

Correlação Entre Módulo De Elasticidade E Rigidez Com Valores De Teor De Umidade Obtidos Pelo Medidor Do Índice De Rigidez Para Controle De Compactação.

Jéssika Cosme

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, jessikacosme@hotmail.com

Gilberto Fernandes

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, gilberto@em.ufop.br

Daniel Pinto Fernandes

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, danielfernandesambiental@gmail.com

Lucas Fernando Vieira Gomes

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, lucasfvgomes@gmail.com

RESUMO: O presente trabalho procura contribuir para a avaliação do controle de qualidade do processo de compactação em obras viárias. Como é sabido, a determinação da máxima massa específica aparente seca in situ é conduzida, pelas técnicas do frasco de areia, do balão de borracha e do cilindro biselado. Com relação à determinação do teor de umidade in situ se faz, usualmente, pelas técnicas da "frigideira" e do Speedy Test. Com efeito, os procedimentos de controle de compactação contemplam, ainda hoje, métodos pouco precisos e limitados por diversos condicionantes tornando a técnica inviável e morosa, em detrimento ao cronograma da obra. A avaliação do desempenho dos materiais constituintes das camadas de um pavimento precisa ser conduzida de forma mais rápida e acessível economicamente, visando antever o comportamento dos mesmos. O medidor do índice de rigidez de solos compactados (Geogauge) surge como uma alternativa a ser aplicada no controle tecnológico de compactação, uma vez que não se trata de um método nuclear ou destrutivo. Sua aplicação se dá, geralmente, associando-se os parâmetros elásticos da camada do pavimento fornecidos pelo equipamento (módulo de Young e rigidez relativa) aos graus de compactação ideais obtidos em campo (100% PN). A grande vantagem deste equipamento como ferramenta auxiliar no controle tecnológico de campo é a possibilidade de substituição parcial ou até mesmo total dos métodos convencionais hoje empregados e razoavelmente deficitários. Posto isso, o objetivo precípuo da pesquisa é estabelecer um critério racional de correlação entre resultados obtidos em laboratório usando métodos convencionais e resultados obtidos via aplicação do medidor possibilitando a elaboração de gráficos que representam a correspondência entre Rigidez x Teor de Umidade e Módulo de Elasticidade x Teor de Umidade para a jazida de solo estudada, a fim de se acelerar a liberação das camadas de terraplenagem. A metodologia adotada para se atingir os objetivos baseia-se na caracterização completa em laboratório através de ensaios convencionais do solo da jazida. Após a caracterização geotécnica do material procede-se ao modelo físico proposto para a pesquisa, constituindo a execução de uma camada de subleito com dimensões de 1,00 x 1,00 x 0,20m compactada no Proctor Normal, utilizando os resultados laboratoriais obtidos anteriormente. Desse modo, foi estabelecida a correlação dos parâmetro de Módulo de Elasticidade e Rigidez obtidos pelo equipamento, com o teor de umidade do solo em estudo, aferidos nos ensaios de laboratório.

PALAVRAS-CHAVE: Correlação, Módulo de Elasticidade, Rigidez, Massa Específica.

1 INTRODUÇÃO

As técnicas de pavimentação empregadas nos países em desenvolvimento são, usualmente, desenvolvidas em países desenvolvidos. No Brasil, a construção de pavimentos segue as prescrições das normas e instruções do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), que, se fundamentam em normas de entidades norte-americanas, tais como: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), American Society for Testing and Materials (ASTM), Asphalt Institute (AI) e Portland Cement Association (PCA) (MOREIRA, 2010). Dessa forma, a inovação nos pavimentos no país fica interdependente dos avanços tecnológicos desenvolvidos em outros países. Para tanto, é inegável a necessidade de adaptação de tecnologias e incentivos a pesquisas, normalmente quando há desenvolvimento econômico do país.

Para fins de pavimentação considera-se como solo todo material inconsolidado ou parcialmente consolidado, inorgânico ou não, que possa ser escavado sem o emprego de técnicas especiais, como por exemplo, explosivos.

