

# ESTUDO DO DYNACAL<sup>®</sup> PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO SOLO ADITIVADO, JUNTAMENTE COM O REAGENTE SULFATO DE ALUMÍNIO

Ana Paula Goulart Corrêa (1), Esp. Pedro Arns (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)anaapaulagoulart@hotmail.com, (2) par@unesc.net

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo, analisar as modificações das características mecânicas de um solo, quando o mesmo é aditivado com o produto Dynacal<sup>®</sup> e um reagente: o sulfato de alumínio. Se as características de um solo de subleito quando aditivado, atingem os valores mecânicos, permitindo seu uso como fundação, sem que haja a necessidade de substituí-lo, ou o mesmo, podendo ser utilizado como uma camada de pavimento. Para tanto, foram dosados percentuais de 7,2, 8,1 e 9% de solução dos produtos (aditivo + reagente), juntamente com o solo de formação Palermo, e realizados os referidos ensaios, CBR e expansão. Dos percentuais dosados e utilizados neste trabalho, em todos obteve-se os resultados satisfatórios, contudo, o percentual que melhor resultado apresentou foi o de 8,1%, o qual resultou no maior CBR, com um acréscimo de 167,06%, e na menor expansão com 436,25% de redução.

Palavras-Chave: Solo, Dynacal<sup>®</sup>, aditivo químico, CBR, expansão.

## 1. INTRODUÇÃO

Em função dos altos custos dos materiais utilizados na pavimentação, como também os grandes impactos ambientais, e da falta de recursos na grande maioria das prefeituras, é cada vez mais necessário, buscar alternativas no melhoramento dos solos, para redução dos custos finais da pavimentação.

Obras de pavimentações nos dias atuais, são imprescindíveis para o aumento/crescimento do país em todas as áreas, bem como, para a saúde pública.

[...] É impossível imaginar a civilização atual sem estradas; por meio delas são transportadas as safras agrícolas e os insumos necessários para produzi-las, os insumos e produtos industriais, quase toda a produção intelectual humana impressa, notícias em jornais e revistas, máquinas,

combustíveis, produtos minerais e toda espécie de coisa material que se possa imaginar que a humanidade utilize. [...] (Bandeira e Floriano, 2004, p.3).

E ainda sobre o impacto ambiental, que as obras de pavimentações geram na sua execução.

[...] Uma rodovia pode ser classificada como uma obra de engenharia composta por uma pista e obras de arte. Seus impactos iniciam no planejamento, continuam na fase de implantação e construção, até a fase operacional, quando a qualidade de sua manutenção tem grandes implicações. A avaliação de impacto ambiental das rodovias deve incluir todas as fases, mas no Brasil ainda é incipiente na de operação, sendo pouco ou nada exigido pela legislação nesta fase, embora talvez crie mais impactos do que as demais, pois tem um prazo de duração indefinido, podendo chegar a séculos. [...] (Bandeira e Floriano, 2004, p.3).

Visto os fatores que podem interferir em uma obra de pavimentação, busca-se hoje, outras formas de amenizar os impactos que a execução de uma obra de grande porte pode causar. Mas a busca por melhorias, teve início tempos atrás. Pessoas que trabalham nesta área, já vem buscando soluções há muito tempo, para a melhoria das estradas de terras, e também para futuras estradas (FISTEC Engenharia LTDA).

Uma das grandes soluções que buscou-se para o melhoramento dos solos, foi com a utilização de aditivos, tanto em sua forma seca (uma das primeiras formas de aditivos a ser utilizada), quanto na forma líquida (hoje em dia, uma das formas mais utilizadas e em crescente expansão do seu estudo), segundo FISTEC Engenharia LTDA.

A opção pela utilização de aditivos químicos em solos, tem suas finalidades.

[...] A opção pela estabilização do solo, seja ela química ou mecânica, [...] possibilita, em algumas situações, a utilização dos solos encontrados no local da obra, reduzindo custo e tempo de execução da obra, pois há uma redução global no momento de transporte da camada estabilizada.[...]  
(Azevêdo, 2010, p.2)

Não somente um aditivo químico específico, mas uma infinidade de outros aditivos, visam realizar os mesmos efeitos: melhorar a capacidade de suporte, diminuir a quantidade de água, aproximar as partículas do solo, e demais melhorias.

Como o estudo na estabilização de solos é crescente, encontra-se hoje, várias marcas que oferecem essa estabilização como: Dynacal<sup>®</sup>, Perma Zyme<sup>®</sup>, Dinasolo, Con-Aid, DS – 328, cimento, cal, entre outras.

Desta forma estudou-se um solo, para melhorar as suas características mecânicas, para seu possível uso como subleito, ou mesmo camada de um pavimento. Com essa finalidade, coletou-se uma amostra de material para poder estudá-lo. A amostragem para os respectivos ensaios mecânicos, foi coletada de um talude do terreno, com as coordenadas 28°43'52,37"S e 49°24'22,96"O, localizado no Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE). Após a coleta, o material foi encaminhado ao Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT), localizado no IPARQUE, onde iniciou-se todo o processo de caracterização do material.

Este mesmo solo, nas coordenadas citadas acima, foi utilizado também em outro estudo para saber o seu comportamento na prática, se seria possível a utilização deste solo como fundação ou até mesmo como camada de um pavimento. O estudo feito por Maurílio, utilizou-se o aditivo Perma Zyme®.

Para determinar se um solo pode ser considerado utilizável como subleito, reforço, sub-base e/ou base, em obras de pavimentação, são necessários alguns ensaios de caracterização do mesmo, com o intuito de saber o seu comportamento na prática.

Se os resultados mecânicos, obtidos em seu estado natural não forem satisfatórios, existem os procedimentos para melhorá-lo, que é pela utilização de aditivos químicos, podendo evitar a necessidade de removê-lo e substituí-lo por um outro com melhor desempenho.

