

## Estabilização Química Do Solo Em Pavimentação Sob Adição De Cimento E Cal: Uma Revisão De Literatura

Vanessa Alves de Andrade<sup>1</sup>, Thalita Maria Ramos Porto<sup>2</sup>, Guilherme Urquiza Leite<sup>3</sup>, Maria Aparecida Bezerra Oliveira<sup>4</sup>, Hélykan Berliet dos Santos Monteiro<sup>5</sup>, Elysson Marcks Gonçalves Andrade<sup>6</sup>; Valéria Pereira Feitosa<sup>7</sup>.

<sup>1</sup>(Discente do curso de Engenharia Civil, Faculdade Santa Maria, Brasil);

<sup>2</sup>(Docente do curso de Engenharia Civil, Faculdade Santa Maria, Brasil);

<sup>3</sup>(Docente do curso de Engenharia Civil, Faculdade Santa Maria, Brasil);

<sup>4</sup>(Docente do curso de Engenharia Civil, Faculdade Santa Maria, Brasil);

<sup>5</sup>(Docente do curso de Engenharia Civil, Faculdade Santa Maria, Brasil);

<sup>6</sup>(Docente do curso de Engenharia Civil, Faculdade Santa Maria, Brasil);

<sup>7</sup>(Discente do curso de Engenharia Civil, Faculdade Santa Maria, Brasil).

Received 11 November 2020; Accepted 27 November 2020

### Resumo

O solo é um recurso natural bastante aplicado na Engenharia civil, por ser abundante e possuir baixo custo. No entanto, este material nem sempre apresenta as características e os parâmetros adequados por normas técnicas necessárias para ser aplicado em estruturas de pavimentação rodoviária. Sendo assim, é indispensável a busca por soluções técnicas de fácil execução que viabilizem sua aplicação, de modo a melhorar suas características e manter sua durabilidade ao longo do tempo. Um método muito empregado na pavimentação que pode atenuar estes problemas é a estabilização de solos. Objetivou-se com esse trabalho estudar a viabilidade técnica da cal e do cimento na estabilização de solos para pavimentos, através da adição de diferentes porcentagens. Trata-se de uma pesquisa aplicada, fundada através de uma revisão narrativa na literatura. A base usada para seleção dos trabalhos foi o Google Scholar (Google Acadêmico), onde foram utilizados 3 estudos como amostra para análise do objeto de estudo. Os resultados dos estudos demonstraram que pequenas adições de cimento da ordem de 7% a 9% em duas pesquisas analisadas, representaram um ganho na resistência à compressão simples (RCS) tornando o solo adequado para uso em camadas de sub-base de pavimento, já a adição de cal, mesmo que tenha representado aumento da RCS, não foi suficiente para tornar o solo adequado para esse uso. Com relação ao Índice de Suporte, apenas um dos 3 estudos que foram averiguados foi favorável para ser aplicado em camadas de sub-base de pavimentos. Pode-se concluir que a aplicação de diferentes porcentagens de adição dos materiais (cimento e cal), ao solo é possível e viável, pois apresenta desempenhos satisfatórios com relação à RCS e aos valores de ISC.

**Palavras-Chaves:** Pavimento; Aditivo; Propriedades mecânicas; Resistência.

### I. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural bastante aplicado na Engenharia civil, por ser abundante e possuir baixo custo. No entanto, este material nem sempre apresenta as características e os parâmetros adequados por normas técnicas necessárias para ser aplicado em estruturas de pavimentação rodoviária. Sendo assim, é indispensável a busca por soluções técnicas de fácil execução que viabilizem sua aplicação, de modo a melhorar suas características e manter sua durabilidade ao longo do tempo. Um método muito empregado na pavimentação que pode atenuar estes problemas é a estabilização de solos.

A estabilização de solos pode ser executada de maneira física, química ou mecânica, com o intuito de melhorar suas características e propriedades naturais como: resistência, permeabilidade, compressibilidade, e estabilidade volumétrica (CORRÊA, 2008).

Neste estudo, será analisado com mais enfoque a estabilização química do solo, que é realizada através do emprego de aditivos químicos, onde o cimento e a cal são comumente empregados. A adição de cimento Portland por exemplo, confere o aumento de resistência e rigidez e melhor qualidade plástica ao solo, comparando com o solo natural, no caso da cal, a mudança da trabalhabilidade e da resistência ocorre devido aos processos de trocas catiônicas e às reações pozolânicas (SILVA, 2016).

Levando em conta o alto custo que o cimento possui na composição com o solo, para ser utilizado na execução da camada de sub-base do pavimento, o estudo enfatiza o desenvolvimento de melhorias nas propriedades do solo. O procedimento técnico de aprimorar as propriedades do solo utilizando cal é largamente

difundido, sendo realizados estudos e aplicações em todo o mundo. No Brasil, trechos experimentais foram construídos e estudados, demonstrando a viabilidade desta técnica, como o segmento que liga o município de Limoeiro do Norte ao distrito de Flores, estado do Ceará, estudados por Loiola e Nobre (2001).