O objetivo do estudo dos solos para a construção de estradas é conhecer a totalidade de suas propriedades físicas e químicas, pois é com os solos e sobre os mesmos que são construídos os pavimentos, com o conhecimento dessa totalidade de propriedades, procura-se inferir tais propriedades a partir de outras mais simples, mais gerais e mais facilmente determináveis, denominadas propriedades índices.

O processo de compactação pode ser visto como uma técnica onde se visa melhorar as propriedades de um dado material, através da compressão do mesmo por meio de uma determinada energia mecânica. Os principais benefícios, em termos de propriedades geotécnicas, adquiridos através do processo de compactação, podem ser citados como o aumento da densidade, da resistência ao cisalhamento e da capacidade de suporte, representada por meio do CBR. A compactação também diminui o índice de vazios, a

permeabilidade, a contração e a compressibilidade.

Na década de 30, o engenheiro norte-americano Ralph R. Proctor começou a publicar os primeiros trabalhos sobre a compactação de aterros. Houve a partir destes trabalhos, uma grande evolução nas técnicas de compactação, que antes eram executadas de maneira empírica, sem embasamento técnico que servisse como referência. Foi desenvolvido então, um ensaio dinâmico para determinação experimental da curva de compactação, que é obtida por meio da relação entre a massa específica seca e o teor de umidade do solo. Proctor percebeu também que a massa específica, resultante da aplicação de uma determinada energia de compactação, é função do teor de umidade do solo, no decurso do processo de compactação. Variando esse teor de umidade, obtém-se uma maior ou menor eficiência do efeito da compactação na densidade do solo, devido essencialmente à influência da umidade em relação ao atrito existente entre as suas partículas.

A compactação de solos poderá ser executada por vários métodos, e em cada caso serão alcançados provavelmente, resultados diferentes para um mesmo tipo de material. Da mesma forma, um mesmo método de compactação, quando utilizado em solos com propriedades geotécnicas distintas, também poderá apresentar resultados extremamente distintos. Em vista disso, os resultados de um processo de compactação dependem de diversos fatores como a natureza do solo, o método de compactação a ser utilizado, a energia e o teor de umidade (ESSIGMANN JR et al., 1978).

A escolha para aplicação de cada um desses métodos em um dado solo tende a gerar resultados diferentes, tanto na estrutura como nas propriedades do material que se compacta. É de se esperar que os métodos de laboratório reproduzam as condições do processo no campo, porém, em muitos casos não é fácil estabelecer uma correspondência clara entre o trabalho de campo e os resultados de laboratório. Diversos fatores são associados aos métodos aplicados que intervêm no processo de compactação, como o número e a espessura das camadas, o tipo de equipamento e seus procedimentos de utilização, a quantidade de

energia aplicada e a umidade do solo no momento da compactação. Para cada método existe uma única relação entre a densidade e teor de umidade, de acordo com a energia de compactação aplicada (RODRIGUEZ e MEJIA, 1976).

Nesse contexto é que se insere o presente trabalho de pesquisa, que busca correlacionar os parâmetros de compactação obtidos laboratorialmente com dados de campo, como por exemplo, a rigidez da camada de terraplenagem, proporcionando rapidez na liberação de trechos rodoviários.

2 OBJETIVOS

O objetivo precípua da pesquisa é estabelecer por meio de um critério racional a correlação entre resultados obtidos em laboratório por meio de ensaios convencionais de compactação de solos e os resultados obtidos via aplicação do medidor do índice de rigidez de solos compactados (GeoGauge). Após a campanha laboratorial e de campo foi elaborada uma equação de correlação entre o módulo de elasticidade do material com a umidade e também a rigidez do solo compactado com a umidade com o intuito de auxiliar nas execuções de camadas de terraplenagem em obras de infraestrutura como rodovias e ferrovias.

3 METODOLOGIA

Os procedimentos aplicados para se alcançar os objetivos propostos baseiam-se na caracterização em laboratório por meio de ensaios geotécnicos convencionais, de modo a que, na fase de execução do modelo físico seja possível correlacionar os resultados obtidos em laboratório com os parâmetros medidos em campo. Na campanha de ensaios laboratoriais realizaram-se os seguintes ensaios: análise granulométrica, ensaio de compactação, determinação de limites de consistência e CBR (California Bearing Ratio). O modelo físico proposto na pesquisa consiste na execução de três camadas de subleito com dimensões de 1,00 x 1,00 x 0,20 m compactadas na energia do

Proctor Normal, utilizando os resultados laboratoriais obtidos anteriormente.

