

# Estudo das Características Mecânicas, Expansão e Correlação DCP x ISC em Misturas de Solo com Escória de Aciaria para Camadas de Pavimentos

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Universidade de Fortaleza, Fortaleza-CE, Brasil, marcosporto@unifor.br

Ana Karine Santiago Bessa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, karinesantiagobessa@gmail.com

Danielle Alexandre Carneiro

Universidade de Fortaleza, Fortaleza-CE, Brasil, daany\_ce@hotmail.com

Lílian Silva Peixoto

Universidade de Fortaleza, Fortaleza-CE, Brasil, lilian\_sp14@hotmail.com

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta análises das características mecânicas, expansivas e de correlações entre o Índice de Suporte California (ISC) e o Índice de Penetração (DN) do Cone de Penetração Dinâmica (“Dynamic Cone Penetrometer”, DCP) para misturas de solo melhorado com escória de aciaria. Realizou-se um estudo de caso com solo adquirido de área de empréstimo de um trecho da obra de duplicação da Rodovia Quarto Anel Viário, em Maracanaú no Estado do Ceará, misturado com escória de aciaria adquirida na MultiServ Ltda, localizada nas dependências da Gerdau Cearense S.A, no mesmo município. Cada material foi caracterizado e para o solo isoladamente e mistura do solo com escória (35% e 45% de solo e 55% e 65% de escória em peso seco) foram realizados ensaios de ISC e DCP nas três energias de compactação a fim de se obter uma correlação entre tais índices. Dos resultados obtidos, a escória, quando misturada ao solo, elevou a resistência do mesmo consideravelmente. Foi possível chegar a uma correlação de dados de ISC e DN para o solo e para a mistura. Ensaios de expansão da escória e da mistura do solo com a escória foram realizados, nas mesmas condições, com resultados satisfatórios, indicando-se a utilização deste agregado como alternativa para melhoramento de solo com aplicação em camadas de pavimentos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Melhoramento de Solos. ISC. DCP. Escória de Aciaria.

## 1. INTRODUÇÃO

É comum em projetos de pavimentos a utilização de valores de capacidade de suporte obtidos em laboratório por meio do ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC). O controle desses valores “in situ” pode ser realizado com o emprego do Cone de Penetração Dinâmica-DCP (BERTI, 2005).

Dentro desse contexto, visa-se realizar um estudo, de uma obra localizada na cidade de Maracanaú no Estado do Ceará, para avaliar a

capacidade da escória de aciaria no melhoramento das características do solo e da utilização do equipamento DCP para aferição da capacidade de suporte do solo e da mistura solo com escória em campo.

Como a aquisição de materiais para construção de estradas vem sendo cada vez mais difícil, devido ao alto custo e a escassez dos mesmos, em alguns casos, o uso de materiais alternativos vem sendo estudado como opção para substituir os materiais convencionais ou naturais.

Neste trabalho, o solo estudado foi proposto para subleito em um trecho da Rodovia Quarto Anel Viário. Realizou-se o estudo da caracterização do material e a verificação da resistência do solo com os ensaios ISC e DCP. Os ensaios foram executados para com amostras de solo isoladamente e misturado com a escória de aciaria. Com isso, foi possível observar as alterações dos parâmetros do solo em consequência da mistura.

### **1.1. Escória de Aciaria**

A escória de aciaria é um resíduo sólido proveniente do processo de fabricação do aço, classificada como material inerte, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2009).

A escória de aciaria é produzida na etapa da fabricação do aço quando o ferro gusa vai para o refino na aciaria e posteriormente são conduzidas para baias de resfriamento onde são beneficiadas, em seguida, por separação metálica, granulométrica e britagem.

As etapas do processamento da escória de aciaria são basicamente: a coleta na aciaria e o transporte, o resfriamento controlado, a limpeza, a estocagem, a alimentação à planta de processamento (britagem e peneiramento, separação magnética e classificação granulométrica), a cura e o controle de qualidade.

Um dos problemas do uso da escória é seu alto poder expansivo, que no Brasil é avaliado através de uma adaptação de PTM (1978) de acordo com DNIT (1994f), que especifica a utilização de escória na construção rodoviária. Nessa referência, o limite de aceitação é de 3%.