No presente trabalho, aditivou-se o solo coletado, com o aditivo químico Dynacal®, e como reagente o sulfato de alumínio, para verificar em quanto seria o aumento das características mecânicas.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 MATERIAIS**

Os materiais utilizados no estudo foram, o solo, o aditivo químico Dynacal® e o reagente sulfato de alumínio.

### 2.1.1 DYNACAL<sup>®</sup>

É um aditivo químico de origem orgânica, que tem por finalidade, juntar-se as partículas finas do solo, fazendo com que aumente a capacidade de suporte do mesmo, e que diminua a sua expansão, e a sucção faça com que o solo se torne impermeável.

A mistura do aditivo com o solo, faz com que ocorra uma aproximação dos íons de cátion (cargas positivas) e os íons de ânion (cargas negativas), nas superfícies dos grãos de argilas presentes nos solos. Com isso, ocorre o aumento das suas características mecânicas, diminuindo os números de vazios presentes no solo. A figura 1, ilustra o tambor do produto Dynacal<sup>®</sup>.

Figura 1: Tambor de Dynacal<sup>®</sup>

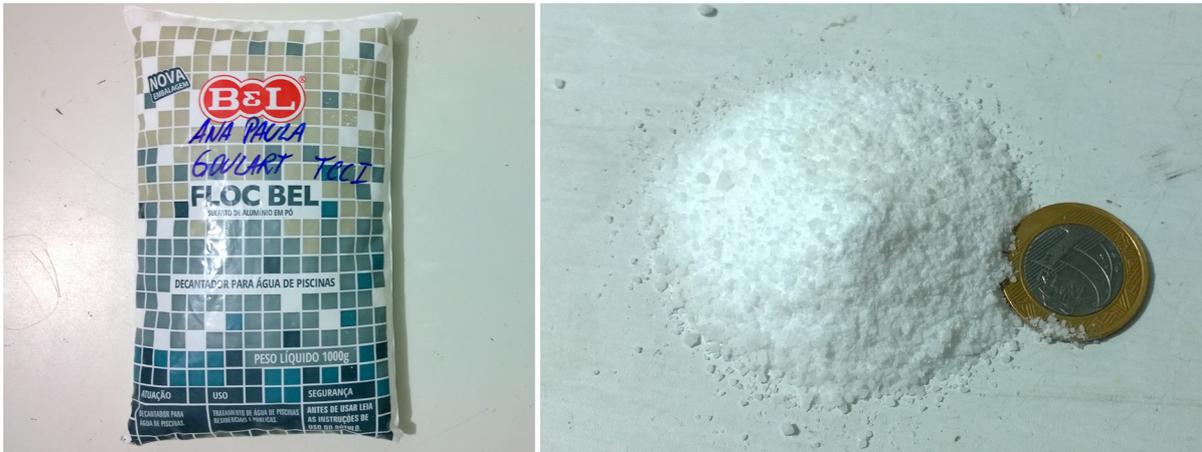


Fonte: Dynacal (2015)

### 2.1.2 SULFATO DE ALUMÍNIO

Sulfato de alumínio  $[Al_2(SO_4)_3]$ , é um sal obtido pela reação entre o ácido sulfúrico e hidróxido de alumínio, ou entre o mesmo ácido e o alumínio metálico. Comumente, ele é utilizado no tratamento de água, de efluentes, de piscinas e também como reagente para utilizar na associação com o aditivo químico. Figura 2, sulfato de alumínio.

Figura 2: Sulfato de alumínio

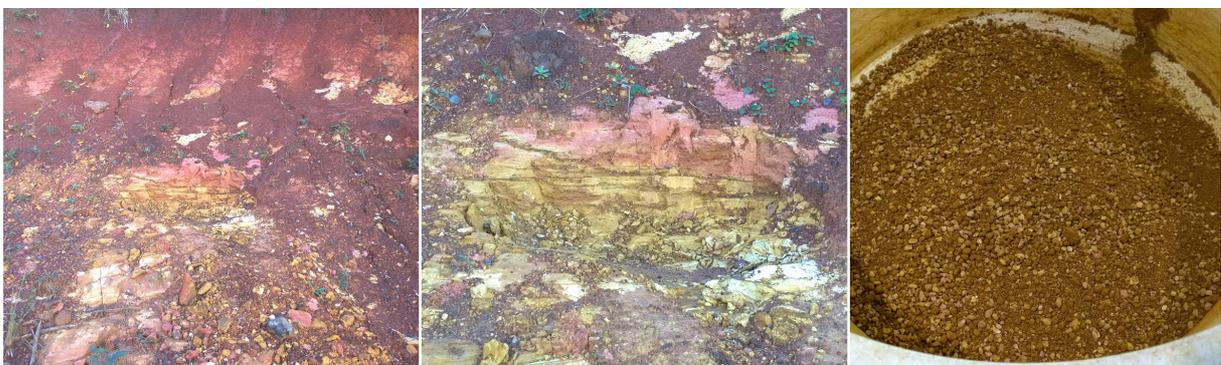


Fonte: do autor (2015)

### 2.1.3 SOLO

O solo estudado foi coletado de um talude em corte, localizado no IPARQUE, de formação Palermo, que é muito conhecido pela sua alta expansibilidade, com isso torna-se muito difícil a sua utilização como fundação (subleito) em uma obra de pavimentação. Uma vez coletado o solo, foi encaminhado ao LMS, e iniciou-se os procedimentos de secagem, destorroamento e quarteamento, para a caracterização do mesmo, realizando-se os ensaios físicos e mecânicos em seu estado natural. A figura 3, mostra o local onde foi coletada a amostra de solo, para a realização dos ensaios.

Figura 3: Localização do solo estudado



Fonte: do autor (2015)

## 2.2 MÉTODOS

Os ensaios físicos realizados no solo foram: Limite de Liquidez (LL – NBR 6459), Limite de Plasticidade (LP – NBR 7180), granulometria (NBR 7181), classificação do solo (TRB), ensaio de compactação (NBR 7182), ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC – NBR 9895) e expansibilidade. O ensaio de compactação foi realizada pela Energia do Proctor Intermediária (P.I. – NBR 7182).

