

# ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM SOLO DA FORMAÇÃO PALERMO ESTABILIZADO MECANICAMENTE.

Jakson Alexandre Scarmagnani (1), Adailton Antônio dos Santos (2);

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)[jaksonalexandre@hotmail.com](mailto:jaksonalexandre@hotmail.com), (2)[adailton@unescc.net](mailto:adailton@unescc.net)

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo estabilizar mecanicamente, através da aplicação de diferentes energias de compactação (Proctor Normal, Intermediária e Modificada), um solo da Formação Palermo, a fim de utilizá-lo como subleito de uma rodovia. Para isto foram coletadas amostras às margens da Rod. Antônio Just, que foram submetidas a ensaios de caracterização química, mineralógica, física (granulometria por peneiramento, Limite de Liquidez - LL e Limite de Plasticidade - LP) e mecânica (compactação, Índice de Suporte Califórnia - ISC e expansão) nos Laboratórios de Mecânica dos Solos (LMS) e de Materiais, do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT), da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) e, no Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais (LDCM), do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Na análise mineralógica realizada através do ensaio de difratometria de raios-X detectou-se a presença de illita (22%), argilomineral este, responsável pelo comportamento expansivo do solo estudado. Os resultados dos ensaios demonstraram que o aumento na energia de compactação elevou o  $ISC_{inundado}$  médio em 20,0%, para as energias Proctor Intermediária, e Modificada, enquanto que a expansão reduziu 6,95%, na energia Intermediária e elevou 9,35% na Modificada, quando comparadas à energia Proctor Normal. A explicação para tal fato está com certeza num percentual maior de illita presente nas amostras, utilizadas para determinação do  $ISC_{inundado}$  na energia Modificada. Constatou-se, que dentre as propriedades mecânicas analisadas, a expansão não atendeu aos parâmetros do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

*Palavras-Chave: Formação Palermo. Estabilização Mecânica. ISC. Expansão.*

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é um material heterogêneo que apresenta comportamentos variados, necessitando ser estudado, para viabilizar e adequar a sua utilização em obras civis. Em obras rodoviárias, devido sua execução em áreas linearmente extensas, exige-se um cuidadoso reconhecimento geotécnico da região.

Ocasionalmente, em alguns trechos ou em sua totalidade, o subleito (solo de fundação) pode não atender as especificações impostas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), quanto ao ISC ( $\geq 2\%$ ) e a

expansão ( $\leq 2\%$ ). Neste caso é comum se implantar sobre o subleito uma camada de reforço, ou promover a substituição do mesmo, por um material que atenda as exigências do DNIT. Este processo acaba gerando resíduos e exige a busca de jazidas, que além de aumentar os custos na execução, provocam um grande impacto ambiental.

Outro método comumente utilizado é a estabilização, que propicia um melhoramento das propriedades mecânicas dos solos. Esta pode ser classificada em química (aditivos químicos) e mecânica (energias de compactação). Estudos foram realizados, aplicando-se na estabilização química em solos da Formação Palermo, os aditivos CON-AID<sup>®</sup> (SANTOS, 2008), Perma Zyme<sup>®</sup> (BRESCIANI, 2009), cimento (MAURILIO, 2009) e PZ Solution<sup>®</sup> (GREGÓRIO, 2010). Os resultados obtidos nos referidos estudos, demonstraram que em nenhum caso os valores obtidos para a expansão atenderam a exigência do DNIT, optando-se por isso, pela estabilização mecânica.