Além de PTM (1978), DNIT (2009b) também regulamenta o uso de escória de aciaria considerando seu poder expansivo.

### **1.2. Mistura de Solos com Escoria de Aciaria**

Parente et al (2008) avaliou o comportamento mecânico de misturas de solo e escória de aciaria a partir de ensaios triaxiais cíclicos e ISC com dois percentuais de escória para o processo de estabilização granulométrica.

Para fins de comparação dos resultados, o mesmo processo foi repetido para misturas de solo e brita. Dos resultados obtidos, as misturas solo com escória apresentaram maiores valores de peso específico aparente seco máximo e menores valores de umidade ótima, quando comparadas com as misturas solo-brita e o solo sem adição de agregado.

Para o ISC das misturas de solo com escória os valores foram, em média, três vezes maiores que os valores para o solo e, em média, o dobro do valor de ISC das misturas solo com brita. O ISC mostrou um aumento de 194% de solo com escória a 76% de solo brita (50% de solo e 50% escória ou brita, respectivamente). Quando misturado numa proporção de 70%, escória ou brita, e 30% de solo, os resultados foram bem melhores, sendo 312% a 106% o aumento do ISC, respectivamente.

Portanto, fazer uso de tais métodos na construção de pavimentos, como a mistura de solos para atingir melhores suportes de cargas, é uma alternativa para, além de obterem-se pavimentos mais duráveis e resistentes de uma maneira geral, gerar, dentro da obra, uma economia de custos e uma redução na poluição ambiental.

### **1.3. Ensaio de Resistência**

#### **1.3.1. Índice de Suporte Califórnia (ISC)**

No Brasil, atualmente, para determinar a resistência de camadas de pavimentos, o ensaio mais ainda conhecido e realizado é o Índice de Suporte Californiano (ISC). O ensaio é feito em laboratório e “in situ”, para aferição de suporte do solo e é regulamentado de acordo com DNER (1994d).

O ISC é a relação, em porcentagem, entre a pressão exercida por um pistão de diâmetro padronizado necessária à penetração no solo, até determinada profundidade e a pressão necessária para que o pistão tenha a mesma penetração em um corpo de prova de pedra britada. O ensaio apresenta, também como resultado, a expansão do solo quando saturado. O ISC tem caráter empírico, mas é conhecido e difundido mundialmente, servindo como base para dimensionamento de pavimentos flexíveis.

#### 1.4.1. Cone de Penetração Dinâmica (DCP)

Como opção para obter-se um índice de resistência “in situ” do solo, o Cone de Penetração Dinâmica (DCP) é um método que vem sendo estudado desde 1956 com o intuito de alcançar resultados de forma mais rápida e econômica em situações de controle (ALMEIDA e BARROSO, 2007).

A obtenção do ISC através do DCP é baseada no Índice de Penetração (DN) fornecido pelo DCP e na respectiva equação de correlação, gerada por pares de valores DN e ISC, conhecidos através de ensaios em laboratório. O DCP caracteriza-se, relativamente, como um ensaio simples, necessitando de no mínimo duas pessoas para o procedimento e aproximadamente quinze minutos para realizá-lo.

O equipamento para ensaio DCP é constituído de 7 elementos básicos: um punho com esbarro superior, um martelo de 8,0 kgf, duas hastes de 16 e 25 mm de diâmetro, um esbarro inferior, uma régua graduada em milímetros e um cone. Após serem encaixadas todas as peças, o movimento deve ser somente o vertical.

Almeida e Barroso (2007) encontraram correlações DN x ISC que apresentaram, em sua maioria, bons coeficientes de determinação, podendo ser utilizadas no controle de qualidade de obras que se utilizem dos respectivos materiais estudados.

Lima (2000) chegou à conclusão que o DCP mostrou-se ser um instrumento de elevado potencial de uso em obras viárias, passível de ser empregado no controle da qualidade de compactação de camadas estruturais e de aterros.

## 2. ESTUDO DE CASO

Para esse trabalho fez-se necessário a coleta de materiais em dois diferentes locais, um para o solo e outro para escória. Todos os ensaios foram realizados em laboratório.