A figura 4 exemplifica o ensaio do limite de liquidez e plasticidade.

Figura 4: Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP)



Fonte: do autor (2015)

Após os ensaios de LL, LP e granulometria, obteve-se a classificação do solo, conforme a Transportation Research Board (TRB), como também, o seu Índice de Grupo (IG) e Índice de Plasticidade (IP). A tabela 1, representa a classificação do solo de acordo com a TRB.

Tabela 1: Classificação do solo

| RESULTADOS |        |    |    |       |
|------------|--------|----|----|-------|
| LL [%]     | LP [%] | IP | IG | TRB   |
| 61         | 39     | 22 | 17 | A7--5 |

Fonte: do autor (2015)

A seguir, realizou-se os ensaios mecânicos de acordo com o método empregado do P.I., conforme recomendação do fabricante, para a obtenção de seu CBR (California Bearing Ratio) e da expansão.

Dos cinco corpos de prova, moldados no P.I. na compactação, com cinco (5) teores de umidades diferentes, descartou-se o primeiro e o último ponto obtido, utilizando-se os três intermediários para determinação da umidade ótima. E posteriormente, foi moldado um novo corpo de prova (com o teor de umidade ótima). Foi compactado e colocado imerso em água, para obter o valor da expansão e depois o valor do CBR. Figura 5, demonstra o ensaio realizado.

Figura 5: Expansão e CBR



Fonte: do autor (2015)

A tabela 2, apresenta os resultados mecânicos, obtidos através dos ensaios para o solo em seu estado natural.

Tabela 2: Resultado dos ensaios

| RESULTADOS                                 |       |
|--|-------|
| Densidade Seca Máxima [g/cm <sup>3</sup> ] | 1,440 |
| Umidade ótima [%]                          | 27,80 |
| CBR [%]                                    | 8,50  |
| Expansão [%]                               | 3,49  |

Fonte: do autor (2015)

De posse dos resultados mecânicos do solo, no seu estado natural, seguindo as orientações e especificações do fabricante do aditivo Dynacal<sup>®</sup>. Iniciou-se o estudo, aplicando-se o mesmo em percentuais diferentes, para determinação do valor ideal a ser utilizado, para atingir o objetivo desejado.

Assim, para cada teor do aditivo, foram moldados igualmente dois corpos de provas, na mesma energia de compactação P.I., usando-se a mesma metodologia para determinação do CBR, usada para o solo natural.

Contudo, de acordo com as especificações do fornecedor do produto (Dynacal<sup>®</sup>), os corpos de provas aditivados, permaneceram em repouso para o processo de cura por 48h. Após este período, as amostras foram inundadas, para determinação do seu CBR, conforme determina a norma ABNT - NBR 9895/1987.

Para os ensaios, foram utilizados percentuais de aditivo em 5,3, 5,8 e 6,3%, bem como para o reagente 2,42, 2,92 e 3,42%. As tabelas abaixo, mostram os quantitativos de cada material, para formar a solução adequada do produto e seu reagente:

- Dynacal<sup>®</sup> + H<sub>2</sub>O;
- Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O.

Os valores utilizados, tanto para aditivo quanto para reagente, foram baseados na tabela disponibilizada pelo fabricante. Tabela 3, valores disponibilizados pelo fabricante.

Tabela 3: Valores do aditivo (Dynacal<sup>®</sup>)

| Tambor na pista [m <sup>2</sup> ] | Solução de DYNACAL no LABORATÓRIO [g] |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 1000                              | 48                                    |
| 1100                              | 42                                    |
| 1200                              | 39                                    |
| 1300                              | 36                                    |
| 1400                              | 34                                    |
| 1500                              | 32                                    |

Fonte: Manual técnico Dynacal<sup>®</sup>, 1990

Foi utilizado como parâmetro, o valor de 48g de solução Dynacal<sup>®</sup>, a partir do qual, foram adicionados 5g em cada amostra para o ensaio realizado. Para o sulfato de alumínio, de acordo com manual técnico do Dynacal<sup>®</sup>, do qual se usou 10% para o

aditivo e 4% para o reagente, adotando-se como base as 48g, obtendo-se o valor de 19,2g para o reagente. Determinado o valor do reagente, adicionou-se 5g do mesmo em cada amostra, adotando-se igual procedimento utilizado para o aditivo.

A tabela 4, contém os valores de Dynacal<sup>®</sup> e a água para obtenção da solução de 1litro. E na tabela 5, os valores do reagente e a água.

Tabela 4: Valores do aditivo (Dynacal<sup>®</sup>)

| Dynacal <sup>®</sup> [ml] | H <sub>2</sub> O [ml] | Solução [ml] |
|---------------------------|-----------------------|--------------|
| 53                        | 947                   | 1000         |
| 58                        | 942                   | 1000         |
| 63                        | 937                   | 1000         |

Fonte: do autor (2015)

Tabela 5: Valores do reagente (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>)

| Sulfato de Alumínio [g] | H <sub>2</sub> O [ml] | Solução [ml] |
|-------------------------|-----------------------|--------------|
| 24,2                    | 975,8                 | 1000         |
| 29,2                    | 970,8                 | 1000         |
| 34,2                    | 965,8                 | 1000         |

Fonte: do autor (2015)

De posse das respectivas soluções, do aditivo e reagente, determinou-se as quantidades dos mesmos, a serem adicionados ao solo natural, para que atingisse a umidade ótima ( $h_o$ ), determinado no ensaio de compactação do solo natural, segundo a ABNT - NBR 7182/86.

Para a obtenção do valor necessário de água a ser adicionado ao solo, chegando-se a umidade ótima, utilizou-se as equações 1 e 2.

$$Peso\ Seco\ [g] = \frac{Peso\ Úmido\ [g] \times 100}{100 + Umidade\ Natural\ [%]}$$

Equação 1

$$V.H2O\ [ml] = Peso\ Seco\ [g] \times \left( \frac{Umidade\ Ótima\ [%] - Umidade\ Natural\ [%]}{100} \right)$$

Equação 2

Através das equações 1 e 2, obteve-se os valores de peso seco e volume de água, representados na tabela 6.