A importância desta pesquisa é verificada devido à realização de inúmeros estudos que abordam a estabilização de solo com aditivos, estes influenciam nas propriedades mecânicas, físicas e química da mistura. Este estudo é desenvolvido com o intuito de estudar a viabilidade técnica da cal e do cimento na estabilização de solos para pavimentos, avaliando o comportamento das misturas, buscando contribuir na análise de suas características físicas e mecânicas, através da adição de diferentes porcentagens, de modo a viabilizar projetos de pavimentos rodoviários.

## **II. METODOLOGIA**

Trata-se de uma pesquisa aplicada, onde o tema já foi abordado por outros autores, e tenciona o uso de práticas para a solução do problema em estudo, fundada através de uma revisão narrativa na literatura, é caracterizada por meio do conhecimento exploratório e descritivo, através da análise qualitativa e quantitativa do material a ser estudado.

A realização da pesquisa ocorreu entre os dias 25 de agosto a 25 de setembro. A base usada para seleção dos trabalhos foi o Google Scholar (Google Acadêmico).

Para a definição de quais estudos participariam da elaboração desta revisão de literatura, se fez necessário estabelecer critérios de inclusão e exclusão, para validar a veracidade das informações e dos resultados dos estudos no qual supõe o tema da pesquisa, logo, foi determinado o seguinte critério de inclusão, citado abaixo:

1. Estudos que possuam em seu título e resumo abordagens de pesquisas similares.

Em relação aos critérios de exclusão, foram levados em consideração os seguintes:

1. Trabalhos não publicados nos últimos 10 anos; exceto aqueles que são bases de referência na área estudada. (2010 a 2020);
2. Livros, *workshops*, slides de apresentação, entre outras pesquisas, que não se efetivem como artigos, teses e dissertações;
3. Trabalhos que não foram escritos no idioma português;
4. Estudos que não abordem o solo-cimento, a cal e/ou a pavimentação como foco principal na linha de pesquisa.

Toda pesquisa parte de um problema, para solucioná-lo, é essencial a busca de informações que ajudem a compreender a realidade estudada. Sendo assim, de início determinou-se as questões de pesquisa (QP), assinaladas, respectivamente, por QP1 e QP2:

QP1. Quais as técnicas foram usadas nos trabalhos sobre estabilização do solo-cimento com aplicação na pavimentação?

QP2. Quais as porcentagens de substituição parcial do cimento pela cal na composição do solo-cimento foram realizadas nos estudos para análise das resistências?

Após a determinação das questões de pesquisa, aplicou-se um método no processo de busca, descrito a seguir:

1. Buscar com *strings* mais complexas nas bases de busca;
2. Verificação dos resultados encontrados;
3. Aperfeiçoamento da string;
4. Realização de novas Buscas;
5. Armazenamento dos Trabalhos Candidatos;
6. Leitura e interpretação dos Artigos;
7. Escolha dos Trabalhos;
8. Descrição e análise dos Resultados e Discussão.

Para cada estudo selecionado foi desenvolvida uma leitura exploratória, para análise de conteúdo, verificando o resumo e as palavras-chave. Quando necessário, obteve-se a avaliação dos trabalhos juntamente com a professora orientadora da pesquisa. Por se tratar de uma revisão de literatura, o acervo das buscas nas bases é bastante amplo, sendo feita a análise somente dos estudos de interesse, que apresentem relevância e que possam colaborar com o desenvolvimento do estudo, atendendo as especificações exigidas pelo pesquisador.

## **III. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **ANÁLISE DOS ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO**

**Nery (2017)**

Através do ensaio de compactação, o estudo realizado por Nery (2017) apresentou resultados para solo natural, solo com adição de cimento e solo-cal, ambos os últimos com porcentagem de adição correspondente a 3% da massa de solo seca utilizada. A tabela 01 traz os resultados da umidade ótima e da massa específica aparente seca obtidas para cada amostras.

**Tabela 01:** Dados da determinação da massa específica e da umidade ótima para cada amostra ensaiada.

Tipo de amostra	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> )
Solo Natural	27,00	1,51
Solo-cimento	27,10	1,48
Solo-cal	29,8	1,44

Fonte: Autoria Própria, 2020.

Por meio desses valores obtidos, conclui-se que a umidade ótima aumentou em todas as amostras ensaiadas, enquanto a massa específica diminuiu.

#### Souza (2014)

Este autor, desempenhou o ensaio de compactação conforme especificado na NBR 7182/2016 - Solo – Ensaio de Compactação, determinando a curva de compactação para o solo natural e para o solo-cal nos teores de 6%, 8% e 10% através de cinco pontos (umidade x massa específica aparente seca), de onde foram obtidas a umidade ótima e a massa específica aparente seca correspondente (Tabela 02).