### 2.1. Aquisição do Solo

A coleta de solo ocorreu na obra de duplicação de um trecho da Rodovia Quarto Anel Viário, entre as estacas 507 e 510, no Município de Maracanaú no Estado do Ceará.

Foram coletados cerca de 200kg de material para ensaios de caracterização, compactação, ISC e DCP do solo e da mistura com escória de aciaria.

### 2.2. Aquisição da Escória

O material foi recolhido e processado para separação granulométrica. Foram coletados aproximadamente 800kg de escória de aciaria e levado para laboratório, onde foi deixado durante sessenta dias ao ar livre expondo-se ao sol e a chuva.

Um dos maiores motivos de precaução do uso de escória de aciaria, nas camadas dos pavimentos, é o fato da mesma ser bastante porosa e por vezes expansiva quando em contato com água e ter uma forma consideravelmente irregular.

### 2.3. Determinação da Mistura de Solo-Escória

Além de tais estudos realizados com os percentuais de escória já citados, DNIT-2009a estabelece uma proporção máxima de 80% e mínima de 50%. Então, optou-se por desenvolver uma pesquisa com duas misturas, com percentuais diferentes de escória. Uma mistura 01 com percentuais de 45% de solo e 55% de escória, e a outra mistura 02 com 35% de solo e 65% de escória.

### 2.4. Ensaios Laboratoriais para determinação do ISC e DN

Todos os ensaios descritos a seguir foram necessários para caracterização do solo, da escória de aciaria e da mistura solo com escória para melhoramento da camada de subleito. Tal melhoramento da resistência pode viabilizar a utilização do material como base ou, mesmo não atingindo a capacidade de suporte suficiente para tal, diminuir a espessura das demais camadas do pavimento devido ao aumento da resistência de camadas inferiores com eventual baixa capacidade de suporte.

#### 2.4.1. Solo

Ensaio de caracterização do solo foram realizados (granulometria, limite de liquidez e de limite de plasticidade), assim como ensaios de compactação, de ISC e de DCP.

#### 2.4.2. Escória de Aciaria para Mistura

Foram realizados ensaios de caracterização, de avaliação do potencial de expansão, onde houve a necessidade de fazer a compactação da escória, e de abrasão Los Angeles.

#### 2.4.3. Mistura Solo-Escória de Aciaria

Com o intuito de melhorar a capacidade de suporte do solo, as misturas escolhidas para desenvolvimento deste trabalho foram: mistura 01 com 55% de escória e 45% de solo e a mistura 02 com 65% de escória e 35% de solo. Esses percentuais são relativos ao peso seco dos materiais. Ensaio de caracterização, de compactação, de expansão, de ISC e de DCP foram implementados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Características do Solo

Do ensaio de granulometria do solo percebeu-se que o material apresentou mais de 50% dos grãos menores que 0,18mm. O LL foi de 30,5%, o LP de 19% e o índice de plasticidade de 12%. Com esses dados foi possível calcular Índice de Grupo do material, onde o mesmo apresentou como resultado 3,04.

O solo foi classificado, de acordo com a classificação HRB, como A-6, sendo um material argiloso e com comportamento esperado, quando para utilização em subleito, de regular a pobre.

Foi determinada a umidade ótima e o peso específico aparente seco máximo do solo nas três energias de compactação (normal, intermediária e modificada). Os resultados obtidos de umidade ótima do solo foram decrescente (15,2%, 14,6% e 13,4%) e o peso específico aparente seco máximo crescente

(1,75g/cm<sup>3</sup>, 1,81 g/cm<sup>3</sup> e 1,84 g/cm<sup>3</sup>) para as energias normal, intermediária e modificada, respectivamente.

Para determinação da resistência do solo foram realizados ensaios de ISC para os três níveis de energias e pode-se perceber que para as energias de compactação: normal e intermediária, o solo teve uma pequena variação da resistência.

Quando comparado o ISC das energias normal e intermediária ao modificado, percebe-se um significativo aumento, sendo 0,85%, 1,41% e 20,68%, respectivamente, tais resultados.