Tabela 6: Valores de peso seco e volume de H<sub>2</sub>O

| Peso seco [g] | Volume H <sub>2</sub> O [ml] |
|---------------|------------------------------|
| 3974          | 1078                         |

Fonte: do autor (2015)

Do total de 100% (1078ml) de água, para se chegar a umidade ótima do solo natural, utilizou-se 594ml deste valor, o qual teve que ser misturado com a solução de Dynacal<sup>®</sup>. Somando-se os valores, obteve-se um total de 647ml de solução Dynacal<sup>®</sup> e água, que representa 60% de 1078ml, que é de recomendação do fabricante. Do mesmo modo, foi realizado com o reagente sulfato de alumínio, os 40% restantes.

Na tabela 7, estão representados os valores de solução Dynacal<sup>®</sup>, a água e o 60% da solução total a ser adicionado ao corpo de prova.

Tabela 7: Quantitativo de solução Dynacal<sup>®</sup> + H<sub>2</sub>O

| Solução Dynacal <sup>®</sup> [ml] | H <sub>2</sub> O [ml] | 60% solução total [ml] |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|
| 53                                | 594                   | 647                    |
| 58                                | 589                   | 647                    |
| 63                                | 584                   | 647                    |

Fonte: do autor (2015)

Na tabela 8, estão representados os valores de solução do reagente, a água e o 40% da solução total, a ser adicionado ao corpo de prova.

Tabela 8: Quantitativo de solução Sulfato de Alumínio + H<sub>2</sub>O

| Solução S. Alumínio [ml] | H <sub>2</sub> O [ml] | 40% solução total [ml] |
|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| 24,2                     | 406,8                 | 431                    |
| 29,2                     | 401,8                 | 431                    |
| 34,2                     | 396,8                 | 431                    |

Fonte: do autor (2015)

Na figura 6, estão representadas as soluções de Dynacal<sup>®</sup> e sulfato de alumínio em recipientes para armazená-los.

Figura 6: Soluções Dynacal<sup>®</sup> e [Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>], respectivamente



Fonte: do autor (2015)

Separou-se, seis amostras de solo (cada uma contendo 4000g), as quais possuíam os mesmos valores de umidades higroscópicas de 0,66%.

De acordo com o fabricante, inicialmente coloca-se o solo em um recipiente, ao qual adiciona-se a solução Dynacal<sup>®</sup>, homogeneizando-o bem, para a seguir, adicionar a solução do reagente, repetindo-se o processo para cada teor utilizado.

Após este procedimento, o solo homogeneizado foi colocado em um cilindro grande de CBR, devidamente numerado e em 5 camadas, aplicando-se sobre cada uma, 26

golpes com o soquete grande. A figura 7, representa o solo sendo compactado no cilindro, devidamente numerado.

Figura 7: Solo aditivado para ensaio de CBR



Fonte: do autor (2015)

Após serem moldados todos os corpos de prova, nos respectivos percentuais de aditivo e reagente, por recomendação do fabricante, os mesmos permaneceram em repouso por 48h, na temperatura ambiente. Após este período, os mesmos foram imersos em água, para a determinação da expansão e CBR.

Figura 8, mostra o solo já compactado em seus cilindros em repouso, pelo período recomendado e em temperatura ambiente.

Figura 8: Solo aditivado em repouso por 48h



Fonte: do autor (2015)

Passado este período, os corpos de provas moldados foram colocados na água, durante quatro dias, completamente inundados, conforme especificado na norma (NBR 9895). Na figura 9, constam todos os corpos moldados, aditivados, submersos em água por 96h.

Figura 9: Todas as amostras de solo submersas em água por 96h



Fonte: do autor (2015)

Após este período imerso em água, foram feitas as leituras dos manômetros para verificação da expansão do solo, conforme especificações do fabricante.

Antes de levar o corpo (cilindro), para submeter ao ensaio de CBR, retira-se do mesmo o excesso de água por um período de 15min. A figura 10, ilustra o corpo de prova na prensa, sendo submetido a um ensaio de penetração, segundo ABNT – NBR 9895/87.

Figura 10: Solo rompido para determinação CBR



Fonte: do autor (2015)

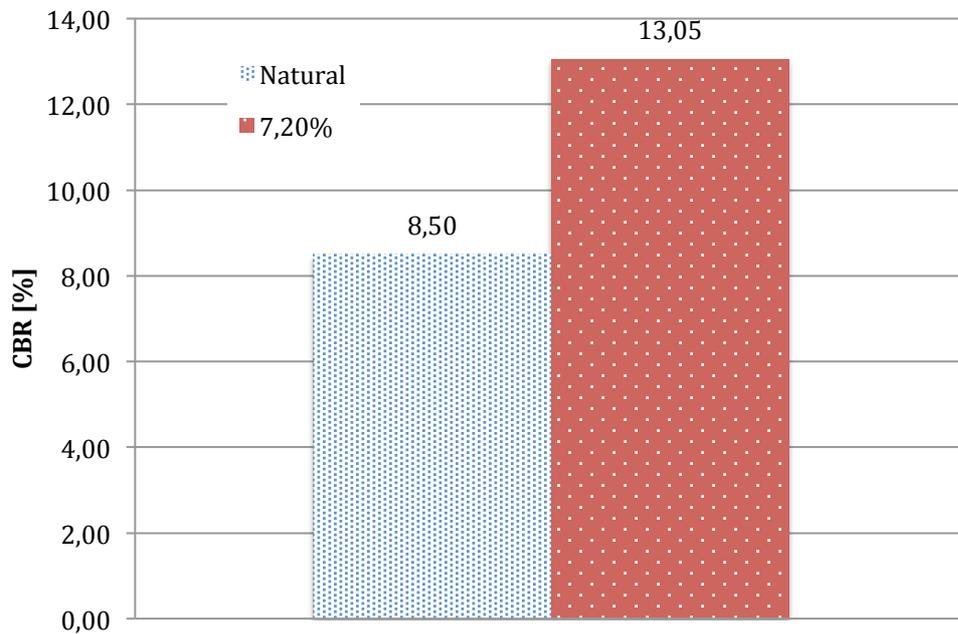
A partir do ensaio citado acima, obteve-se os resultados do solo aditivado, quanto ao CBR e a expansão, permitindo a comparação com o solo natural, e a análise, se foi atingido o resultado esperado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 RESULTADOS