**Tabela 02:** Dados da determinação da massa específica e da umidade ótima para cada amostra de solo natural e solo-cal.

Tipo de amostra	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> )
Solo Natural	19,00	1,74
Solo com adição de 6% cal	21,50	1,67
Solo com adição de 8% cal	23,75	1,68
Solo com adição de 10% cal.	20,50	1,66

Fonte: Autoria Própria, 2020.

Fazendo a análise dos resultados expostos na tabela 02, é possível observar que quanto maior o teor de cal adicionado ao solo em estudo, maior a umidade ótima (exceto para o teor de 10%) e menor a densidade aparente seca do solo (exceto para o teor de 8%).

#### Cabral (2018)

No estudo feito por Cabral (2018), houve a adição de porcentagens de cimento nos teores de 9%, 11% e 13% e de cal, nos teores de 3%, 5% e 7% no solo, o que provocou alterações nas propriedades físicas. As tabelas 03 e 04, trazem os resultados de umidade ótima e massa específica aparente seca retirados das curvas de compactação para as amostras de solo natural, com adição de cal e de cimento respectivamente, com valores aproximados.

**Tabela 03:** Dados da determinação da massa específica e da umidade ótima para cada amostra de solo natural e de solo-cal.

Tipo de amostra	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> )
Solo Natural	31,50	1,40
Solo com adição de 3% cal	30,80	1,39
Solo com adição de 5% cal	30,20	1,37
Solo com adição de 7% cal	31,00	1,36

Fonte: Autoria Própria, 2020.

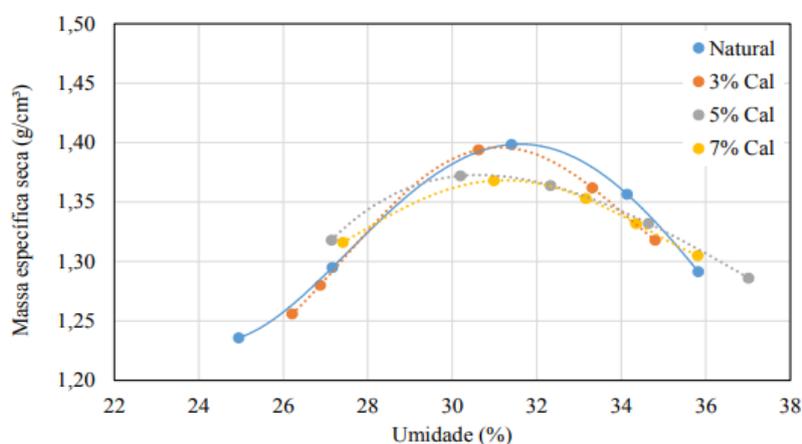
**Tabela 04:** Dados da determinação da massa específica e da umidade ótima para cada amostra de solo natural e de solo-cimento.

Tipo de amostra	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> )
Solo Natural	31,50	1,40
Solo com adição de 9% de cimento	28,00	1,45
Solo com adição de 11% de cimento	28,20	1,46
Solo com adição de 13% de cimento	27,10	1,47

Fonte: Autoria Própria, 2020.

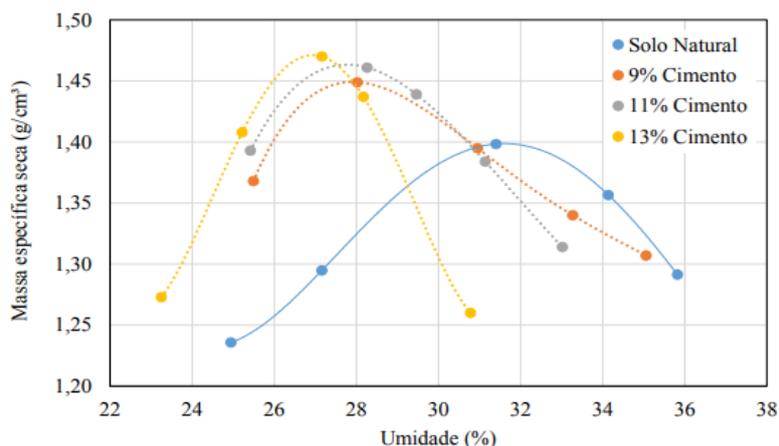
Nas Figuras 01 e 02 a seguir é possível observar os resultados obtidos para os ensaios de compactação do solo natural em comparação com o solo estabilizado com cal e cimento, respectivamente.

**Figura 01:** Curvas de compactação do solo natural e do solo-cal.



Fonte: CABRAL, 2018.

