

## **ANÁLISE DE MELHORAMENTO DE SOLOS COM ADIÇÃO DE CAL HIDRATADA PARA UTILIZAÇÃO EM BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS**

ALEXANDRE EMANUEL DE LIRA CABRAL<sup>1</sup>; GIOVANNA FEITOSA DE LIMA<sup>2</sup>;  
NAYARA MICHELE SILVA DE LIMA<sup>3\*</sup>; RENATA MARIANO DA SILVA<sup>4</sup>; LARISSA SANTANA BATISTA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Civil, Unifavip/ Wyden, Caruaru - PE, alexandreira25@hotmail.com;

<sup>2</sup>Mestre em Engenharia Civil e Ambiental - UFCG, Especialista em Segurança do Trabalho - Unipê. João Pessoa-PB, giovannafeitosa@gmail.com;

<sup>3</sup>Técnica em Edificações – IFPE, Graduanda Engenharia Civil - Unifavip/ Wyden. Caruaru- PE, nayara-michele@hotmail.com;

<sup>4</sup>Graduanda em Engenharia Civil, Unifavip/ Wyden, Caruaru - PE, renatamarianosfx@gmail.com;

<sup>5</sup>Mestre em Engenharia Civil e Ambiental - UFCG, Especialista em Gestão de Projeto - Fundação Getúlio Vargas, larisantanabatista@gmail.com

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** O solo tem grande importância nas atividades de engenharia rodoviária de modo que há em diversas áreas do país uma relação de dependência extrema, uma vez que as características físicas e mecânicas dos solos utilizados em camadas de pavimentos são determinantes para seu desempenho. Muitas áreas, entretanto, apresentam perfis geológicos pouco adequados à utilização em plataformas de infraestrutura rodoviária, sendo necessário obter tais materiais de regiões mais afastadas. Uma forma de tentar solucionar esse tipo de problema, é a aplicação de medidas de melhoramento como forma de garantir a estabilização do solo. Neste contexto, este trabalho objetivou estudar, a partir de ensaios de laboratório, o efeito causado pela adição de cal hidratada em solos cujas características não atendiam aos limites mínimos para utilização em sub-base de pavimentos rodoviários na região de Caruaru/PE. Mediante os resultados obtidos de resistência constatou-se, que os incrementos no percentual de CBR foram satisfatórios. Foram feitas adições com percentual de 1%, 3% e 5% promover estabilização química, e obteve-se elevado ganho de resistência, tornando assim possível o uso dos dois solos melhorados, em camadas de sub-base de pavimentos rodoviários.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo, Melhoramento, Cal Hidratada.

### **ANALYSIS OF SOIL IMPROVEMENT WITH ADDITION OF HYDRATED LIME FOR BASIC USE AND UNDERBASE OF PAVEMENT WITH LOW VOLUME OF TRAFFIC**

**ABSTRACT:** Soil is of great importance in road engineering activities so that in many areas of the country there is an extreme dependence relation, since the physical and mechanical characteristics of the soils used in pavement layers are determinant for their performance. Many areas, however, have geological profiles that are not suitable for use on road infrastructure platforms, and need to obtain such materials from remote regions. One way of trying to solve this type of problem is to apply improvement measures as a way to guarantee soil stabilization. In this context, this work aimed to study, from laboratory tests, the effect caused by the addition of hydrated lime in soils whose characteristics did not meet the minimum limits for use in sub-base of road pavements in the region of Caruaru / PE. From the obtained results of resistance was contacted, that the increments in the percentage of CBR were satisfactory. Additions with 1%, 3% and 5% percentages were made to promote chemical stabilization, and a high resistance gain was obtained, thus making possible the use of the two improved soils, in sub-layers of road pavements.

**KEYWORDS:** Soil, Improvement, Hydrated Lime

## INTRODUÇÃO

O solo possui grande utilidade e aplicabilidade nas atividades de construção civil, principalmente no setor de engenharia rodoviária, onde sua utilização os submete a esforços e cargas que algumas vezes estão acima do que suas propriedades físicas e mecânicas podem suportar como afirma Corteleti (2013). Guimarães (2002), retrata que para esta situação são tomadas medidas de aprimoramento como meio de garantir a estabilização para emprego em sua finalidade.