Os cilindros com o solo aditivado, foram submetidos a ensaios de penetração, de acordo com a norma ABNT – NBR 9895/87, obtendo-se os resultados de CBR e expansão através, das leituras do manômetro, para cada amostra de aditivo utilizada. Com os dados obtidos através dos ensaios, nos permitiu uma análise, se a aplicação do aditivo juntamente com o seu reagente, de acordo com as informações do seu fabricante, qualificou o solo para o seu uso como camada de um pavimento ou somente como fundação. A figura 11, apresenta o valor do CBR do solo natural e do solo aditivado em 7,2%.

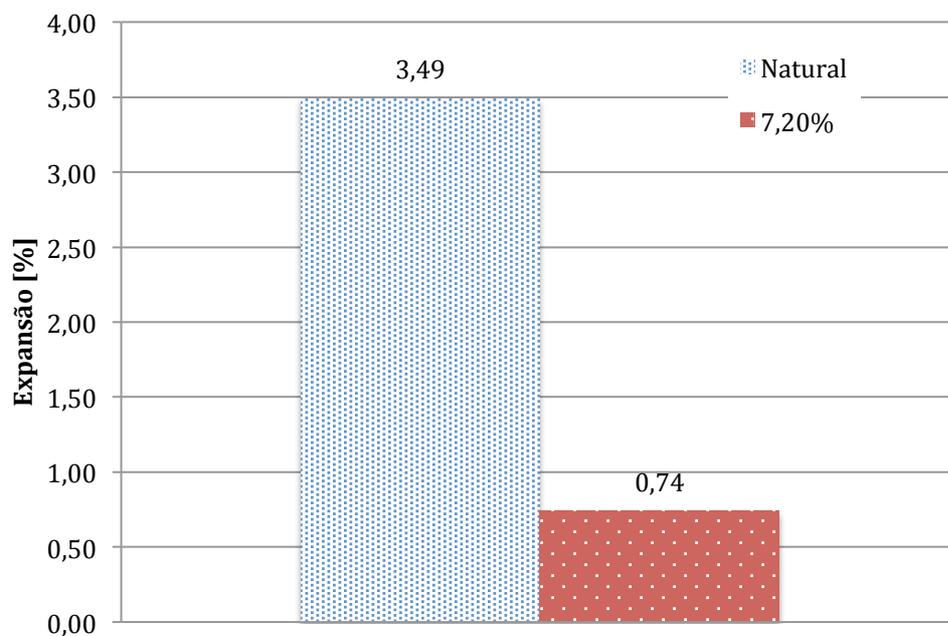
Figura 11: Resultado do CBR do solo natural e solo aditivado em 7,2%



Fonte: do autor (2015)

A figura 12, apresenta o valor de expansão do solo natural e solo aditivado em 7,2%.

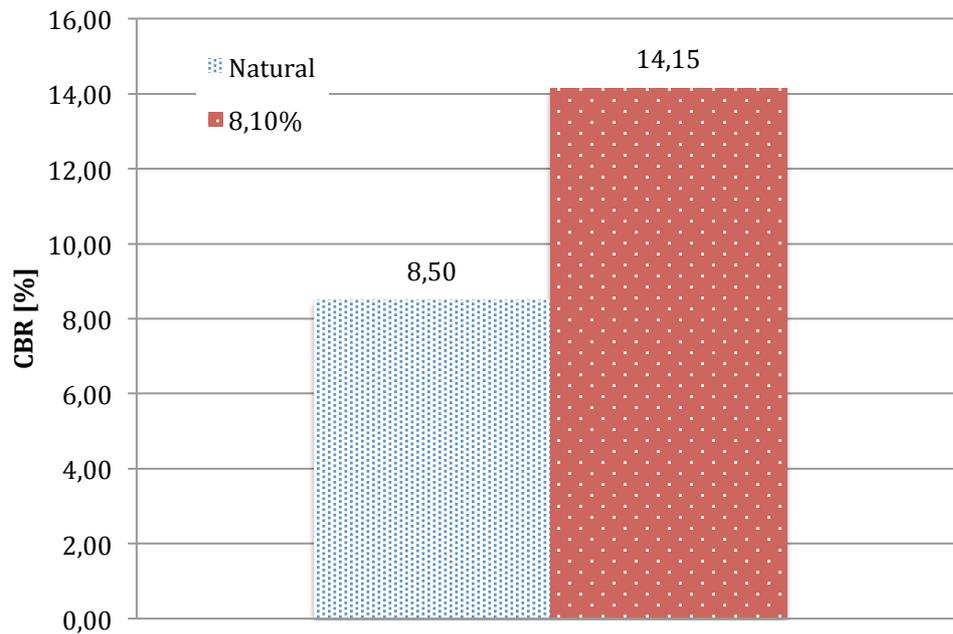
Figura 12: Resultado da expansão do solo natural e solo aditivado em 7,2%



Fonte: do autor (2015)

A figura 13, apresenta o valor do CBR do solo natural e solo aditivado em 8,1%.