**Figura 02:** Curvas de compactação do solo natural e do solo-cimento.



Fonte: CABRAL, 2018.

Analisando os valores retirados da curva de compactação do solo natural e utilizando como parâmetro de referência para comparar com as demais amostras, pôde-se notar que na mistura solo-cal ocorreu uma diminuição da massa específica aparente seca, bem como uma leve diminuição do teor de umidade ótima do solo. Já no solo-cimento verificou-se um aumento da massa específica seca e a redução do teor de umidade foi mais proeminente que no solo-cal.

### **Análise das Referências**

Espera-se que à medida que é adicionado ao solo os teores de cimento e cal, a umidade ótima aumente e a massa específica seca máxima diminua, isso foi verificado nas pesquisas de Nery (2017) e Souza (2014), o que se explica porque ambos os aglomerantes contêm partículas finas, necessitando assim de uma quantidade maior de água para envolver completamente todas as superfícies de contato e para realizar reações de hidratação.

Já na pesquisa de Cabral (2018) isso não foi verificado por conta do solo estudado, foi observado que a umidade ótima e o peso específico do solo são afetados de acordo com o tipo de solo: o peso específico aumenta em solos arenosos, não se altera nas argilas de baixa e média plasticidade e aumenta nos casos de argilas plásticas. O solo em estudo se enquadra nesta última categoria.

A NBR 7182/2016, não determina valores específicos de referência para verificação dos resultados de umidade ótima e massa específica aparente seca, descreve apenas como devem ser realizados os ensaios para determinação dos resultados.

Segundo Cabral (2018), o DER/PR e a especificação técnica de sub-base ou base de solo-cal do DER/SP, o teor mínimo de cal para estabilização do solo a ser adicionado é de 3%, para assim, permitir a homogeneização e incorporação adequada da cal ao solo, a partir desse parâmetro, notou-se que todos os estudos utilizaram valores acima ou iguais ao teor mínimo.

Segundo o DNIT (2006), os teores usuais de cimentos adotados para o solo-cimento ficam entre 6% e 10%, apenas os estudos de Nery (2017) e de Cabral (2018), utilizaram a adição de cimento ao solo, mas com teores diferentes ao que o DNIT recomenda.

### **ANÁLISE DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES (RCS)**

#### **Nery (2017)**

O autor submeteu os corpos de prova a rompimento em prensa universal, onde foram submetidos a um tempo de cura em câmara úmida por 28 dias, os demais processos de armazenamento foram realizados de acordo com a NBR 12024/1992, exceto a parte em que às amostras deveriam ser imersas em tanque com água por um período de quatro horas antes de iniciar o processo de ruptura. Sendo apresentado os resultados de ruptura médios obtidos para as amostras de solo natural e para os seguintes teores de adição de cal e cimento, 0%, 3%, 5%, 7% e 9% na figura 03 a seguir:

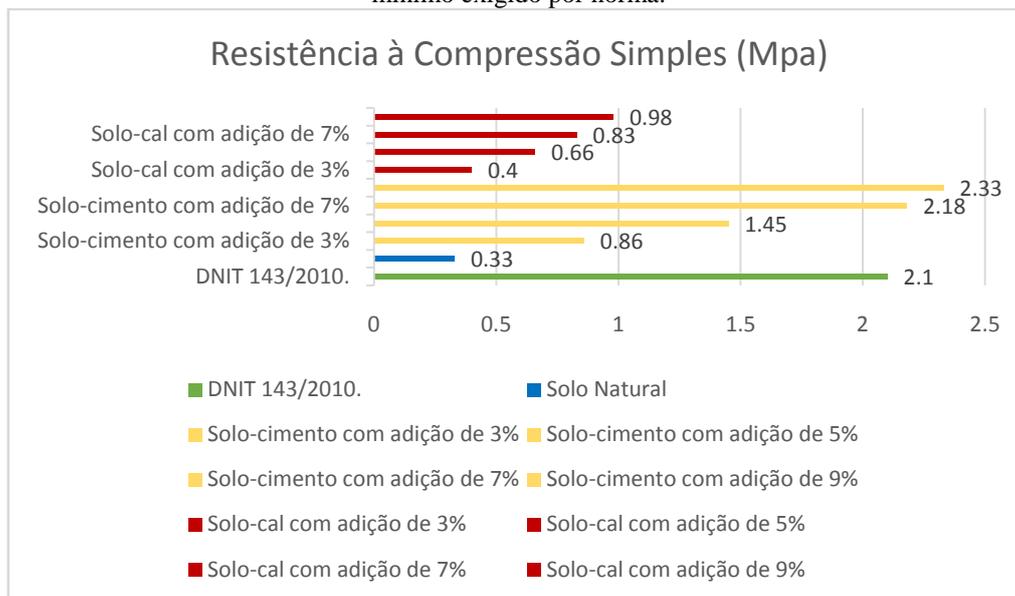
**Figura 03:** Resultado de RCS dos corpos de prova (MPa).