A estabilização mecânica visa à aplicação de diferentes energias de compactação (Proctor Normal, Intermediária e Modificada) ao solo, conferindo-lhe uma densificação por redução do volume de vazios. Isto normalmente gera um aumento de sua capacidade de carga e redução de sua variação volumétrica. A melhoria destas propriedades tende a aumentar com o aumento da energia de compactação. Logo, o presente trabalho visa melhorar as propriedades mecânicas (ISC e expansão) de um solo da Formação Palermo, através da estabilização mecânica, de tal forma que o mesmo atenda as exigências do DNIT, para camada do subleito quanto ao ISC e a expansão.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do presente trabalho, inicialmente, buscou-se na literatura técnica, de informações teóricas relativas à Formação Palermo, aos ensaios de caracterização química, mineralógica, física e mecânica. Para isto, coletaram-se amostras do solo, objeto de estudo, as margens da Rodovia Antônio Just - Criciúma, que foram encaminhadas aos Laboratórios de Mecânica dos Solos (LMS) e de Materiais, do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT), da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), ao Laboratório de Desenvolvimento e

Caracterização de Materiais (LDCM) do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), para realização dos ensaios de caracterização supracitados. Por fim, de posse dos resultados realizou-se uma análise dos mesmos, para verificar se atendiam as exigências do DNIT.

## 2.1. SOLO DA FORMAÇÃO PALERMO

### 2.1.1. Localização

O solo utilizado neste estudo (Figura1) foi coletado as margens da Rodovia Antônio Just, bairro Santa Luzia, Criciúma/SC, nos pontos de coordenadas UTM leste 654.743 e norte 6.823.035.

Figura 1 - Solo objeto de estudo



Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani.

### 2.1.2. Geologia

O solo estudado encontra-se na bacia hidrográfica do Rio Araranguá, no qual afloram rochas vulcânicas e sedimentares. A geologia local é caracterizada pela presença de rochas sedimentares da Formação Palermo do Grupo Guatá. Esta formação é composta, predominantemente, por folhelhos silticos argilosos, tendendo originar solos silte argilosos e argilas siltosas com coloração variando entre a cinza, o roxo e o amarelo. Estes tendem apresentar, segundo ROSTIROLLA (2012),

valores de ISC entre 2,86% e 7,36% e valores de expansão 0,28% e 2,39%. Entretanto, não é anormal encontrar valores de expansão de até 6,4%.

## 2.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

As amostras coletadas foram preparadas, de acordo com a NBR 6457/86, e submetidas a ensaios de caracterização química, mineralógica, física e mecânica. A seguir realizaram-se os ensaios de caracterização física e mecânica.

As normas utilizadas para execução dos ensaios encontram-se na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Normas para os ensaios de caracterização

	<b>Ensaio</b>	<b>Normas ABNT</b>
Caracterização física	Preparação das amostras de solo	NBR 6457/86
	Granulometria	NBR 7181/84
	Limite de liquidez	NBR 6459/84
	Limite de plasticidade	NBR 7180/84
Caracterização mecânica	Compactação	NBR 7182/86
	ISC	NBR 9895/87

Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani.

Os ensaios de caracterização química e mineralógica tiveram por objetivo determinar a composição química e detectar a presença de argilominerais no solo estudado. Já os ensaios de caracterização física (granulometria por peneiramento, LL e LP) visaram classificar o solo pelo sistema Transportation Research Board (TRB), permitindo estimar o comportamento geotécnico do mesmo. A caracterização mecânica (Ensaio de compactação, ISC e expansão), principal foco deste trabalho, possibilitou encontrar os valores do ISC e a expansão para as diferentes energias de compactação.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA

A composição química do solo foi obtida pelo ensaio de efluorescência de raios-X, cujo resultado encontra-se disposto na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química

<b>Elementos</b>	<b>Teor (%)</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,15
CaO	0,05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,82
K <sub>2</sub> O	1,54
MgO	0,56
MnO	< 0,05
Na <sub>2</sub> O	0,06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12
SiO <sub>2</sub>	60,55
TiO <sub>2</sub>	0,86
Perda Fogo	7,27

Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani.

A análise do resultado da Tabela 2 permite concluir que o solo é composto, predominantemente, por sílica (60,55%), óxido de alumínio (20,15%) e hematita (8,82%). Esses mesmos componentes são encontrados no solo da Formação Palermo, estudado por Gallato (2006, p.53), onde a sílica representa 49,41%, o óxido de alumínio 26,81% e a hematita 9,69% da composição total da amostra.