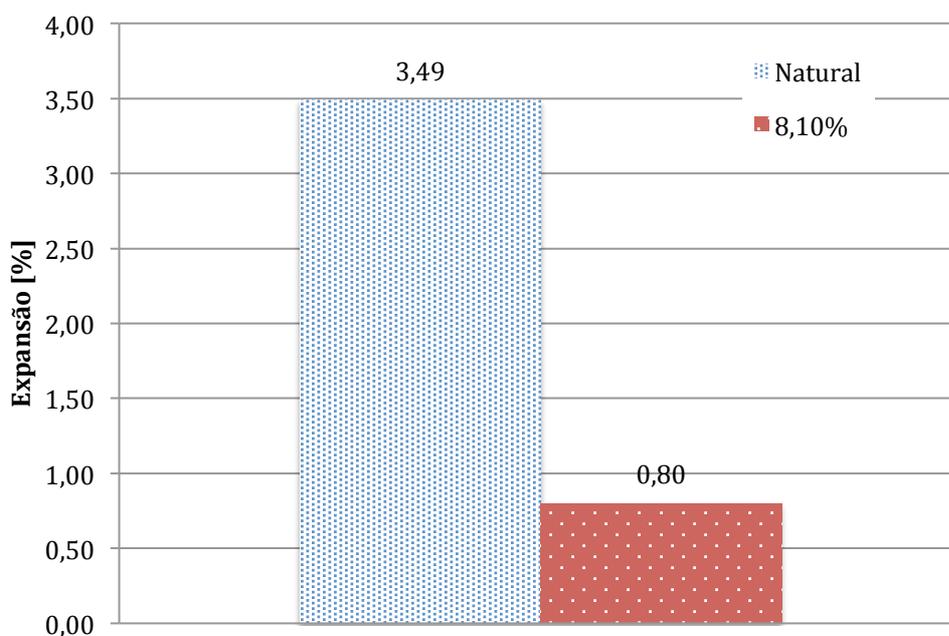
Figura 13: Resultado do CBR do solo natural e solo aditivado em 8,1%



Fonte: do autor (2015)

A figura 14, apresenta o valor de expansão do solo natural e solo aditivado em 8,1%.

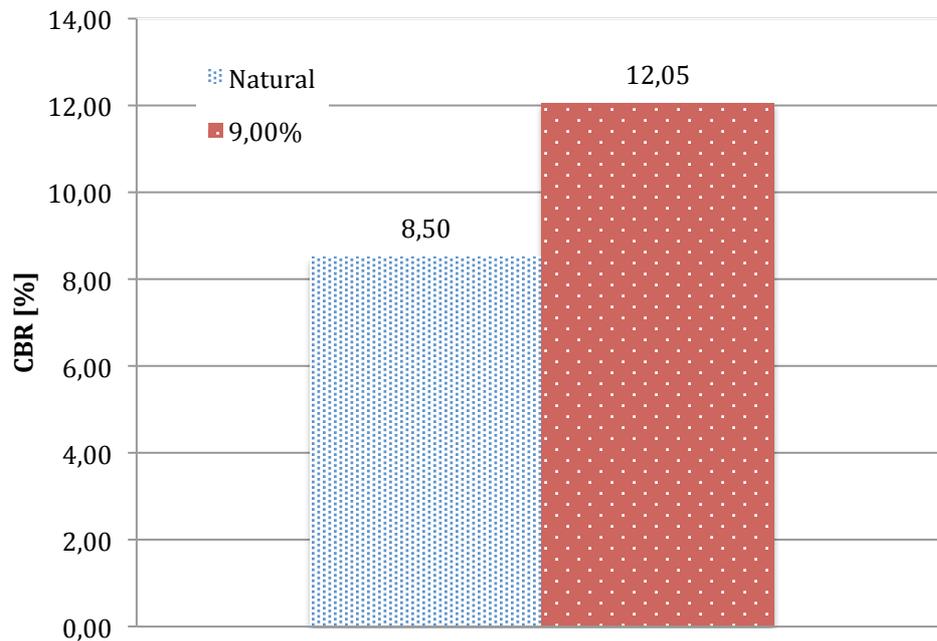
Figura 14: Resultado da expansão do solo natural e solo aditivado em 8,1%



Fonte: do autor (2015)

A figura 15 apresenta o valor do CBR do solo natural e solo aditivado em 9%.

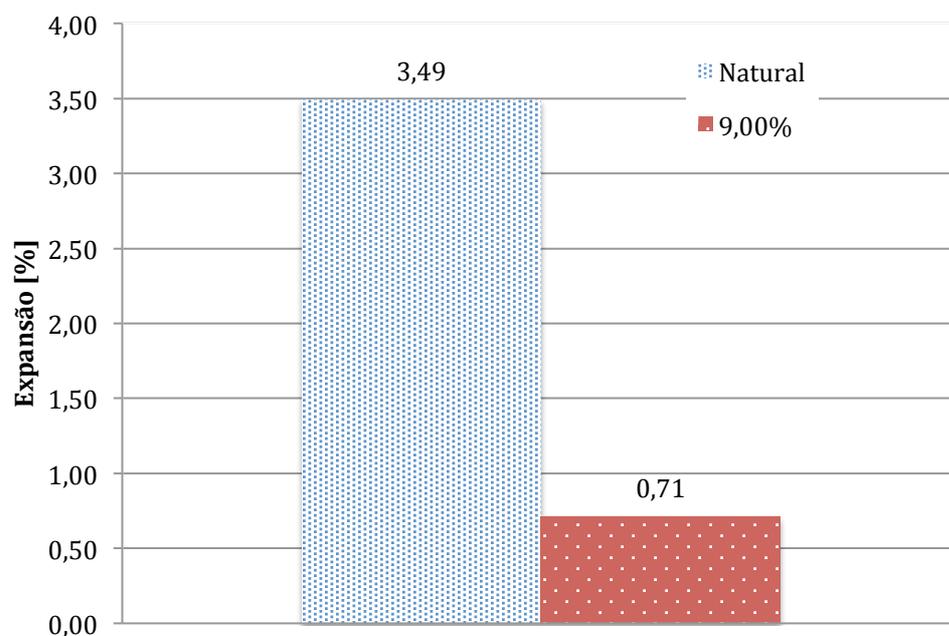
Figura 15: Resultado do CBR do solo natural e solo aditivado em 9%



Fonte: do autor (2015)

A figura 16, apresenta o valor de expansão do solo natural e solo aditivado em 9%.