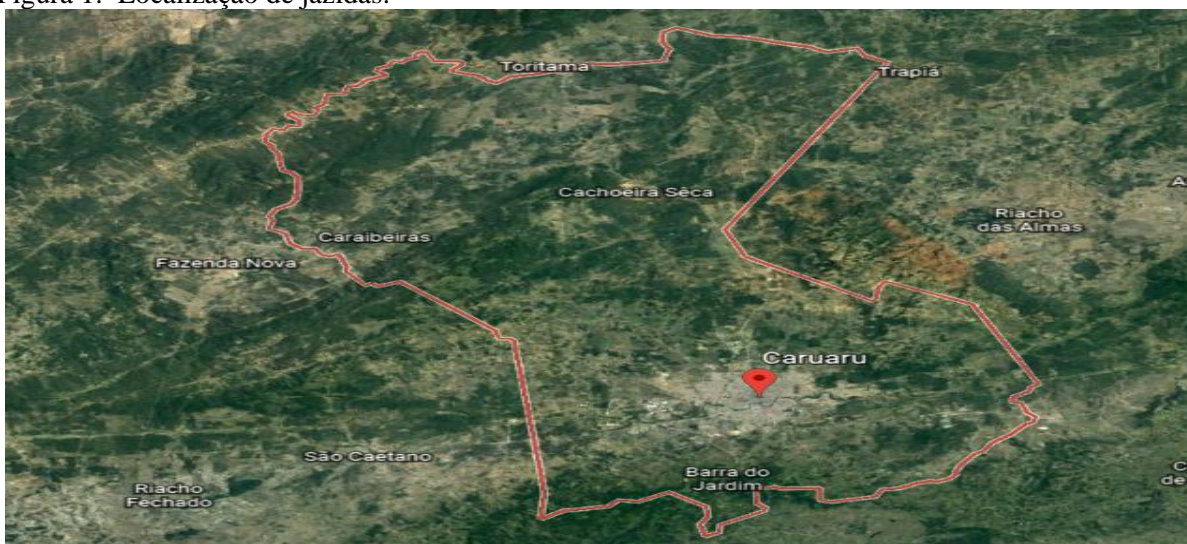
Com a escassez de material puro e a necessidade constante de obter maior estabilização de solos para o desenvolvimento de obras viárias, aeroportuárias e portuárias, tornou-se necessário o estudo de técnicas que aumentassem a agilidade das obras, melhorassem a resistência do solo e diminuíssem seu custo, como afirma Corteleti (2013). Nesse contexto, fica claro a importância do estudo sobre os métodos de melhoramento de solo para as obras de engenharia, sendo para uso rodoviário ou não, pois eles podem proporcionar maior segurança, confiabilidade e custos mais acessíveis. Um exemplo claro disto é uma técnica que vem sendo bastante estudada: é a utilização de cal hidratada no melhoramento de solos. Ensaios de laboratório e de campo apresentam resultados significativamente satisfatório diante da inserção de determinados teores de cal em solo, já que promove incrementos de rigidez e resistência (Guimarães, 2002).

Considerando-se a importância da correção dos solos quando não atingem os parâmetros necessários conforme solicitado pelas normas vigentes, faz-se necessário um estudo das porcentagens que são relevantes a utilização de cal hidratada para estabilização do solo. Desta forma, o presente estudo desenvolveu uma análise comparativa com porcentagens de adição em duas jazidas no município de Caruaru- PE, após uma avaliação prévia e constatação que as mesmas com seu solo sem mistura não apresentam resultados adequados para utilização em camadas de infraestrutura de pavimentos rodoviários

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa desenvolveu-se no município de Caruaru – PE, em áreas próximas ao perímetro urbano, e foram escolhidas duas jazidas: Luiz Gonzaga e Vila Andorinha, conforme Figura 1. Para cada jazida foram retiradas aproximadamente 200 Kg de material, e armazenadas no laboratório da Unifavip – Wyden, onde as amostras foram submetidas a ensaios de caracterização das propriedades físicas e mecânicas. Além das amostras naturais, foram caracterizadas também as misturas com cal hidratada nas proporções de 1%, 3% e 5%.

Figura 1. Localização de jazidas.



Para a análise dos materiais e a determinação dos seus respectivos parâmetros de resistência, foram realizados os ensaios de índices físicos (Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade) e análise granulométrica para a caracterização física, enquanto para a classificação mecânica as amostras foram submetidas aos ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia.

A Análise Granulométrica foi realizada de acordo com a NBR 7181 (1984). Inicialmente o material foi seco ao ar livre durante 24 horas e logo após foi realizado o seu quarteamento e destorroamento para iniciar o processo de análise granulométrica. Neste ensaio tomou-se uma quantidade de material, que foi passado nas peneiras N°10 (Abertura de 2mm) e N°200 (Abertura de 0,075mm). Logo após, cada amostra de jazidas distintas foi lavada para retirar todas as partículas de material pulverulento e as amostras restantes nas peneiras foram secas em estufa, à temperatura de aproximadamente de 105°C.