A Figura 3.1.1 apresenta o gráfico ISC x Energia de compactação onde é possível perceber o acréscimo de resistência do solo, quando passa da energia intermediária para a modificada.

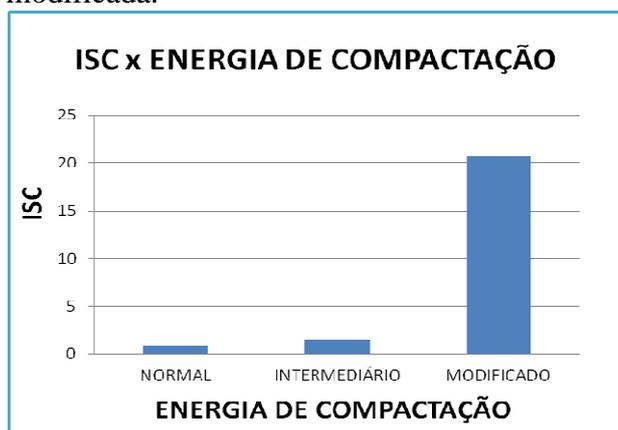


Figura 3.1.1: Comparação do Aumento do ISC do Solo com diferentes energias de Compactação.

Além dos ensaios de ISC foram executados ensaios de DCP para os três níveis de energias.

Assim como os resultados do ISC, os índices DN para as energias normal e intermediária, expressos em mm/golpe, apresentaram índices de resistência diferentes, mas bem próximos.

Os resultados foram satisfatórios, sendo que o valor do DN decresce com o aumento da energia de compactação: normal (31mm/golpe), intermediária (25mm/golpe) e modificada (7,25mm/golpe). Através da Figura 3.1.2 é possível perceber, também, como o índice de penetração diminui à medida que a energia de compactação aumenta.

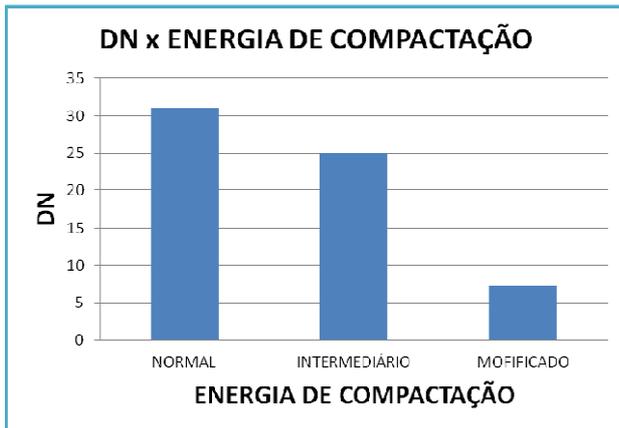


Figura 3.1.2: Comparativo do Decréscimo do DN do Solo com Maiores Energias de Compactação.

Dos resultados do ISC e DN foi possível a elaboração de uma correlação entre os mesmos. A Figura 3.1.3 mostra essa correlação de resultados, onde, também são apresentados a equação de correlação e o coeficiente de determinação desses índices.

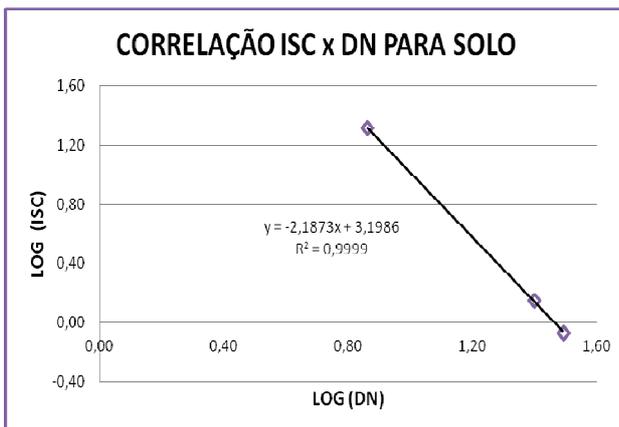


Figura 3.1.3: Correlação ISC e DN do Solo.