Figura 16: Resultado da expansão do solo natural e solo aditivado em 9%

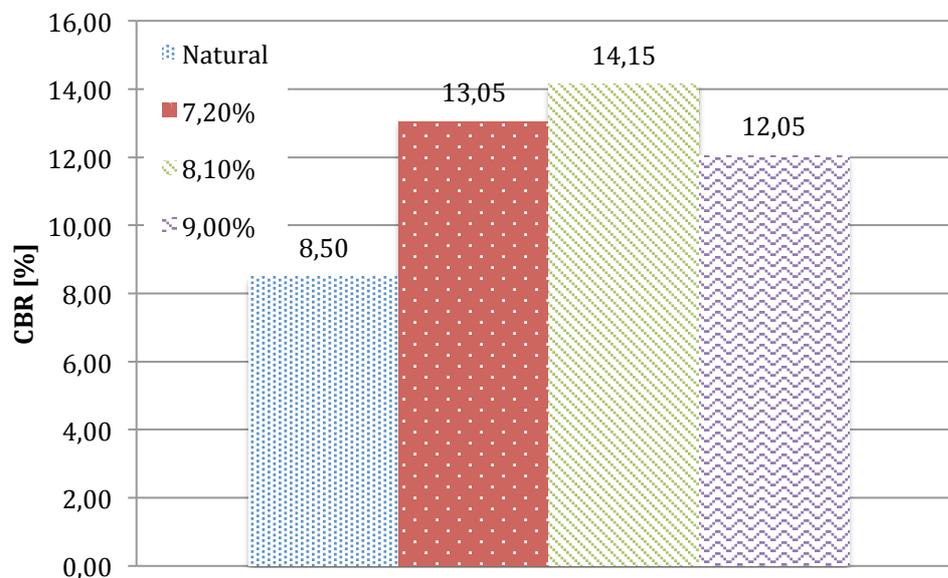


Fonte: do autor (2015)

Pelos resultados obtidos, observou-se que a adição do aditivo com o respectivo reagente, atingiu o esperado. Observou-se ainda, que o desempenho do aditivo com o reagente, na proporção de 8,1% foi o que se mostrou mais satisfatório. Pois o CBR de 8,5% no estado natural, elevou-se para 14,2%, ou seja, um ganho de resistência a compressão simples de 167,06%. Enquanto que para a expansão, a amostra aditivada com 9%, foi a que apresentou melhor resultado, em relação ao solo natural, que era de 3,49% e reduziu para 0,71%, ou seja, 491,55% de redução.

Na figura 17, constam todos os valores de CBR dos solos aditivados, em relação ao solo em seu estado natural.

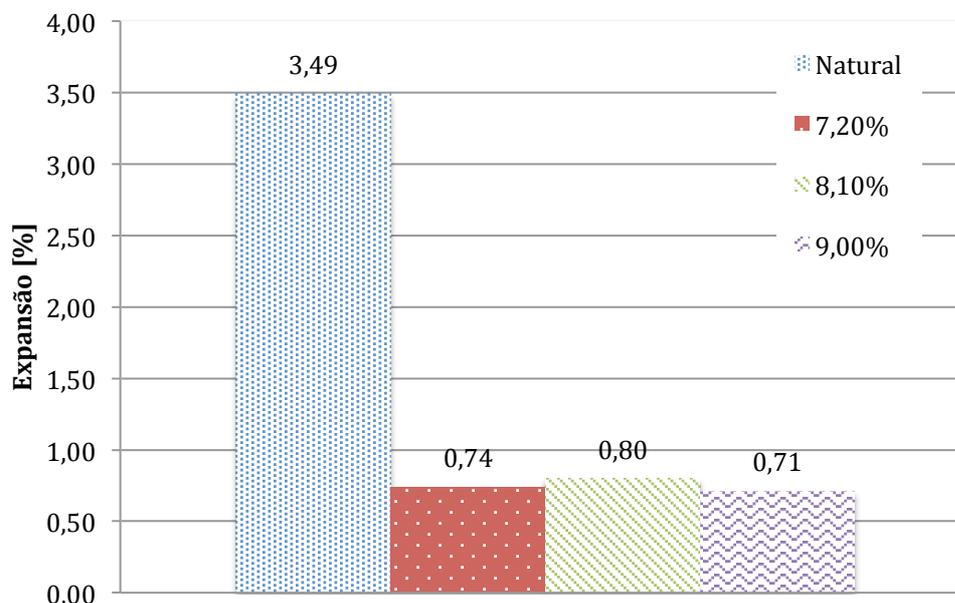
Figura 17: Resultado do CBR de todas as amostras analisadas



Fonte: do autor (2015)

Na figura 18, constam todos os valores de expansão dos solos aditivados, em relação ao solo em seu estado natural.

Figura 18: Resultado da expansão de todas as amostras analisadas



Fonte: do autor (2015)

Com os resultados obtidos, o solo aditivado pode ser usado como fundação de uma obra de pavimentação (subleito), como também, para reforço do mesmo. Não havendo a necessidade de substituir uma camada de 60cm de solo, por outro material que apresente as características mínimas necessárias. Os valores característicos segundo Marques, para o subleito deve-se atender a:  $CBR \geq 2\%$  e  $expansão \leq 2\%$ , e para reforço do subleito  $CBR >$  que o do subleito  $\leq 20\%$  e  $expansão \leq 1\%$ .

### 3.2 DISCUSSÕES

Após todos os ensaios e todas as análises realizadas, observa-se que o solo em seu estado natural, com as características apresentadas neste trabalho, não serve para ser o subleito de uma obra de pavimentação. Pois, o seu valor de expansão ficou muito acima do que é permitido, contudo o seu CBR, permaneceu nos parâmetros de aceitabilidade.

