nos ensaios com os do quadro

contata-se que o solo do presente estudo pertence ao grupo A-4, tendo como material predominante silte não plástico ou moderadamente plástico, com 75% passante na peneira 200; podendo conter, também, uma mistura com composição de 64% de pedregulho e areia, com o restante de silte.

Quadro 06 – Classificação dos solos pelo sistema rodoviário.

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia		Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos		
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

Fonte: DNIT, 2006

4.3 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

No Quadro 07, constam os valores do ensaio de compactação do solo.

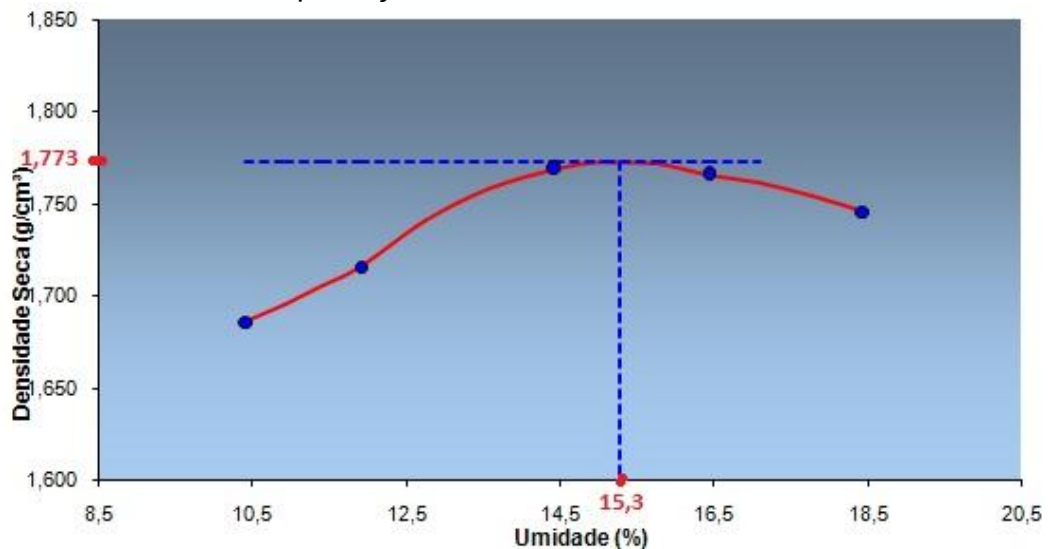
Quadro 07 – Ensaio de Compactação.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO - NBR 7182/86 (DNER 49-74)					
Água Acrescentada (ml):	152,6	181,7	230,8	270,0	309,0
Cilindro (n°)	05	05	05	05	05
Peso do Cilindro + Solo Úmido (g):	4255,5	4312,8	4417,0	4449,0	4461,4
Peso do Cilindro (g):	2393,4	2393,4	2393,4	2393,4	2393,4
Peso do Solo Úmido (g):	1862,1	1919,4	2023,6	2055,6	2068,0
Volume do Cilindro (cm ³):	999,93	999,93	999,93	999,93	999,93
Densidade do Solo Úmido (g/cm ³):	1,862	1,920	2,024	2,056	2,068
Capsula (n°):	16	17	18	19	20
Peso da Capsula + Solo Úmido (g):	66,10	67,72	68,81	66,02	67,09
Peso da Capsula + Solo Seco (g):	61,38	62,40	62,50	58,96	59,30
Peso da Água (g):	4,72	5,32	6,31	7,06	7,79
Peso da Capsula (g):	16,1	17,72	18,81	16,02	17,09
Peso do Solo Seco (g):	45,28	44,68	43,69	42,94	42,21
Teor de Umidade (%):	10,42	11,91	14,43	16,44	18,44
Densidade do Solo Seco (g/cm ³):	1,686	1,716	1,769	1,766	1,746

Fonte: Do autor, 2017.

Os resultados da compactação do solo natural geraram uma curva, representada na Figura 05.

Figura 05 – Curva de Compactação do solo natural.



Fonte: Do autor, 2017.

A curva de compactação gerada, forneceu a umidade ótima, que foi de 15,3%, e a maior densificação, que foi de 1,773 g/cm³.

Constatou-se que de acordo com o aumento da quantidade de cal hidratada aditivada houve um aumento da trabalhabilidade gradual. A cal hidratada ajudava a

deixar as misturas mais consistentes durante a adição de água, melhorando assim no momento da compactação durante o molde da amostra e na mistura com a água, deixando a mistura mais homogênea.

4.4 RESULTADOS DO CBR

No Quadro 08 constam os valores dos CBR obtidos dos corpos de prova que foram submetidos ao ensaio de compressão simples na Energia do Proctor Intermediário, do solo natural e dos teores do aditivo utilizados.