É possível perceber, de acordo com a linha de tendência do gráfico, uma considerável correlação dos resultados, apresentando um excelente coeficiente de determinação. A expressão a seguir mostra a equação de correlação  $ISC = f(DN)$  do solo estudado.

$$\log (ISC) = -2,1873 \cdot (\log (DN)) + 3,1986 \quad (1)$$

### 3.2. Característica da Escória

A granulometria da escória usada neste trabalho a caracterizou como um material graúdo, não se enquadrando na faixa determinada por DNIT (2009a) e DNIT (2009c)

considerando a utilização como camadas de sub-base ou base.

Devido a escória ter a característica de um material muito poroso podendo causar danos ao pavimento quando não curada devidamente, neste trabalho, além da mesma ter passado pelo período de cura, realizou-se o ensaio de expansão de acordo com DNIT (2009b).

Antes da realização do ensaio de expansão foi feita uma compactação da escória com 3 camadas de 56 golpes para moldagem do corpo de prova, onde o teor de umidade ótima foi de 7,35% e peso específico aparente seco máximo de 2,77g/cm<sup>3</sup>. O resultado de expansão considerado corresponde ao 14º dia e foi de 0,032%. Este valor é satisfatório, pois, para aplicação de escória em sub-base, o valor admissível é de até 3% (DNIT, 2009a).

Para atender as recomendações seguindo DNIT (2009a) e DNIT (2009c) para o caso de utilização de escória em sub-base e base de pavimentos, foram realizados dois ensaios de abrasão Los Angeles, para que fosse tirada uma média dos mesmos. Os resultados foram 30,94% e 31,12% e média de 31,03%. Este valor de abrasão atende ao limite para agregados a serem utilizados em sub-base e base de pavimentos que estabelece um valor máximo de 40% para a escória.

### 3.3 Características da Mistura Solo com escória de Aciaria

Determinadas as quantidades de cada material para análise granulométrica das misturas, as mesmas foram realizadas gerando duas curvas que são mostradas na Figura 3.3.1.

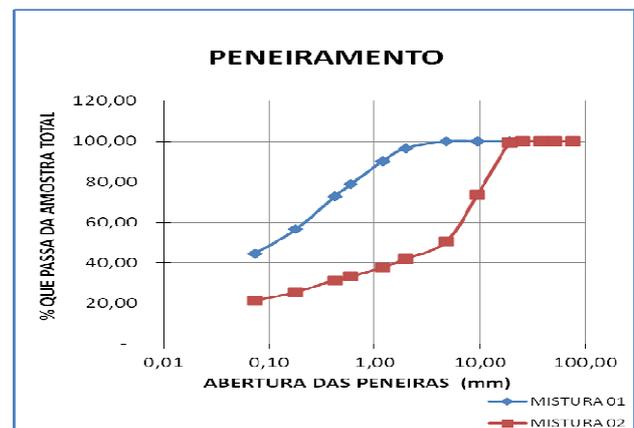


Figura 3.3.1: Granulometria das Misturas Solo com Escória.

Assim como foi realizado para a escória, também foi determinada a expansão diária e acumulada da mistura 01 do solo com escória nas porcentagens de 45% de solo e 55% de escória, durante 14 dias em estufa. Para confecção do corpo de prova, que ficou na estufa durante o tempo do ensaio, foi executada uma compactação com 3 camadas de 56 golpes para determinação da umidade ótima e peso específico aparente seco máximo que teve como valores 9,2% e 2,32g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Para a mistura de solo com escória é aceitável um valor de até de expansão equivalente a 1,5% (DNIT, 2009a). Nesta pesquisa o valor de expansão encontrado, na mistura 01, foi de 0,756%.

Assim como para o solo, para as misturas foram realizados ensaios de compactação, ISC e DPC nas três energias distintas.

Dos ensaios realizados de ISC, para a mistura 01, os resultados de resistência foram de 5,03%, 8,44% e 33,99%, considerando as energias normal, intermediária e modificada, respectivamente. Os resultados da resistência para a mistura 02 foram consideravelmente melhores quando comparados com os resultados do solo isolado e da mistura 01. Assim como o solo, os resultados do ensaio da mistura 01 para as energias normal e intermediário tiveram resultados próximos. Contudo, quando comparado tais resultados a energia modificada é perceptível à variação do ISC, comprovando assim a baixa resistência do solo misturado com 55% de escória de aciaria.