Quanto os ensaios de índices físicos, foi realizado o ensaio de Limite de Liquidez de acordo com a NBR 6459/84. Neste ensaio foi utilizada uma porção do solo passante na peneira 40 e em um recipiente foi adicionado água até se obter uma perfeita homogeneização da mistura. Logo após, uma fração do material foi passado para a concha do aparelho de Casagrande, e aplicado golpes até que se verifique o fechamento da ranhura. Já o ensaio de Limite de Plasticidade foi realizado de acordo com a NBR 7180/84. Foi separada uma amostra de solo e adicionado água, misturando-a com o auxílio de uma espátula até que obtivesse uma boa homogeneização. Com a pasta de solo obtida, foi moldada uma pequena quantidade da massa em forma cilíndrica, rolando-a sobre uma placa de vidro, até que a massa fissurasse em pequenos fragmentos e atingisse aproximadamente 10 cm de comprimento e 3 mm de diâmetro.

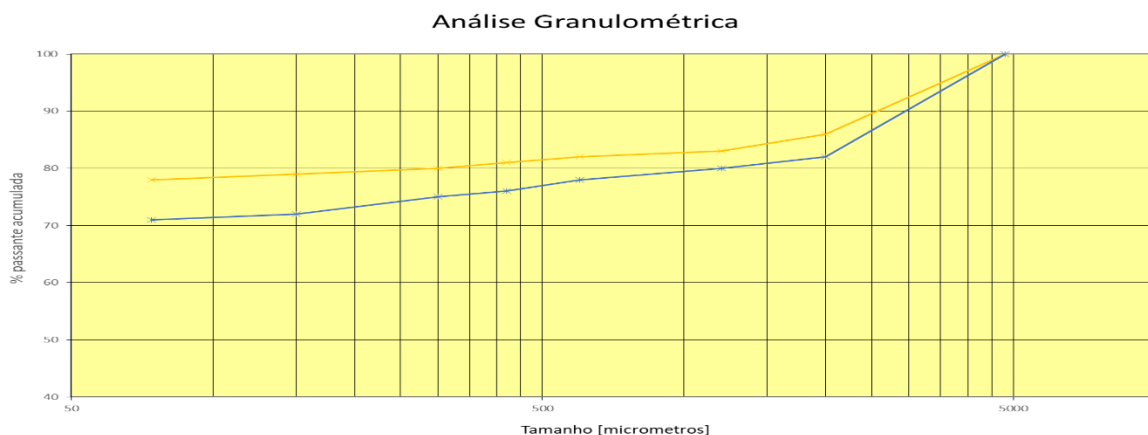
O procedimento do ensaio de compactação foi utilizado para a amostra de solo e também para os traços das misturas solo-cal, seguindo as etapas prescritas na NBR 7182/86. No ensaio tomou-se uma certa quantidade de amostra de material seco ao ar e destorroado, em seguida peneirou-se a amostra na peneira 4,8 mm e determinou-se sua umidade higroscópica de acordo com o método do álcool. Logo após, foi adicionado água à amostra de modo que a mistura começasse a apresentar coesão, para que fosse realizada a compactação da amostra no molde cilíndrico considerando 3 camadas em proporções iguais de solo para, cada camada foi aplicada 26 golpes. Foram acrescidos volumes sucessivos de água seguidos de novas moldagens de modo que pudesse ser traçada a curva umidade versus densidade.

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia foi realizado de acordo com a NBR 9895/87, para a amostra de solo e para os traços das misturas. O ensaio possui como etapas os processos de compactação, expansão e resistência à penetração das amostras. Após a realização da moldagem dos corpos de prova, considerando a umidade ótima advinda do ensaio de compactação, a amostra é instrumentada para a etapa de verificação da expansão em presença de água. A imersão acontece por um período de 4 dias, onde são realizadas leituras a cada 24 horas. Após o período de imersão o corpo de prova é exposto ao processo de drenagem natural por 15 minutos e logo após são pesados e submetidos ao ensaio de penetração. Neste ensaio os corpos serão rompidos através da introdução de um pistão cilíndrico com velocidade aproximada de 1,27mm/min. com o monitoramento do anel dinamômetro na prensa, registrou-se os valores característicos para determinação da capacidade de suporte da amostra ou mistura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise granulométrica, foi possível observar o diâmetro de grão predominante no solo, assim, obtendo um gráfico para cada jazida, conforme a figura 2.

Figura 2. Curva granulométrica de jazidas.



De acordo com os limites de plasticidade e liquidez, e ainda o índice de plasticidade foram realizadas as classificações das amostras naturais, segundo a HBR. A Tabela 1 apresenta todos os resultados.