Mistura	Teor de Aditivo				
	0%	3%	5%	7%	9%
Solo Natural	0,33	-	-	-	-
Solo-cimento	-	0,86	1,45	2,18	2,33
Solo-cal	-	0,40	0,66	0,83	0,98

**Fonte:** NERY, 2017.

Os melhores resultados de resistência foram considerados para estabilizações do solo de ambos os materiais utilizados para adição com o teor de 9%, destacando que houve um elevado ganho na mistura com adição do cimento comparado com o valor obtido para o solo-cal, para a mesma porcentagem; também foi possível observar que o aumento no teor de adição resultou, conseqüentemente, no aumento da resistência a compressão simples para todas as misturas.

**Gráfico 01:** Comparativo dos valores de resistência à compressão simples das amostras ensaiadas com o valor mínimo exigido por norma.



**Fonte:** Autoria Própria, 2020.

Levando em consideração a aplicação do material para fins de pavimentação, objetivo deste trabalho e analisando o gráfico 01, apenas as amostras de solo-cimento nas porcentagens de 7% e 9% atenderam os requisitos adequados para serem empregadas em camadas de base, e sub-base. Comparando com o valor mínimo exigido pela norma que aponta como resistência mínima o valor de 21 kgf/cm<sup>2</sup>, ou 2,1 MPa para a resistência à compressão aos 7 (sete) dias, conforme determina a norma do DNIT 143/2010 e o (DNER-ME 201/94).

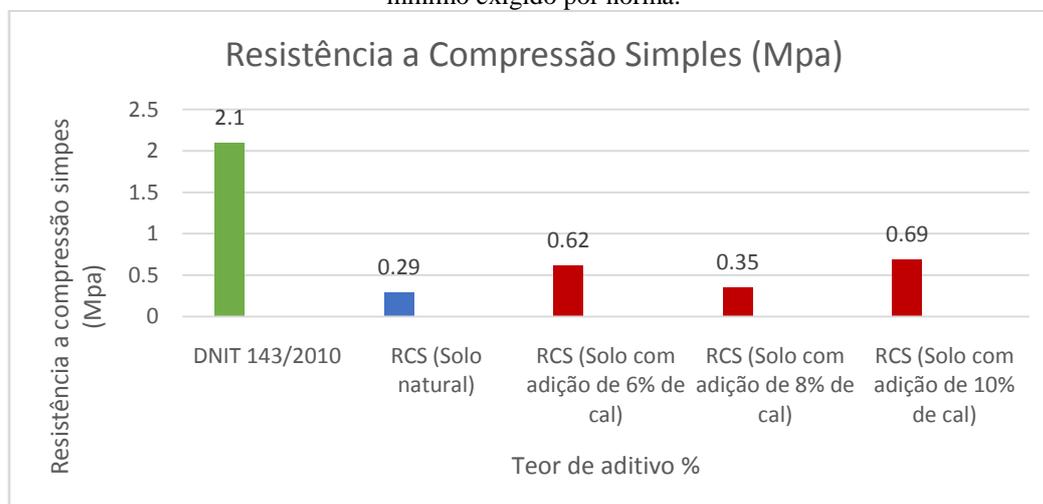
**Cabral (2018)**

Na pesquisa realizada Cabral (2018), não foi realizado o ensaio para verificar a resistência a compressão simples.

**Souza (2014)**

Nesta pesquisa, o ensaio de resistência à compressão simples foi efetivado conforme os procedimentos descritos pela NBR 12025/1990. Os corpos de prova foram moldados com amostras de solo natural e de solo-cal nos teores de 6%, 8% e 10%, todos compactados na umidade ótima, foram submetidos ao ensaio, para assim obter os valores das tensões de ruptura correspondentes a cada corpo de prova, conforme mostra o gráfico 02 a seguir.

**Gráfico 02:** Comparativo dos valores de resistência à compressão simples das amostras ensaiadas com o valor mínimo exigido por norma.



**Fonte:** Autoria Própria, 2020.

Analisando os resultados obtidos através do ensaio, a resistência do solo natural correspondeu a 0,29 Mpa, após a adição de 6% de cal houve um aumento de resistência de 109%, o que fez com que a amostra atingisse uma resistência de 0,62 Mpa. Para o corpo de prova de solo com acréscimo de 8% de cal, foi obtido uma tensão de 0,35 Mpa, equivalente a uma elevação de 18% na resistência inicial. Na amostra com teor de 10% de cal houve um aumento na resistência maior que 100%, atingindo a ruptura com uma tensão de 0,69 Mpa.

É possível constatar que a relação entre o teor de cal e a RCS é diretamente proporcional, pois à medida que aumenta o teor de adição de cal ao solo natural, aumenta a resistência à compressão simples, como pode-se observar em todos os corpos de prova.