A fase experimental do presente trabalho foi realizada a partir da abertura de três furos com dimensões de 1,0 m x 1,0 m x 0,2 m (comprimento, largura, profundidade) na parte externa do Laboratório de Ferrovias Asfalto da Escola de Minas na Universidade Federal de Ouro Preto (Figura 1) com o propósito de se compactar o material amostrado e ensaiado em três umidades distintas. No primeiro furo, a compactação foi realizada no ramo úmido da curva de compactação (25,9%) obtida em laboratório, o material do segundo furo foi compactado próximo à sua umidade ótima (21,5%) e finalmente, o último furo foi compactado na umidade corresponde ao ramo úmido da curva de compactação (18,8%).



Figura 1. Furos a serem compactados.

A partir da execução da compactação do solo da jazida seguindo as informações obtidas durante a fase laboratorial, foi necessário o auxílio do medidor do índice de rigidez de solos compactados que fornece uma medição direta das propriedades dos materiais e das estruturas das camadas do pavimento. O medidor do índice de rigidez de solos compactados trabalha aplicando carregamentos senoidais sobre o solo da superfície e medi o deslocamento resultante. Durante o ensaio a força aplicada e o respectivo deslocamento são medidos para 25 frequências de vibração diferentes, na gama de valores entre 100 e 196 Hz. (FERNANDES, 2005).

Após realizar a compactação em cada furo, foram feitas leituras com o medidor do índice de rigidez de solos compactados para a obtenção da Rigidez e Módulo e Elasticidade do solo nas três umidades diferentes. A partir daí, foi possível correlacionar esses valores para a

obtenção de uma curva característica para esse solo e a formulação de equações que regem o comportamento desse solo no que se refere a Umidade x Módulo de Elasticidade e Umidade x Rigidez. A Figura 2 mostra o processo de compactação e leitura com o equipamento.



Figura 2. Processo de Compactação e Leituras com o equipamento.

Como forma de controle do processo de compactação desenvolvido nos furos, tomou-se o ensaio de frasco de areia como método para comparar a massa específica obtida em laboratório com o resultado da compactação feita em campo. A figura 3 apresenta o ensaio sendo executado na parte externa do Laboratório de Ferrovias e Asfalto.



Figura 3. Ensaio de Frasco de Areia.

Dessa maneira, foi possível obter a correlação dos parâmetro de Módulo de Elasticidade e Rigidez obtidos pelo equipamento com o teor de umidade do solo em estudo, aferidos nos ensaios de laboratório.

4 RESULTADOS

4.1 Granulometria

O resultado do ensaio está apresentado nas tabelas e na curva granulométrica abaixo:

Tabela 1. Ensaio de Granulometria.

Peneiramento do Solo Grosso					
Peneira		Peso	Peso Retido	Peso que	% que
Nº	Abertura	Retido	Acumulado	Passa	
	(mm)	(g)	(g)	(g)	Passa
2"	50	0	0	1479,96	100
1 1/2"	38	0	0	1479,96	100
1"	25	0	0	1479,96	100
3/4"	19	0	0	1479,96	100
1/2"	12,5	0	0	1479,96	100
3/8"	9,5	0	0	1479,96	100
Nº 04	4,8	17,54	17,54	1462,42	98,81
Nº 10	2	30,98	48,52	1431,44	96,72

Tabela 2. Ensaio de Granulometria – Peneiramento Solo Fino.

Peneiramento do Solo Fino					
Peneira		Peso	Peso Retido	Peso que	% que
Nº	Abertura	Retido	Acumulado	Passa	
	(mm)	(g)	(g)	(g)	Passa
16	1,2	1,86	1,86	72,1	96,33
30	0,6	3,5	5,36	68,6	91,65
40	0,42	1,03	6,39	67,57	90,27
60	0,25	3,8	10,19	63,77	85,2
100	0,15	6,95	17,14	56,82	75,91
200	0,074	8,51	25,65	48,31	64,54

Tabela 3. Ensaio de Granulometria – Sedimentação.