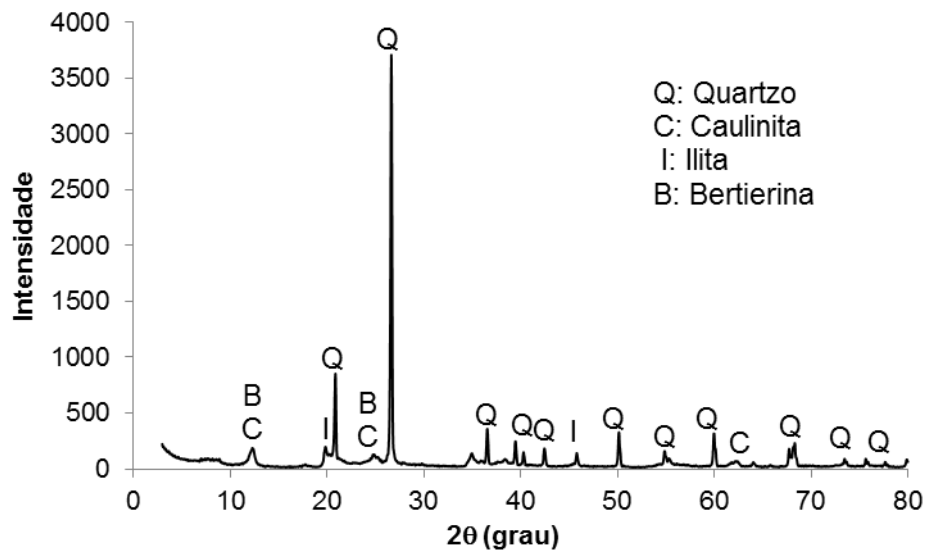
Através do ensaio de difratometria de raios-X obteve-se a composição mineralógica do solo, que identificou os argilominerais que podem influenciar nas propriedades mecânicas do mesmo. A Tabela 3 abaixo mostra a composição mineralógica do solo estudado, e na Figura 2 apresenta-se o difratograma de raios-X.

Tabela 3 - Composição mineralógica

<b>Mineral</b>	<b>Teor (%)</b>
Quartzo	33
Caulinita	24
Ilita	22
Bertierina	21

Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani.

Figura 2 - Difratoograma de raios X, da amostra do solo Palermo.



Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani

Os resultados obtidos demonstram que a presença de dois argilominerais, a caulinita e a ilita, representam 46% da composição mineralógica do solo. Segundo Caputo (1988, p.19), as caulinitas possuem uma estrutura rígida, sendo relativamente estáveis em presença da água; já as ilitas possuem uma estrutura molecular pouco firme, não conseguindo impedir a passagem das moléculas de água, tornando-as expansivas e instáveis. Logo é de se esperar que o solo apresente comportamento expansivo, fato este, que foi verificado nos ensaios de expansão. Quanto à presença da Bertierina, esta é uma ocorrência não muito comum na região, entretanto é possível nesta formação de solo.

De acordo com Das (2007, p.21), os argilominerais geram um efeito de atração sobre as moléculas de água, denominada água de adsorção, que é o responsável pela plasticidade do solo argiloso.

Das, ainda, comenta que os tipos de argilominerais, e suas quantidades proporcionais em um solo, influenciam no limite de liquidez e plasticidade. Já Skempton (1953, apud DAS, 2007, p.21) concluiu que o índice de plasticidade de um solo aumenta de forma linear com o percentual de argila. Essa linearidade possui uma inclinação para diferentes tipos de argila, sendo chamada de Índice de atividade (I<sub>a</sub>).

O Índice de atividade identifica o potencial da expansão de solos argilosos. Desta forma, Gregório (2010, p.66) determinou este índice para o solo da Formação



Palermo, visando definir seu comportamento expansivo. Através da análise, Gregório encontrou um valor de índice de atividade igual a 1,30%, classificando a argila presente no solo, como sendo de alta atividade ( $I_a > 1,25\%$ ), indicando o comportamento expansivo do solo.