Para a mistura 02, que foi composta por 65% de escória de aciaria e 35% de solo, as resistências, quando comparadas às encontradas para mistura 01 e para o solo isolado, melhoram consideravelmente.

Fazendo um comparativo do aumento do ISC com solo isolado e solo com escória no percentual de 55%, o ISC da mistura com energia normal cresceu em 492%, com energia intermediária teve um acréscimo em 499% e com energia modificada o acréscimo foi de 64%.

Esse comparativo realizado com os valores encontrados na mistura 02, que foi composta por 65% de escória de aciaria, aumenta a resistência do solo em 1774% considerando a energia normal, 1787% com energia intermediária e em 218,7% quando trata-se de energia modificada.

Esses valores comparados ao melhoramento de solo, na energia intermediária, feito por Parent et al (2008), que obteve aumento de ISC de 194% (quando usou 50% de escória) e 312% (quando usou 70% de escória) mostra que, para esta escória de aciaria misturada ao solo, os resultados foram mais satisfatórios, tendo um acréscimo de 1787% no ISC na energia intermediária usando 65% de escória. A Figura 3.3.2 mostra mais claramente a evolução do ISC das misturas em relação ao aumento da energia de compactação.

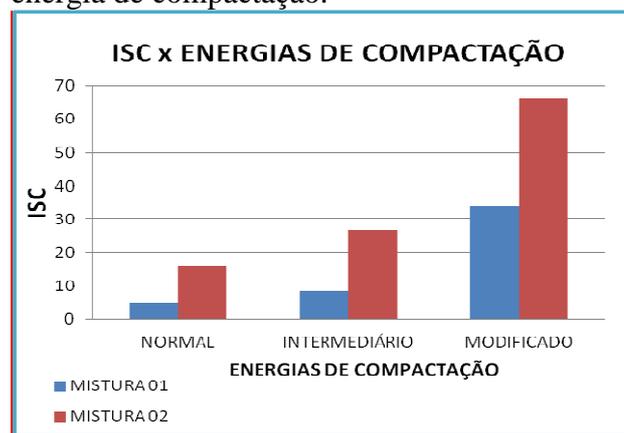


Figura 3.3.2: Comparação do Aumento do CBR da Mistura Solo com Escória com Energias de Compactação.

Foi realizado, também, o ensaio DCP para os três níveis de energias. Entretanto nestes ensaios não foi possível verificar uma coerência nos resultados obtidos para mistura 01, pois a tendência é que, à medida que a energia de compactação aumente, o DN, expresso em mm/golpe, diminua. Isso se dá devido existir uma maior resistência a penetração do cone do aparelho DCP ao penetrar no corpo de prova.

Então fez-se necessário uma maior quantidade de golpes para uma mesma penetração, considerando outro CP de menor resistência, gerando assim um índice DN menor. Os valores para energias normal, intermediária e modificada foram 33,5, 102 e 9,89mm/golpe, respectivamente.

Foram realizados ensaios DCP também para mistura 02, porém neste caso há um alinhamento nos resultados, comprovando a tendência de que à medida que a energia de compactação aumenta, o DN diminui. Os índices DN encontrados para mistura 02, foram 22,6, 11,62 e 5,4mm/golpe, nas energias normal, intermediária e modificada, respectivamente.

A Figura 3.3.3 mostra a relação do índice de penetração dado pelo aparelho DCP em relação às energias de compactação para as misturas 01 e 02.