Sedimentação									
Hora	Δt (min)	Leitura		Temperatura (°C)	Leitura Corrigida Menisco	Diâmetro dos Grãos (mm)	Correção	Leitura Corrigida	% Finos Totais
9:30	15"	28,9	29	24	0,5	0,076	-2,91	26,49	53,27
9:30	30"	25,6	26	24	0,5	0,055	-2,91	23,19	46,64
9:31	1'	23,4	23	24	0,5	0,04	-2,91	20,99	42,21
9:32	2'	22,5	23	24	0,5	0,028	-2,91	20,09	40,4
9:34	4'	21,4		24		0,02	-2,91	18,49	37,18
9:38	8'	20		24		0,014	-2,91	17,09	34,37
9:45	15'	19,4		24		0,01	-2,91	16,49	33,16
10:00	30'	18,3		24		0,007	-2,91	15,39	30,95
10:30	1 h	18		24		0,005	-2,91	15,09	30,35
11:30	2 h	17,2		24		0,004	-2,91	14,29	28,74
13:30	4 h	16,8		24		0,003	-2,91	13,89	27,93
17:30	8 h	16		24		0,002	-2,91	13,09	26,32
9:30	24h	14		24		0,001	-2,91	11,09	22,3

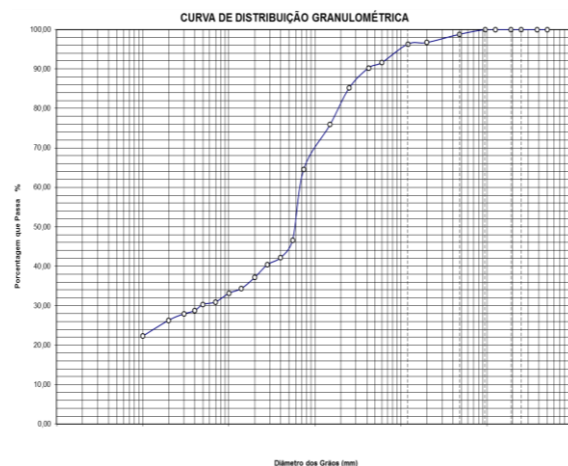


Figura 3. Curva de Distribuição Granulométrica.

A partir dos resultados obtidos, pode-se classificar o material analisado como Argila

Areno-Siltosa de cor Marrom.

4.2 Limites de Consistência

4.2.1 Limite de Liquidez

A Figura 4, abaixo, mostra o gráfico obtido pelo ensaio de Limite de Liquidez.

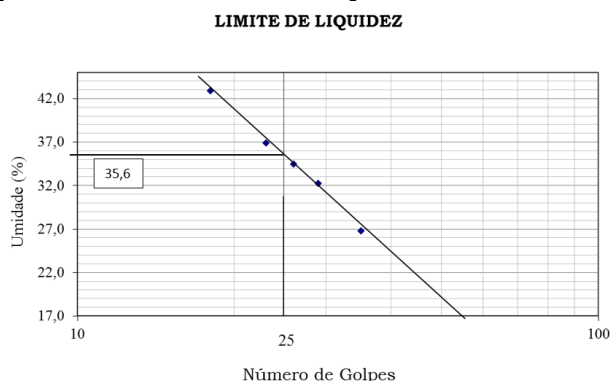


Figura 4. Limite de Liquidez.

4.2.2 Limite de Plasticidade

A Tabela 4 abaixo, mostra os valores encontrados no ensaio de Limite de Plasticidade.

Tabela 4. Limite de Plasticidade.

Cápsula Nº	425	418	952
S + A + T (g)	6,85	6,30	6,18
S + T (g)	6,61	6,08	5,97
Água (g)	0,24	0,22	0,21
Solo (g)	1,17	1,08	1,10
Tara (g)	5,44	5,00	4,87
Umidade %	20,5	20,4	19,1
Limite de Plasticidade = 20,00			

4.2.3 Índice de Plasticidade

A Tabela 5 mostra os resultados de Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade.

Tabela 5. Índice de Plasticidade.