A norma do DNIT 143/2010 estabelece que o valor mínimo de resistência é 21 kgf/cm<sup>2</sup> ou 2,1 Mpa, aos 7 dias de cura, para aplicação em base de solo-cimento, logo pode-se concluir que todas as amostras estudadas apresentaram valores abaixo de estabelecido pela norma.

Estes resultados podem ser consequência da falta de uma cura adequada, pois a mistura ganha resistência durante o período de cura e de acordo com Souza (2014), este corpo de prova foi retirado do tanque de imersão com apenas 4 dias. Por fim, pode-se concluir que o solo analisado não é apropriado para ser aplicado em camadas de base e sub-base de um pavimento rodoviário.

### **Análise das Referências**

Analisando os resultados dos dois estudos, Nery (2017) e Souza (2014), que procederam ensaios de resistência à compressão simples, pode-se concluir que apenas o estudo realizado por Nery, nas amostras de solo-cimento com teores de adição de 7% e 9%, atendeu as especificações da norma do DNIT 143/2010, apresentando valores de RCS maiores que o valor mínimo exigido.

### **ANÁLISE DOS ENSAIOS DE ISC OU CBR**

#### **Nery (2017)**

Nesta pesquisa o ensaio de CBR foi realizado para as amostras de solo natural, solo-cimento e solo-cal na umidade ótima obtida através dos ensaios de compactação. Foram confeccionadas nove amostras sendo uma de solo natural e as restantes contendo 3%, 5%, 7% e 9% de aditivo nas misturas de solo-cal e solo-cimento, os resultados estão apresentados a seguir nas figuras 04 e 05.

**Figura 04:** Resultados do Ensaio de CBR – Amostras de Solo-Cimento.

Penetração	Valores de CBR				
	Solo + 0%	Solo + 3%	Solo + 5%	Solo + 7%	Solo + 9%
	aditivo	cimento	cimento	cimento	cimento
2,54 (mm)	1,47%	32,88%	48,00%	60,89%	47,69%
5,08 (mm)	1,75%	31,49%	49,44%	56,24%	53,25%
CBR	1,75%	32,88%	49,44%	60,89%	53,25%

Fonte: NERY, 2017.

**Figura 05:** Resultados do Ensaio de CBR – Amostras de Solo-Cal.

Fonte: NERY, 2017.

Penetração	Solo + % cal			
	Solo + 3% cal	Solo + 5% cal	Solo + 7% cal	Solo + 9% cal
2,54 (mm)	6,33%	7,10%	7,49%	10,88%
5,08 (mm)	4,01%	6,89%	7,46%	10,39%
CBR	6,33%	7,10%	7,49%	10,88%

A análise dos resultados obtidos permite observar a influência do aumento da quantidade de porcentagem adicionada do material ao solo, na capacidade de suporte do solo, pois à medida que aumenta o teor de adição do material tanto nas amostras de solo-cimento quanto nas amostras de solo-cal, aumenta o valor de CBR.

Considerando o maior valor de pressão adquirido entre as penetrações de 0,1 e 0,2 polegadas, em comparação com a pressão padrão tem-se para o solo natural um CBR de 1,75%. A Figura 06 traz as porcentagens de ganhos estimados, das amostras submetidas a adição de cimento e cal, com relação a amostra de solo natural, para o valor de CBR.

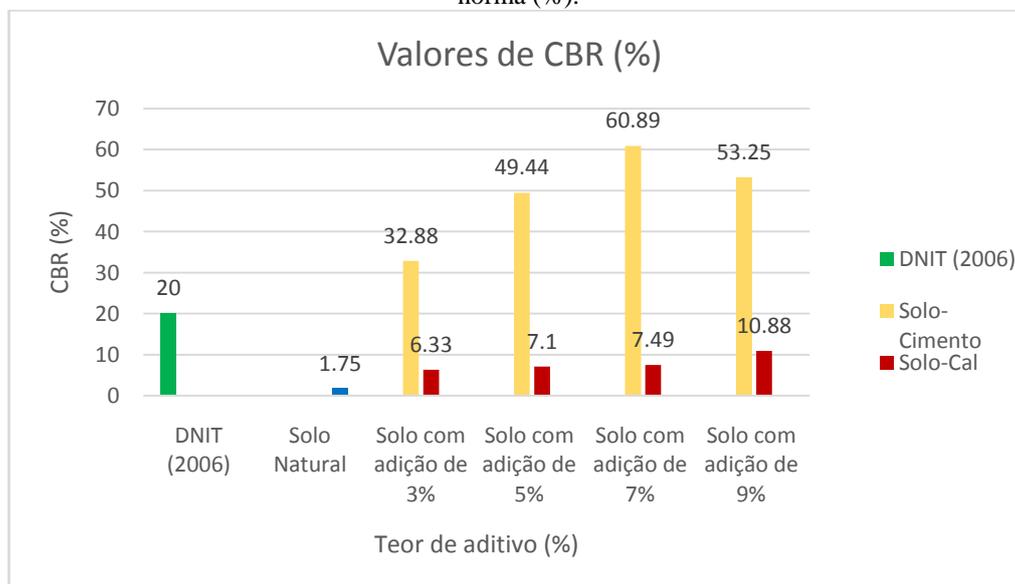
**Figura 06:** Aumento do CBR em relação aos valores para o solo natural.