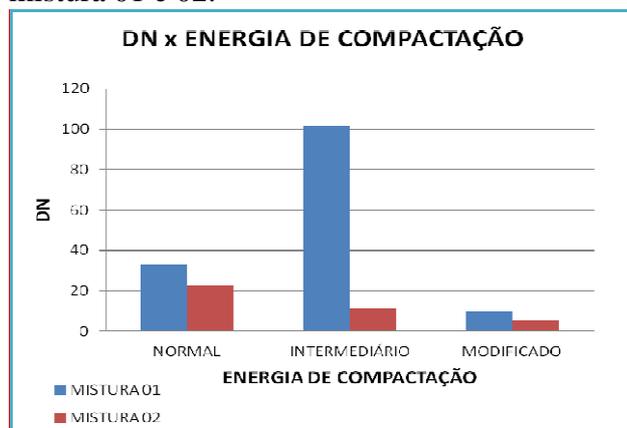


Figura 3.3.3: Comparativo dos Valores do DN das Misturas Solo com Escória x Energias de Compactação.

Nos resultados do DCP, foi possível a elaboração do gráfico apresentado na Figura 3.3.4, onde são apresentados valores de coeficientes de determinação ( $R^2$ ), sendo baixo para mistura 01 e relativamente bom para mistura 02. Esses valores provam que não houve grande correlação entre os dados para a mistura 01, mas mantém-se de forma aceitável para a mistura 02.

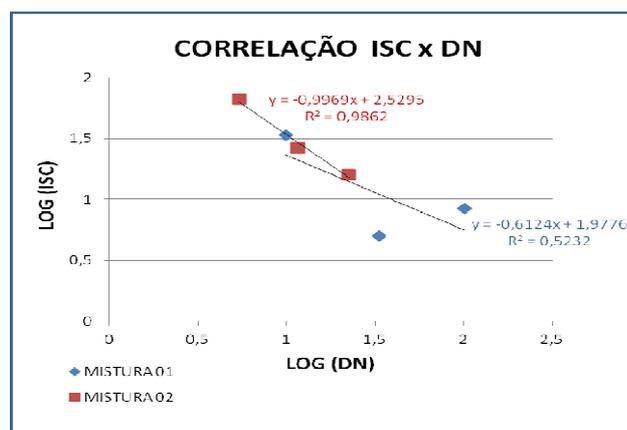


Figura 3.3.4: Correlação ISC x DN das Misturas Solo com Escória.

Foi possível obter-se duas correlações, considerando a mistura 01 e a mistura 02. As equações, apresentadas a seguir, podem ser utilizadas para controle “in situ” de resistência de camadas com as misturas estudadas, através de estimativa do Índice de Suporte Califórnia.

$$\log(\text{ISC}) = -0,6124 \cdot (\log(\text{DN})) + 1,9776 \quad (02)$$

$$\log(\text{ISC}) = -0,9969 \cdot (\log(\text{DN})) + 2,5295 \quad (03)$$

É importante salientar que para todos os ensaios de DCP realizados, tanto para o solo quanto para as misturas de solo com escória, não foi considerado o último golpe devido ao cone na ponta da haste do aparelho estar muito próximo ou em contato com o fundo da base, que sustenta o cilindro que contém o corpo de prova.

## 5. CONCLUSÕES

A escória de aciaria, sem ser alterada, mostrou-se um ótimo agregado artificial para substituição a agregados convencionais como a brita. Este material passou por testes como abrasão Los Angeles, onde mostrou resultados satisfatórios de 31,03% atendendo a especificações de agregados para utilização em sub-base e base de estradas. Além desse teste, a escória de aciaria estudada, quando submetida ao ensaio de expansão, não mostrou ser um material com grande teor expansivo, tendo ao 14º dia expansão de 0,032%, atendendo também as especificações de camadas de sub-base e base.

Verificou-se, deste trabalho, que o comportamento do índice de resistência do solo com o uso do DCP mostrou resultados satisfatórios, quando comparado ao comportamento dos valores do ISC para um mesmo material. Identificou-se uma baixa capacidade de suporte do solo.

Quando o mesmo solo foi misturado com 55% em peso seco de escória de aciaria foi submetido aos ensaios de ISC, esta mistura

mostrou bons resultados, com melhoramento de 499% (proctor intermediário) em relação ao mesmo ensaio feito com solo isoladamente. Foi verificado, também, uma excelente melhoria de resultados quando analisadas as resistências obtidas na mistura 02, com solo e 65% de escória de aciaria, aumentando em 1787% para a energia intermediária.