Quadro08: Valores do CBR

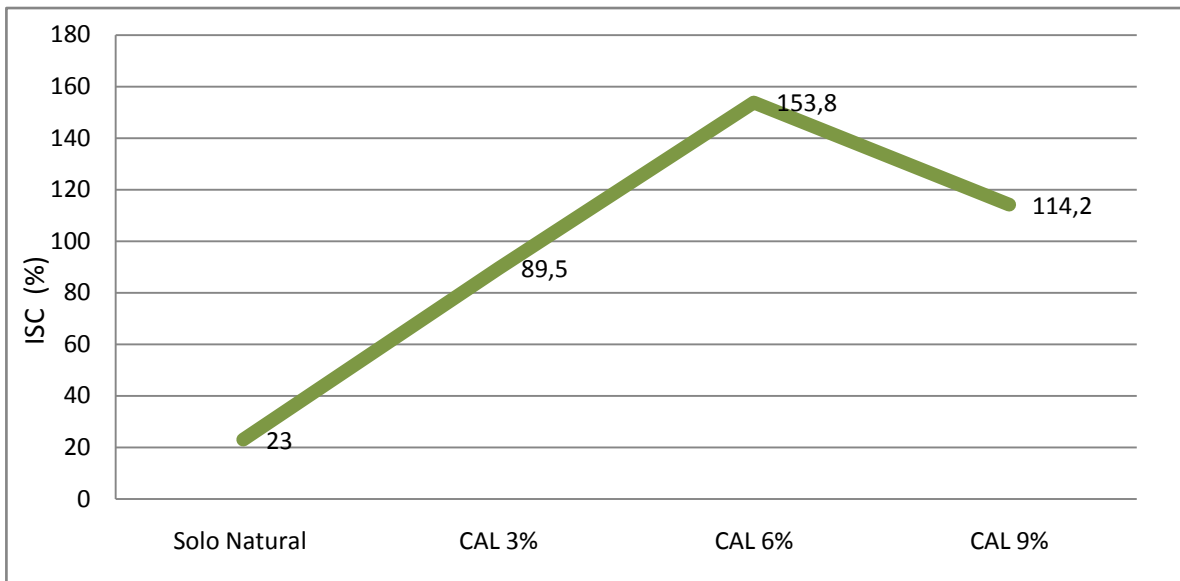
	Valores de CBR (%)		
	Periodos de Análise		
	96 horas Submerso	7 dias exposto + 96 horas submerso	7 dias exposto sem submersão
Solo Natural	23		
CAL3	89,5	34,9	134,3
CAL6	153,8	173	165,8
CAL9	114,2	98,1	43,1

Fonte: Do autor, 2017.

Na Figura 07 consta o gráfico dos resultados do ensaio do CBR dos corpos de prova rompidos após permanecerem 96 horas submersas, do solo natural e do solo aditivado nas proporções de 3%, 6% e 9%.

Figura 07: Resultado do CBR para o solo natural e para os teores cal de 3%, 6% e 9%.