Valor de CBR	Aumento da Capacidade de Suporte em relação ao solo natural (%)	
Solo Natural  1,75%	Solo + 3% cal	262% maior
	Solo + 5% cal	306% maior
	Solo + 7% cal	328% maior
	Solo + 9% cal	522% maior
	Solo + 3% cimento	1779% maior
	Solo + 5% cimento	2725% maior
	Solo + 9% cimento	2943% maior
	Solo + 7% cimento	3379% maior

Fonte: NERY, 2017.

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), para um material ser aplicado como camada de sub-base de um pavimento ele deve possuir um valor de CBR maior ou igual do que 20%. De acordo com os dados apresentados no gráfico 03 a seguir, os valores obtidos para as misturas solo-cimento permitem sua utilização em camadas de sub-base de pavimentação, pois todos os teores de aditivo, apresentam valores de CBR maiores que 20%. Já para as misturas solo-cal, todos os valores de CBR foram inferiores a 20%, não sendo possível sua aplicação em camadas de sub-base na pavimentação.

**Gráfico 03:** Comparativos dos valores de CBR das amostras ensaiadas com o valor mínimo exigido por norma (%).



Fonte: Autoria Própria, 2020.

### Cabral (2018)

Neste trabalho, executou-se o ensaio de CBR para as amostras de solo natural, solo-cal e solo-cimento, conforme especificações da ABNT NBR 9895/2016. Os corpos de prova foram moldados utilizando o cilindro grande na energia normal, utilizando teores de cal de 3%, 5% e 7% e teores de cimento de 9%, 11% e 13%.

Para obter o valor de CBR das amostras foi preciso relacionar as pressões obtidas no ensaio com as pressões da amostra de brita padrão. Os valores de CBR do solo natural, solo-cal e solo-cimento encontrados para 2,54 mm e 5,08 mm estão dispostos na figura 07, sendo considerado o maior valor adquirido.

**Figura 07:** Valores de CBR dado em porcentagem.

Amostra	CBR 2,54 mm	CBR 5,08 mm
Solo natural	2,87%	3,39%
3% Cal	21,59%	21,33%
5% Cal	36,81%	35,85%
7% Cal	39,22%	39,92%
9% Cimento	23,17%	23,87%
11% Cimento	46,55%	45,69%
13% Cimento	50,51%	57,39%

Fonte: CABRAL, 2018.

Analisando todas as os resultados das amostras, observou-se que a amostra de solo natural possuiu um CBR inicial inferior a 4% e com apenas 3% de cal houve um aumento de 636% passando a apresentar um CBR de 21,59%. Para 5% de cal o ganho foi de 1085%, com CBR de 36,81%; utilizando 7% de cal a amostra de solo apresentou uma melhora de 1177%, com CBR de 39,92%.

Na estabilização química com cimento foi preciso a utilização de teores mais elevados para mostrar melhorias consideráveis no solo, sendo que a adição de 9% de cimento causou um ganho de 704%, com CBR de 23,87%, muito próxima dos valores obtidos com adição de apenas 3% de cal. Para 11% de cimento houve uma melhora de 1373%, com CBR de 46,55% e por fim a adição de 13% de cimento gerou uma melhora de 1692% com CBR de 57,39%.

Verificando os resultados, pode-se concluir que o solo argiloso laterítico do Campus Glória estabilizado com cal e cimento apresentou resultados satisfatórios para ser aplicado como camada de sub-base de pavimentos rodoviários, pois todas as amostras apresentaram valores de CBR maiores que 20%, de acordo com o que especifica o Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

Nota-se que foi necessário altos teores de cimento com relação aos teores de cal na composição da camada, comprometendo assim uma possível redução de custos em relação aos métodos tradicionais de estabilização, pois devido o custo da cal ser menor que o cimento, a aplicação de menores teores de cal a amostra de solo estudada propõe um melhor custo-benefício com relação aos teores de cimento.

#### **Souza (2014)**

Neste estudo, foi realizado o ensaio de ISC, conforme especificações da ABNT NBR 9895/2016, apenas para verificar a expansão das amostras de solo ensaiadas, não obtendo assim os valores de CBR, de acordo com os ensaios realizados pelos estudos citados anteriormente.