A mistura 01 de solo com escória também passou por ensaio de expansão, assim como a escória, admitindo valor que não ultrapassou os limites de misturas para utilização em sub-base e base de rodovias. Um dos problemas encontrados com o uso do DCP, neste trabalho, foi na execução do ensaio na mistura 01, pois ocorreu correlação entre os resultados encontrados entre o DN e o ISC, mas o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) encontrado para a correlação foi baixo, caracterizando uma fraca correlação dos dados. A mistura 02, no entanto, apresentou boa correlação entre os índices DN e ISC, com coeficiente de determinação bem próximo da unidade.

Considerando os resultados de correlação verificados para a mistura 01, recomenda-se a continuidade do estudo, com maior quantidade de ensaios, para comprovar a eficiência do uso do DCP para determinação do ISC “in situ” no controle de execução de camadas compostas por mistura de solo e escória de aciaria.

Observou que o solo retirado do empréstimo da obra de duplicação da Rodovia Quarto Anel Viário, estudado neste trabalho, pode ter sua capacidade de suporte sensivelmente melhorada, se misturado com escória de aciaria. O ganho de resistência na mistura 02 indica, para a energia modificada, sua utilização como camada de base de Rodovias considerando tráfego média intensidade de tráfego,  $N < 5 \times 10^6$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7211 (2004). *Agregados para Concreto – Especificação*.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 9895 (1987). *Solo. Índice de Suporte Califórnia – Método de Ensaio*.

Almeida, D. G., e Barroso, S. H. A. (2007) *Verificação de correlação DCP x CBR para solos do baixo Jaguaribe-CE, com finalidades rodoviárias*,

*Manaus/AM*. Artigo publicado, Universidade Federal do Ceará.

Berti, C. *Avaliação da capacidade de suporte de solos “in situ” em obras viárias através do cone de penetração dinâmica estudo experimental*, Dissertação de Mestrado, UEC, São Paulo, SP, 2005.

DNER, Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER-ME 049, *Solos-Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras não Trabalhadas – Método de ensaio*. 1994d.

DNER, Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER-ME 035, *Agregados-Determinação da Abrasão “Los Angeles” – Método de ensaio*. 1998b.

DNER, Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER-ME 080, *Solos-Análise Granulométrica por Peneiramento – Método de ensaio*. 1994e.

DNER, Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER-ME 082, *Solos-Determinação do Limite de Plasticidade – Método de ensaio*. 1994b.

DNER, Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER-ME 083, *Agregados-Análise Granulométrica – Método de ensaio*. 1998a.

DNER, Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER-ME 122, *Solos-Determinação do Limite de Liquidez – Método de ensaio*. 1994a.

DNER, Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER-ME 162, *Solos-Ensaio de Compactação Utilizando Amostras Trabalhadas – Método de ensaio*. 1994c.

DNER, Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER-ME 262, *Escórias de Aciaria para Pavimentos Rodoviários – Especificação de Material*. 1994f.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, DNIT-ES 113, *Agregado Artificial - Avaliação do Potencial de Expansão de Escória de Aciaria – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 2009b.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, DNIT-ES 114, *Sub-Base Estabilizada Granulometricamente com Escória de Aciaria - Acerita – Especificação de serviço*. Rio de Janeiro, 2009a.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, DNIT-ES 115, *Base Estabilizada Granulometricamente com Escória de Aciaria - Acerita – Especificação de serviço*. Rio de Janeiro, 2009c.

Lima, L. C. (2000) *O Ensaio DCP Aplicado no Controle de Qualidade de Compactação de Obras Viárias Executadas com Solos Lateríticos de Textura Fina*. 149 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, São Paulo.

Parente, E. B., Boa Vista, A. L., Soares, J. B., *Estudo do comportamento mecânico de misturas de solo e escória para aplicação na construção rodoviária na região metropolitana de Fortaleza, 2008*. Artigo publicado, Universidade Federal do Ceará.

PTM - Pennsylvania Testing Method 130, 1978, “Método de ensaio para avaliação do potencial de expansão de escória de aciaria”. Adaptado pelo DNER/MG-DMA-1/ DER-MGG-1982.