Limite de Liquidez	35,6
Limite de Plasticidade	20,0
Índice de Plasticidade	15,6

4.3 Índice de Grupo

Por meio dos resultados dos ensaios de granulometria e limites de consistência, o índice de grupo do solo ensaiado é 8,06. Valores próximos de zero indicam que o solo é de excelente qualidade para utilização como subleito, sendo assim, pode-se considerar que o solo ensaiado apresenta bom desempenho como material para camada de subleito.

$$IG=0,2.a + 0,005.a.c + 0,001.b.d \quad (1)$$

Sendo: a=29,5; b= 40; c= 0; d= 5,4

Tem-se: IG= 8,06

4.4 Características Mecânicas do Solo

Com a realização dos ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia, as informações características descritas na Tabela 6 foram determinadas.

Tabela 6. Características mecânicas do solo.

Massa específica máxima seca	1.613	g/cm ³
Umidade ótima	22,9	%
Expansão	0,7	%
Índice de Suporte Califórnia	2,0	%

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o solo pode ser utilizado como camada de subleito de um pavimento flexível, já que possui CBR igual 2% e expansão menor que 1%. O ensaio de compactação foi realizado com energia de compactação normal e a curva de compactação está indicada na Figura 5.

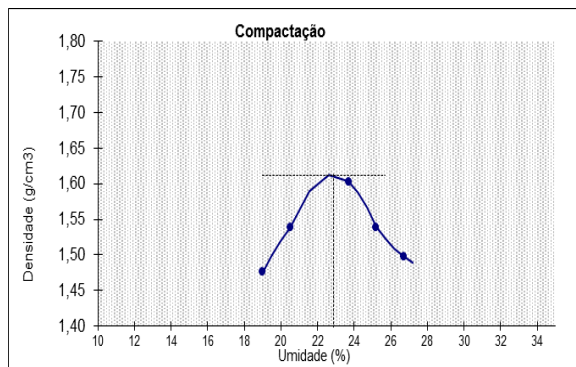


Figura 5. Curva de Compactação – Subleito

4.5 Classificação dos Solos

A partir dos dados obtidos nos ensaios, fez-se a classificação dos solos de acordo com a classificação SUCS (Figura 6) e Highway Research Board (HRB), atual Transportation Research Board (TRB) (Figura 7).

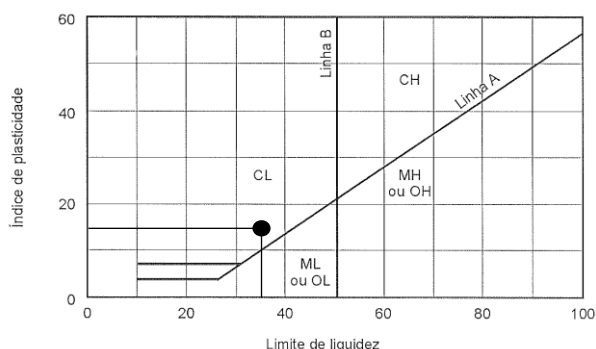


Figura 6. Classificação SUCS.

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES (35% OU MENOS PASSANDO NA PENEIRA Nº. 200)								MATERIAIS SILTO-ARGILOSOS (MAIS DE 35% PASSANDO NA PENEIRA Nº. 200)					
Classificação em Grupos	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7			
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7							
Granulometria:														
% passando na peneira:														
Nº. 10 (2,0 mm.)	50 máx.													
Nº. 40 (0,42 mm.)	30 máx.	30 máx.	51 mín.											
Nº. 200 (0,075mm.)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.			
Característica da fração passando na peneira no 40:														
Limite de Liquidez (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.			
Índice de Plasticidade (%)	6 máx.	6 máx.	NP	10máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.			
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.			
Materiais constituintes	Fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia		Areia fina	Pedregulhos ou areia silteosas ou argilosas				Solos silteosos		Solos argilosos				
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Satisfável a mau						

* O IP do grupo A-7-5 é igual ou menor do que o LL menos 30, se maior será A-7-6.

Figura 7. Classificação TRB (antiga HRB).

De acordo com os dados obtidos nos ensaios, o solo pode ser classificado de acordo com a Highway Research Board (HRB), atual

Transportation Research Board (TRB) como um solo A6. No sistema de classificação SUCS, o solo utilizado nessa pesquisa se classifica como CL.