### 3.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

A caracterização das propriedades físicas do solo, da Formação Palermo, envolveu os ensaios de granulometria por peneiramento, LL e LP. Com base no resultado destes, determinou-se a classificação TRB e o Índice de Grupo (IG) das amostras ensaiadas. A Tabela 4 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de caracterização física.

Tabela 4 - Propriedades físicas das amostras

<b>Características</b>	<b>AM01</b>	<b>AM02</b>	<b>AM03</b>	<b>Média</b>
LL	59	55	50	55
LP	29	29	32	30
IP	23	26	18	22
% passante nº200	99,2	99,2	99,5	99,3
IG	16	18	14	16
TRB	A7-6	A7-6	A7-5	A7-6

Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani.

A análise dos resultados, apresentados na Tabela 4, demonstra que o solo estudado pertence ao grupo A7 (A7-5 e A7-6). Os solos deste grupo tendem a apresentar argilas com alta plasticidade e elevadas variações volumétricas (expansão).

### 3.3. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

A caracterização mecânica do solo estudado foi feita com base nos resultados dos ensaios de densidade seca máxima, umidade ótima, ISC e expansão, obtidos nas Energias de compactação Proctor Normal, Intermediária e Modificada.

### 3.3.1. Densidade seca máxima e umidade ótima em função da energia de compactação

Para a determinação da densidade seca máxima ( $\gamma_{Smax}$ ) e umidade ótima ( $h_{ót}$ ) foram moldados três (3) corpos de prova, nas energias de compactação adotadas no presente trabalho, cujos resultados encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 -  $h_{ót}$  e  $\gamma_{Smax}$  do solo em relação à energia de compactação

Energia compactação	AM 01		AM 02		AM 03		Média	
	$h_{ót}$ (%)	$\gamma_{Smax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$h_{ót}$ (%)	$\gamma_{Smax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$h_{ót}$ (%)	$\gamma_{Smax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$h_{ót}$ (%)	$\gamma_{Smax}$ (g/cm <sup>3</sup> )
<b>P. Normal</b>	26,3	1,435	24,9	1,469	25,5	1,404	25,6	1,436
<b>P. Intermediária</b>	22,0	1,559	19,6	1,590	20,3	1,576	20,6	1,575
<b>P. Modificada</b>	19,1	1,672	18,0	1,675	17,9	1,683	18,3	1,677

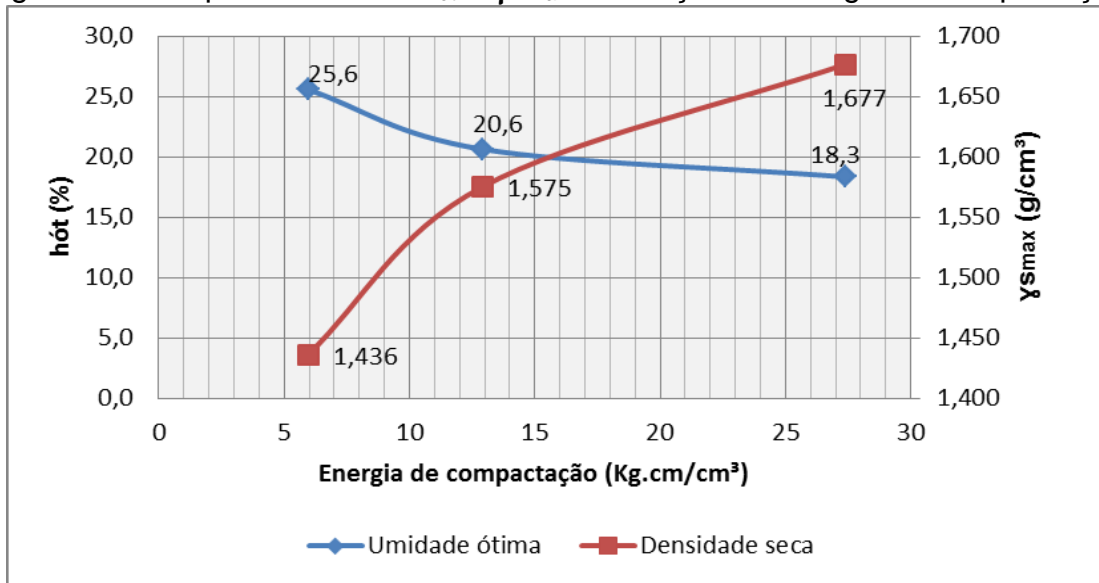
Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani.