#### **Análise das referências estudadas**

Averiguando os resultados dos dois estudos que realizaram os ensaios de CBR, Nery (2017) e Cabral (2018), conclui-se que o estudo realizado por Cabral (2018), se apresentou mais favorável para ser aplicado em camadas de sub-base de pavimentos, pois todas as amostras de solo com aditivos de cimento e cal, atenderam as condições de aplicação e execução, estabelecidas pelo Manual de Pavimentação do DNIT (2006); enquanto que no estudo feito por Nery (2017), apenas as amostras de solo-cimento obedeceram às exigências mínimas determinadas por norma para aplicação.

Contudo vale ressaltar que no estudo concluído por Nery (2017), foi necessário teores de cimento bem menores para atingir elevados valores de CBR, como por exemplo, com o teor de 3% de cimento adicionado ao solo, foi obtido um valor de CBR de 32,88%, enquanto que na pesquisa de Cabral (2018), o menor teor de adição de cimento ao solo que foi de 9%, obteve um valor de CBR de apenas 23,87%, vale ressaltar que deve-se levar em consideração que cada estudo possui tipos de solos diferentes.

### **IV. CONCLUSÃO**

O presente trabalho expôs uma revisão de literatura baseado em estudos realizados nos últimos 10 anos, para verificar a estabilização de solos com aplicação na pavimentação, através do método químico com diferentes teores de adições de cimento e cal. Após a pesquisa e seleção dos trabalhos, foram utilizados 3 estudos como amostra para identificação, percepção e análise do objeto de estudo.

Através da análise e comparação dos resultados, pode-se concluir que a aplicação de diferentes porcentagens de adição dos materiais (cimento e cal), ao solo é possível e viável, pois apresentam desempenhos satisfatórios com relação à resistência à compressão simples e aos valores de CBR, dependendo do teor de porcentagem da substituição, do teor de umidade da mistura, do tempo de cura dos corpos de prova e do tipo de solo ensaiado, visto que cada solo apresenta propriedades físicas diferentes e podem reagir de formas diversas quando misturados com os aditivos.

Vale ressaltar que ao verificar a viabilidade técnica e considerando o ponto de vista ambiental e econômico, a estabilização química de solos na pavimentação, também se mostra de forma positiva, pois possibilita inúmeros benefícios, como por exemplo, a diminuição do impacto ambiental através da instauração de pedreiras, não sendo preciso a exploração de jazidas e a atenuação da perda de material resultante do processo de erosão ou do tráfego.

O estudo objetivou contribuir com maiores pesquisas na área da Geotecnia, visando melhores alternativas de aplicação do solo na pavimentação, através da sua estabilização química. Pensando em novas possibilidades para a presente pesquisa, podem ser realizados posteriormente estudos mais aprofundados e pesquisas mais avançadas com ensaios em laboratório para a obtenção de resultados mais precisos e eficazes.

### REFERÊNCIAS

- [1]. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7182**: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.
- [2]. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12024**: Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 1992.
- [3]. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12025**: Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990.
- [4]. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9895**: Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.
- [5]. CABRAL, F. M. **Estabilização de solos com adição de cal e cimento para fins de pavimentação na cidade de Uberlândia**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2018.
- [6]. CORRÊA, Juliana F. **Avaliação das melhorias das propriedades físicas e mecânicas de solos originados de rochas sedimentares pela adição de cal para fins de pavimentação**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, BR-SC, 2008.
- [7]. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 201/94**: Solo-cimento – Compressão axial de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- [8]. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT (2006). **Manual de Pavimentação**. Publicação IPR – 179. Ministério dos Transportes. Departamento nacional de infraestrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias.
- [9]. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. NORMA DNIT **143/2010 – ES**: Pavimentação – Base de solo-cimento - Especificação de serviço.
- [10]. LOIOLA, P. R.R; NOBRE JÚNIOR, E. F. **Trecho Experimental Utilizando Mistura de Solo-Cal no Município de Limoeiro do Norte-Ceará**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, VI, 2001, Brasília. Anais... Brasília, 2001.
- [11]. NERY, Kaio; RIBEIRO, Daniel; SALES, Andrei. **Efeitos da Adição de Cimento e de Cal em um Solo da Região de Curitiba para Fins de Pavimentação**. 2017. 91 pp. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.
- [12]. SILVA, Mariana Fernandes da. **Estudo da estabilização com cal de um solo laterítico e um solo não laterítico**, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
- [13]. SOUZA, Alan Nunes de Siqueira de. **Estudo de mistura sol-cal para base de pavimento rodoviário**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Brasília, 2014.

Vanessa Alves de Andrade, et. al. "Estabilização Química Do Solo Em Pavimentação Sob Adição De Cimento E Cal: Uma Revisão De Literatura." *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 10(11), 2020, pp. 07-16.