4.6 Correlação para Controle de Compactação

Após a execução dos ensaios e análise dos resultados, foi possível construir-se as tabelas 7, 8 e 9 apresentadas a seguir que mostram as leituras obtidas pelo medidor do índice de rigidez de solos compactados, realizadas em cinco diferentes locais do furo compactado (bordas e centro do furo). A Tabela 10 mostra a média das leituras de rigidez e elasticidade em cada furo.

Tabela 7. Leituras obtidas com o equipamento na Umidade de 18,8%.

Ramo Seco w=18,8%		
Ponto	Módulo de Elasticidade (Mpa)	Rigidez (Mpa)
1	115,11	12,13
2	65,9	6,94
5	88,65	9,34
4	124,04	13,07
5	83,02	8,75
Média	95,344	10,046

Tabela 8. Leituras obtidas com o equipamento na Umidade de 21,5%.

Umidade Ótima w=21,5%		
Ponto	Módulo de Elasticidade (Mpa)	Rigidez (Mpa)
1	51,89	5,47
2	84,67	8,92
5	46,2	4,07
4	60,9	6,46
5	50,15	5,29
Média	58,762	6,042

Tabela 9. Leituras obtidas com o equipamento na Umidade de 25,9%.

Ramo Úmido w=25,9%		
Ponto	Módulo de Elasticidade (Mpa)	Rigidez (Mpa)
1	28,61	3,01
2	35,72	3,76
5	17,91	1,89
4	30,77	3,24
5	27,63	2,91
Média	28,128	2,962

Tabela 10. Média das leituras obtidas com o equipamento.

Umidade	Módulo de Elasticidade (Mpa)	Rigidez (Mpa)
18,8	95,34	10,05
21,5	58,76	6,04
25,9	28,13	2,96

A partir das leituras obtidas, foi possível estabelecer as correlações propostas nos objetivos desta pesquisa. A Figura 8 apresenta a curva de correlação Umidade X Rigidez e sua equação correspondente. Já a Figura 9 apresenta a correlação Umidade X Módulo de Elasticidade juntamente com a equação da curva.

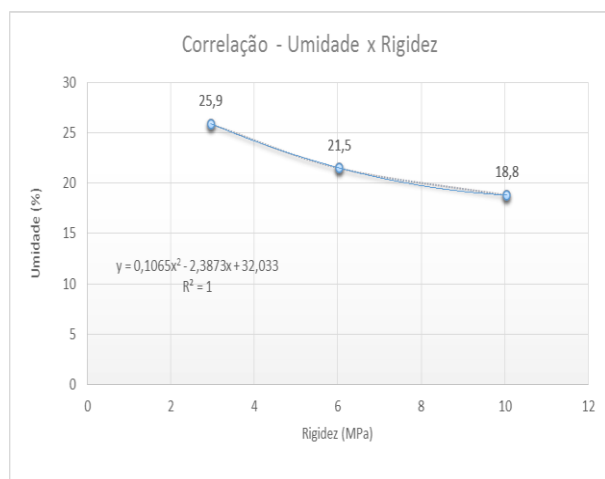


Figura 8. Gráfico de Correlação – Umidade X Rigidez.