A análise dos resultados médios, constantes na Tabela 5, demonstra que aumentando a energia de compactação, há um acréscimo significativo na densidade seca máxima, tomando como base o resultado obtido na Energia Proctor Normal, usualmente adotada. Também fica evidente uma diminuição na umidade ótima. Traduzido em números, houve um aumento na densidade seca máxima de 9,68% para a Energia Proctor Intermediária e de 16,78% para a Modificada, enquanto que a umidade ótima reduziu 19,53% e 28,52%, respectivamente.

Esta variação dos valores da densidade seca máxima e da umidade ótima ocorre devido à densificação do solo, proporcionado pela redução do volume de vazios. A Figura 3 ilustra o comportamento citado a cima, indicando a Energia Modificada como a mais favorável para melhorar as propriedades mecânicas do solo Palermo, objeto de estudo.



Figura 3 – Comportamento da  $h_{ót}$  e  $\gamma_{smax}$  em função da energia de compactação



Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani.

### 3.3.2. ISC em função da energia de compactação

Para determinação do ISC foram moldados três corpos de prova, para cada energia de compactação, na respectiva umidade ótima média. A Tabela 6 apresenta o resumo dos resultados obtidos para o  $ISC_{inundado}$ .

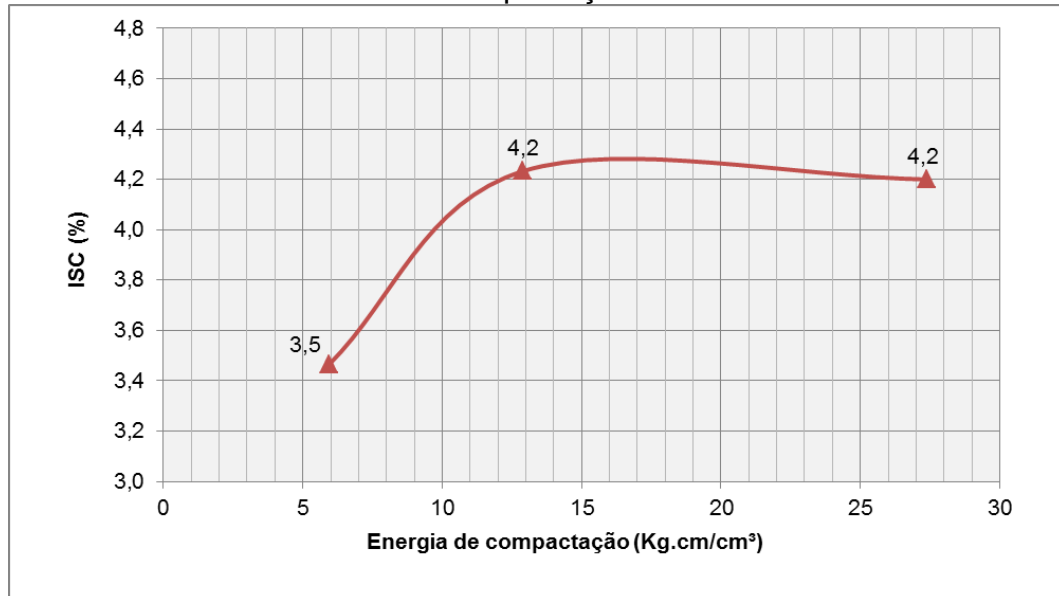
Tabela 6 -  $ISC_{inundado}$  do solo em função da energia de compactação

Energia de compactação	$ISC_{inundado}$			
	AM01	AM02	AM03	Média
Proctor Normal	3,5	3,5	3,4	3,5
Proctor Intermediário	3,6	4,6	4,5	4,2
Proctor Modificado	5,2	4,1	3,3	4,2

Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani.