Se considerarmos apenas um dos dados (CBR), o solo em seu estado natural, poderia ser utilizado como subleito de uma rodovia, porém para análise efetiva e

correta, analisa-se os dois valores (CBR e expansão), e os mesmos devem atender a norma (DNIT 108/2009-ES).

Seguindo os pré-requisitos estipulados pela norma acima, e executados de forma correta, poderíamos ter subleitos com maiores capacidades de carga, isso em função do grande aumento do fluxo de automóveis nas rodovias, como também o excesso de carga de veículos pesados, que com o passar dos tempos, vão deteriorando a rodovia, tanto o seu pavimento asfáltico, como as demais camadas de suporte para uma obra de pavimentação.

Das figuras apresentadas, 17 e 18, observou-se que variando os percentuais do aditivo, houve alterações nos resultados que eram esperados. Porém a amostra com maior teor de aditivo (9%), um de seus parâmetros, CBR, reduziu em relação ao material da amostra com menor teor (7,2 e 8,1%). Já com relação a expansão, aconteceu o esperado pelo uso do aditivo, onde houve a maior redução, que foi de 0,71%.

Comparando o presente estudo com outro, utilizando um solo com a mesma formação geológica, porém com aditivo químico diferente, ao ser aditivado, o mesmo apresentou os resultados esperados, quanto ao CBR, de acordo com Maurílio. O aditivo utilizado por Maurílio, foi o Perma Zyme<sup>®</sup>, o qual aumentou o CBR em 40,4%, enquanto que a expansão, teve um aumento de 13,8%. No mesmo estudo realizado por Maurílio, que utilizou o aditivo Perma Zyme<sup>®</sup> adicionando cimento, essa nova combinação (cimento 5% e Perma Zyme<sup>®</sup> 1/1000), resultou um aumento de 3,37% para 27,64%, o valor do CBR, e a expansão que era de 2,40% reduziu para 0,23%. Pelos resultados obtidos por Maurílio, o aditivo Perma Zyme, não pode ser utilizado em solo de formação Palermo sozinho, mas com adição de cimento no percentual adequado pode. Se compararmos os estudos, o solo foi um fator comum em ambos, as variáveis foram os aditivos. Essa variação poderia se dar quanto a fabricação do aditivo, o qual poderia ter mais elementos químicos na sua composição ou até outros compostos, que misturados, resultasse em desempenho melhor no solo. Mais esta análise dos elementos e materiais, pode ir mais a fundo, quanto a química do produto, a verificação das quantidades de compostos químicos empregados, ou outros materiais que forem adicionados. Outro fator pela não semelhança dos valores obtidos através de ensaios, pode ter sido quanto ao percentual, utilizado em ambos os estudos. Como também a utilização ou não de reagente.

#### 4. CONCLUSÕES

- O solo de formação Palermo, em seu estado natural do presente estudo, não pode ser utilizado como subleito de uma obra de pavimentação, devido a sua expansão que ficou acima da permitida em norma;
- O solo estudado, aditivado nos percentuais de 7,2, 8,1 e 9%, pode ser utilizado como subleito e/ou reforço do subleito de um pavimento rodoviário, pois os valores da expansão e do CBR, ficaram dentro dos parâmetros determinados para executar respectivas camadas;
- Dos três percentuais, o que apresentou melhor desempenho, foi o com 8,1%, onde obteve-se o maior percentual de aumento do CBR, em 167,06% e a menor expansão com 436,25%;
- Sugere-se novos estudos, empregando-se outros reagentes;
- Sugere-se ampliar o estudo para solos, com outras formações geológicas.

#### 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6459 – Solo – determinação do Limite de Liquidez – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6502 – Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7180 – Solo – determinação do Limite de Plasticidade – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7181 – Solo – Análise granulométrica – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7182 – Solo – ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9895 – Solo – Índice de suporte califórnia – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1987.

AZEVÊDO, André Luiz C. de. **Estabilização de solos com adição de cal. Um estudo a respeito da reversibilidade das reações que acontecem no solo após a adição de cal**. Dissertação (Mestrado profissional em engenharia geotécnica da UFOP). Ouro Preto, 2010. Disponível em: <<http://www.nugeo.ufop.br/teses-e-dissertacoes>>. Acesso em agosto de 2015.

BANDEIRA, Clarice; FLORIANO, Eduardo Pagel. **Avaliação de Impacto Ambiental de Rodovias**. Santa Rosa, 2004. Disponível em: <<http://rodoviasverdes.ufsc.br/pt/>>. Acesso em agosto de 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT 108/2009 – ES, Terraplanagem – Aterros – Especificação de Serviços**. Rio de Janeiro, 2009.

DYNACAL. **Manual Técnico**. São Paulo, 1990.

DYNACAL. **Dynacal**<sup>®</sup>. Disponível em: <<http://www.dynacal.com.br>>. Acesso em: maio de 2015.

ECOLOPAVI. **O Produto**. Disponível em: <<http://www.ecolopavi.com.br/2.oproduto.html>>. Acesso em: julho de 2015

FISTEC Engenharia LTDS. **Histórico da estabilização química de solos com o emprego de aditivos químicos líquidos, tipo DS-328 e seus reagentes**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAg070AB/seq-b-resumo-historico-estabilizacao-quimica-solos?part=2>>. Acesso em: agosto de 2015.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Notas de aula da disciplina de pavimentação**. Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/downloads/disciplina-pavimentacao/>>. Acesso em: agosto de 2015.

MAURILÍO, Liana Hoffmann. **Estabilização de um solo da formação Palermo com cimento e Perma Zyme® para fins rodoviários**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso, para o curso de Engenharia Civil – UNESC). Criciúma, 2009.

**SULFATO DE ALUMÍNIO**. Disponível em < <http://sistemamanutencoes.com/sulfato-de-aluminio/>>. Acesso em: julho de 2015.