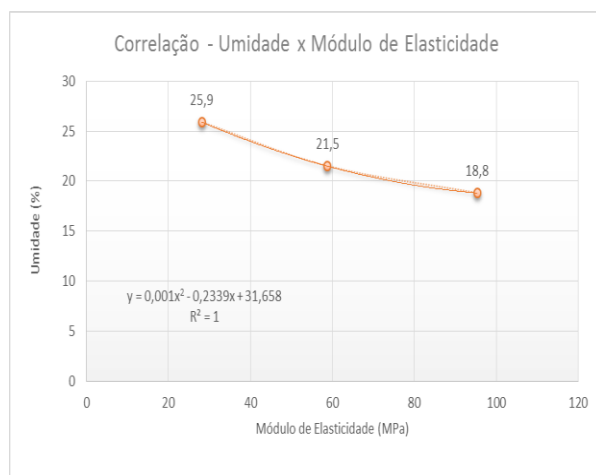


Figura 9. Gráfico de Correlação – Umidade X Módulo de Elasticidade.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho de pesquisa procurou-se correlacionar os resultados de uma extensa campanha de ensaios geotécnicos laboratoriais com uma etapa de campo, onde compactou-se o solo amostrado, seguindo as prescrições dadas na fase anterior. O objetivo é estabelecer uma equação que regesse o comportamento geomecânico do material facilitando assim, o processo de controle de compactação nas diversas fases de terraplenagem. Para isso, foi empregado o medidor do índice de rigidez de solos compactados para aferição dos parâmetros de Rigidez e Módulo de Elasticidade do solo em três umidades distintas: 18,8% – correspondente ao ramo seco da curva de compactação; 21,5% – correspondente ao ponto de umidade ótima do solo e 25,9% – correspondente ao ramo úmido da curva de compactação.

Por meio dos resultados obtidos laboratorialmente conclui-se que o material amostrado classifica-se como Argila Areno-Siltosa de cor Marrom pelo ensaio de granulometria, o índice de grupo do solo ensaiado resultou em 8,06, o que significa que o solo ensaiado apresenta bom desempenho como material para camada de subleito.

De posse dos resultados dos ensaios de granulometria e Limites de Atterberg, classificou-se o solo em conformidade com a Highway Research Board (HRB), atual Transportation Research Board (TRB) como um solo A6, tratando-se de um solo argiloso com comportamento como subleito considerado regular. No sistema de classificação SUCS, o solo utilizado nessa pesquisa se classifica como CL, podendo ser descrito como uma argila sem matéria orgânica, de baixa plasticidade, arenosa ou siltosa.

Em relação às características mecânicas do solo analisado, conclui-se que o material pode ser empregado como camada de subleito de um pavimento flexível, já que possui CBR igual 2% e expansão menor que 1% segundo DNIT, 2006. O ensaio de compactação foi realizado na energia do Proctor Normal e a curva de compactação resultou em uma massa específica máxima seca de 1,613 g/cm³ e umidade ótima

22,9%.

A partir desse conjunto de resultados laboratoriais partiu-se para os trabalhos de campo, onde foi compactado o solo amostrado. Com isso, foi possível construir duas curvas de correlação entre os parâmetros: Umidade X Rigidez e Umidade X Módulo de Elasticidade. As curvas de correlação forneceram suas respectivas equações com seu coeficiente de determinação (R) iguais a 1, significando que o modelo aplicado foi extremamente eficaz para o estabelecimento das correlações almejadas como objetivo principal do trabalho de pesquisa.

Por fim, concluí-se que a aplicação de curvas de correlação entre parâmetros geotécnicos, tais como umidade e massa específica, e medidas de campo, tais como módulo de elasticidade e rigidez, obtidos nesse trabalho por meio do medidor do índice de rigidez de solos compactados contribuem significativamente para um melhor controle na compactação das camadas de terraplenagem, tornando-a mais eficiente, célere e consequentemente reduzindo os custo de execução da obra.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial à Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, ao PIVIC/PROPP-UFOP e à Fundação Gorceix.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7.180 (1981). Limite de plasticidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 3p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6.459 (1984a). Solo – Determinação do limite de liquidez. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 6p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7.181(1984b). Solo – Análise granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 13p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7.182 (1986b). Solo – Ensaio de compactação. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 10p.
- DNIT, Manual de Pavimentação, 3ed, 2006.
- ESSIGMANN JR, M. F.; ALTSCHAEFFL, A. G.; LOVELL, C. W. Method for Specifying Soil

- Compaction. Transportation Research Record, 1978.
- FERNANDES, G. Comportamento de Estruturas de Pavimentos Ferroviários com Utilização de Solos Finos e/ou Resíduos de Mineração de Ferro Associados a Geossintéticos. Brasília: [s.n.], 2005.
- MOREIRA, E. D. Desempenho de Dois Trechos de Solo Emulsão em Vias de Baixo Volume de Tráfego. Ouro Preto: NUGEO/UFOP, 2010.
- RODRIGUEZ, A. R.; MEJIA, H. D. C. La ingenieria de suelos en las vias terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas. Limusa, México, 1976.