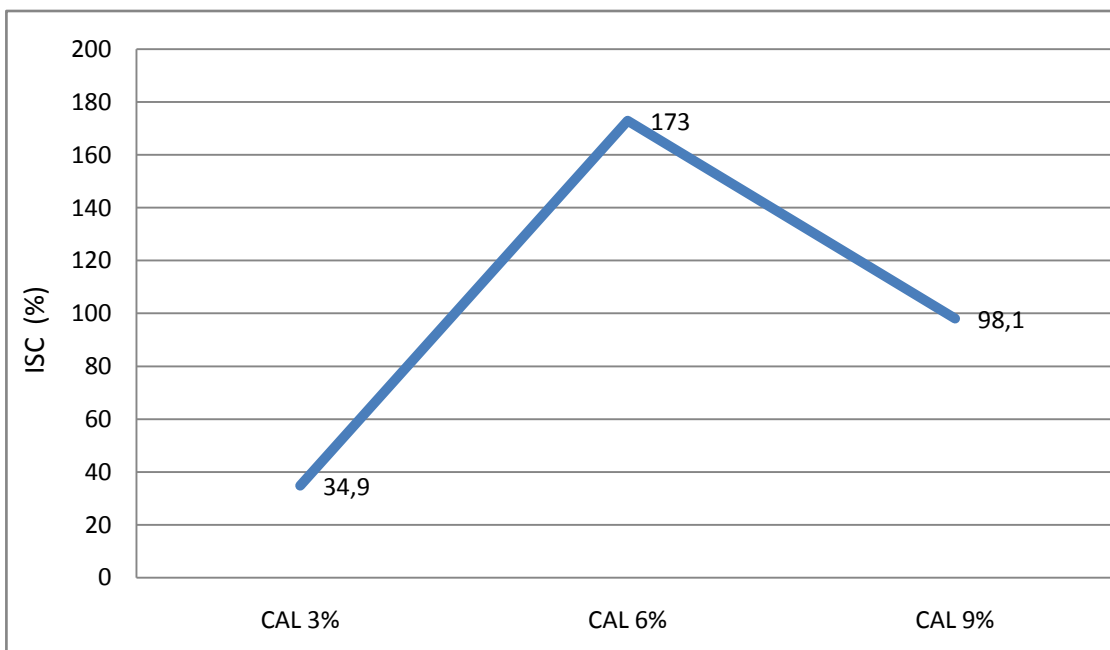
de



Fonte: Do autor, 2017.

Na Figura 08 consta o gráfico com os resultados do ensaio do CBR dos corpos de prova moldados com 3%, 6% e 9% e rompidos após 7 (sete) dias expostos ao ar livre e submersos pelo período 96 horas.

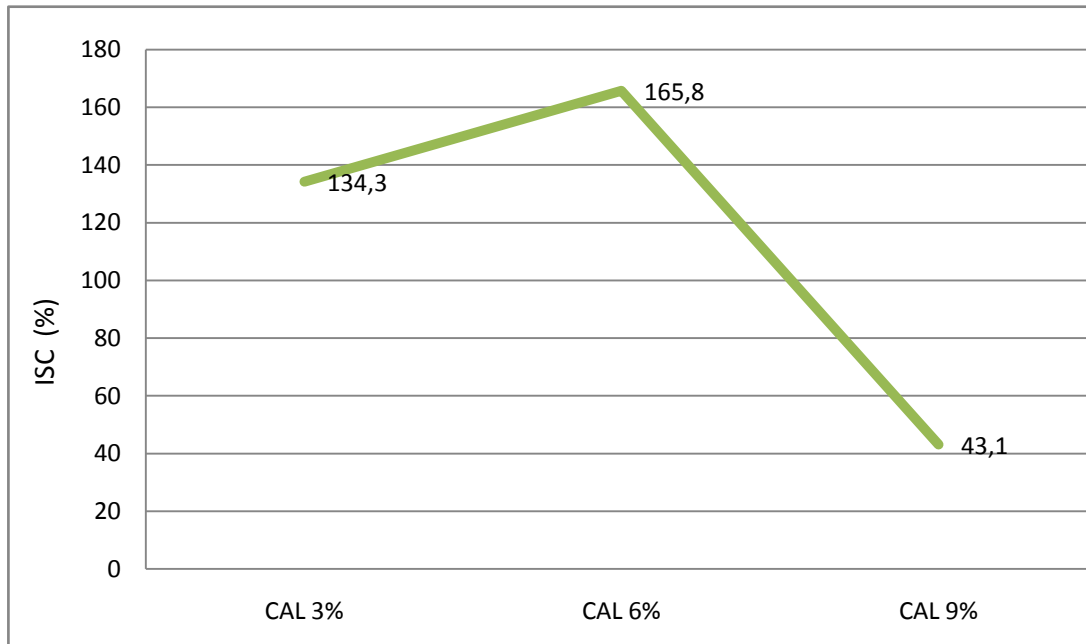
Figura 08: Resultado do CBR para os teores de cal de 3%, 6% e 9%.



Fonte: Do autor, 2017.

Na Figura 09 consta o gráfico com os resultados do ensaio do CBR dos corpos de prova moldados com 3%, 6% e 9% e rompidos após 7 (sete) dias expostos ao ar livre, sem submersão.

Figura 09: Resultado do CBR para os teores de cal de 3%, 6% e 9%.



Fonte: Do autor, 2017.

4.5 ÍNDICE DE EXPANSÃO

No Quadro 09 constam os resultados das leituras de expansão.

Quadro 09:

Períodos de Análise	Valores de Expansão (%)	
	96 horas Submerso	7 dias exposto + 96 horas submerso
Solo Natural	0,98	
CAL3	0,08	0
CAL6	0,1	0
CAL9	0,15	0

Fonte: Do autor, 2017.

Pela análise do quadro 09 todos os resultados das leituras de expansão dos corpos de prova das misturas, inclusive a do solo natural foram menores que 1 %. Portanto, segundo as especificações do DNIT (Departamento de Nacional de Infraestrutura de

Transportes) todas as misturas inclusive o solo natural obtiveram percentuais de expansão abaixo das exigidas para materiais de sub-base de pavimentos, sendo que o solo aditivado em todos os percentuais as expansões se enquadram para material de base.