Tabela 1. Classificação das amostras segundo HBR.

|                          | <b>LUIZ GONZAGA<br/>JAZIDA 01</b> | <b>VILA ANDORINHA<br/>JAZIDA 02</b> |
|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| <b>LP (%)</b>            | 22,34                             | -                                   |
| <b>LL (%)</b>            | 24,6                              | 19,8                                |
| <b>IP (%)</b>            | 2,26                              | 19,8                                |
| <b>CLASSIFICAÇÃO HBR</b> | A-4 (Solo Siltoso)                | A-6 (Solo Argiloso)                 |

A partir de moldagens na umidade ótima de compactação, determinou-se a capacidade de carga e a expansão característica em presença de água, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização mecânica das amostras naturais.

|                             | <b>LUIZ GONZAGA<br/>JAZIDA 01</b> | <b>VILA ANDORINHA<br/>JAZIDA 02</b> |
|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| <b>DENSIDADE MÁXIMA (%)</b> | 1,966                             | 2,049                               |
| <b>UMIDADE ÓTIMA (%)</b>    | 7,99                              | 8,35                                |
| <b>CBR (%)</b>              | 13,05                             | 14,02                               |
| <b>EXPANSÃO (%)</b>         | 0,6                               | 0,6                                 |

Realizada a caracterização mecânica dos materiais naturais identificou-se que as jazidas 01 e 02 não atendiam às exigências mínimas para serem utilizadas em camadas de pavimentos. Segundo DNIT (2006), é necessário que o solo apresente  $CBR \geq 20\%$  e  $expansão \leq 1\%$  para aplicação em sub-base e  $CBR \geq 80\%$ ,  $Expansão \leq 0,5\%$ ,  $LL \leq 25\%$  e  $IP \leq 6\%$  para aplicação em base. Para melhorar essas amostras procedeu-se a adição de cal nos teores de 1%, 3% e 5%. A Tabela 3 apresenta os resultados de CBR e expansão obtidos para cada teor de cal hidratada adicionado.

Tabela 3. Resultados de expansão e CBR para as adições às jazidas 01 e 02.

|                     | <b>TEOR DE CAL (%)</b> | <b>LUIZ GONZAGA -<br/>JAZIDA 01</b> | <b>VILA ANDORINHA -<br/>JAZIDA 02</b> |
|---------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>EXPANSÃO (%)</b> | 1%                     | 0                                   | 0                                     |
|                     | 3%                     | 0                                   | 0                                     |
|                     | 5%                     | 0                                   | 1,4                                   |
|                     | <b>TEOR DE CAL (%)</b> |                                     |                                       |
| <b>CBR (%)</b>      | 1%                     | 13,24                               | 20,3                                  |
|                     | 3%                     | 64,28                               | 27,07                                 |
|                     | 5%                     | 72,98                               | 100,53                                |

## CONCLUSÃO

Ensaio de caracterização classificaram as jazidas como solo Siltoso A-4 e solo argiloso A-6, para as jazidas 01 e 02, respectivamente, de acordo com o método HRB. Os ensaios de CBR retornaram valores inferiores a 20% para ambas as jazidas, o que impossibilitaria sua utilização como camada constituinte de pavimentos rodoviários.

As amostras foram submetidas à estabilização química com cal hidratada nas proporções de 1%, 3% e 5%, resultando, para todos os casos, CBR superior a 20%, à exceção do material da Jazida 01, que apresentou incremento de resistência muito discreto para a mistura de 1% de cal hidratada, registrando CBR de 13,24% contra 13,05% da amostra natural. Conforme os percentuais adicionados aos dois solos, constatou-se obtenção de valores expressivos e satisfatórios de resistência, fazendo possível o seu uso para camadas de sub-base e base de pavimentos rodoviários em geral, como pavimentação urbana.

Concluindo assim, de forma favorável, os resultados e ganhos alcançados através da técnica de melhoramento de solo com a adição da cal hidratada.

Observou-se que apenas a Jazida 02 atingiu características de material para utilização em base, com adição de 5% de cal hidratada. A solução ainda pode ser economicamente viável em comparação com o custo do transporte de materiais de características compatíveis vindos de outras áreas. Há que se ressaltar a expansão de 1,4% registrada para essa mistura. O resultado é divergente do que se poderia esperar, sendo recomendada a repetição do ensaio para verificação do parâmetro.

Portanto, a correção do solo com cal hidratada mostrou-se tecnicamente viável, já que apresentou notório ganho de resistência, tornando as amostras adequadas para utilização em camadas de pavimentação, conforme as normas vigentes.

## **REFERÊNCIAS**

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: Determinação do Limite de Liquidez Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-9895: Solo - Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 1987.
- Corteleti, E. J. B. Melhoramento do solo residual de Lajeado com a adição de cal – Lajeado: UNIVATES, 2013.
- Guimarães, J. E. P. A Cal - Fundamentos e aplicações na Engenharia Civil- 2º Ed. - São Paulo: Pini, 2002.