A condição de exposição dos corpos de prova por 7 (sete) dias, antes da submersão foi reproduzir a condição de execução no campo. Nas misturas ensaiadas sob essa condição o valor da expansão foi nulo, mostrando que a exposição dos materiais ao ar livre, provoca reações físico-químicas entre a Cal e o solo favoráveis para a diminuição da expansão.

Segundo GUIMARAES (1998), a temperatura é fator determinante de aceleração no processo de cura das misturas de solo-cal, proporcionando ganho de resistência, em menor tempo.

Para HERRIN e MITCHELL (1968):

“A durabilidade das misturas de solo-cal é comumente relacionada ao período de tempo que a mesma é curada, antes de ser sujeita à ação danosa do tempo. A durabilidade tende a aumentar com períodos de cura maiores. [...] Períodos longos de cura, em tempo quente, são mais convenientes para melhorarem a durabilidade das misturas de solo-cal.”

As causas para tais as mudanças nas condições do solo ocorreram pelas seguintes reações:

- Troca iônica: Reflete em uma ação imediata, quando a cal é adicionada ao solo ocorre o fenômeno de troca de bases com os argilo-minerais, essa reação causa a floculação das partículas argilosas, causando aumento no ângulo de atrito da massa do solo.
- Ação Pozolânica: tem como influência a temperatura do ambiente, acontece de forma mais lenta;
- Carbonatação: é causada pelo ataque do anidrido carbônico aos hidróxidos da cal.

5. CONCLUSÕES

Pela análise dos resultados do presente trabalho conclui-se que:

- O solo natural tem características físicas e mecânicas de material de sub-base ($CBR \geq 20\%$ e $e \leq 1\%$).
- A melhor dosagem do aditivo cal, foi a de 6%, com o maior valor de CBR, para todas as situações analisadas.
- Em todas as dosagens de aditivo adotadas, nas três alternativas estudadas, observa-se uma queda significativa do CBR, a partir da dosagem de 6% de cal.
- O solo aditivado nas dosagens de 3% e 6%, adquiriu características mecânicas de material de base ($CBR \geq 80\%$ e $e \leq 0,5\%$), para as alternativas estudadas.
- Economicamente o percentual de 3% de cal ao solo natural, é suficiente para o aproveitamento do mesmo tanto como camada de base ou para sub-base.
- A partir da mistura dos dois materiais ocorreram as reações: pozolânicas e a troca iônica que provocaram melhorias nas condições mecânicas do solo natural.
- Constatou-se que a estabilização química com cal se processa em duas etapas: Fase rápida (dura de horas a dias) ocasionada pela troca iônica que causa alterações na estrutura das partículas do solo. E fase lenta ocasionada pelas reações pozolânicas, que provocam um aumento da resistência devido a formação de composições cimentantes; e pela carbonatação, que é uma reação nociva .

Para futuras pesquisas:

- Realizar ensaios com maior tempo de cura, a fim complementar a avaliação da evolução do ganho de resistência das amostras aditivadas.
- Comparar os três tipos de cal hidratada (CH I, CH II e CH III) em uma estabilização de solo;
- Estudar misturas de solo estabilizado com cal e cinzas da casca de arroz; cinzas pozolânicas e aditivo químico Con-aid;

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. – **NBR 6457:1986: Preparação para ensaio de Compactação e ensaios de Caracterização**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6459:1984 Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6502:1995 Rochas e Solo**. Rio de Janeiro: ABNT, 1995

.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7175:2003 Cal hidratada para argamassas -Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7180:1984 Versão corrigida 1988: Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7181:1984 Versão corrigida 1988: Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7182:1986 Solo-Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 9895:1987 Índice de Suporte California**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987

BAPTISTA, Cyro Nogueira. **Pavimentação –Tomo II: Compactação dos solos no campo , camada de base, estabilização dos solos**. Porto Alegre: Editora Globo, 1974.

CAMPOS, Ibere. **Conheça os três tipos principais de solo: areia, silte e argila**. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=59>
Acesso em: maio 2017.

DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. - Rio de Janeiro: Petrobras - Abeda, 2006.

DE OLIVEIRA, Eduardo. **Emprego da cal na estabilização de solos finos de baixa resistência e alta expansão: Estudo de caso no município de ribeirão das Neves/MG**. 2010. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2010.

DE SENÇO, Wlastermiller. **Manual de técnicas de pavimentação, volume II**. 1.ed. – São Paulo: Pini, 2001.

DE SENÇO, Wlastermiller. **Pavimentação**. – São Paulo: Editora Bisordi, 1979.

GUIMARÃES, José Epitacio Passos. **A cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. São Paulo: Pini, 1998.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE.
Manual de Pavimentação. 3ª. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006

HERRIN, Moreland; MITCHELL, Henry. **Mistura de solo-cal**. Rio de Janeiro: IPR, 1968.