Observa-se que a elevação na energia de compactação gera um aumento no  $ISC_{inundado}$  médio. Tomando como referência a Energia Proctor Normal, constata-se que houve um aumento no  $ISC_{inundado}$  médio na energia Intermediária e Modificada de 20,0%. A Figura 4 ilustra a influência da energia de compactação no  $ISC_{inundado}$  médio do solo.

Figura 4 - Comportamento de  $ISC_{inundado}$  do solo em função da energia de compactação



Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani.

Através do gráfico acima é possível constatar que a maior variação de  $ISC_{inundado}$  médio ocorreu entre a Energia Normal e Intermediária. Já, entre a Energia Intermediária e Modificada não houve variação. Sendo assim, o Proctor Intermediário fornece o mesmo  $ISC_{inundado}$  que o Modificado, mas com uma energia de compactação 112,40% inferior, o que gera em campo, uma economia significativa, no processo executivo.

### 3.3.3. Expansão em função das energias de compactação

Realizaram-se as leituras das expansões antes da ruptura dos corpos de prova para obtenção do  $ISC_{inundado}$ , cujos valores encontram-se dispostos na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 - Expansão do solo em função da energia de compactação

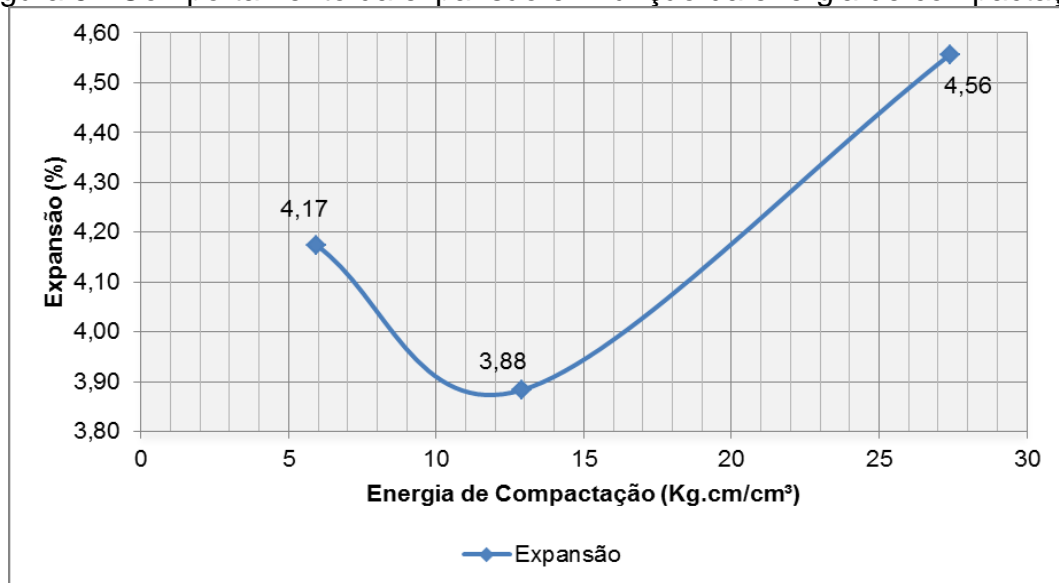
Energia de compactação	Expansão			
	AM01	AM02	AM03	Média
Proctor Normal	4,25	3,82	4,45	4,17
Proctor Intermediário	2,48	3,37	5,8	3,88
Proctor Modificado	3,92	4,79	4,96	4,56

Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani.

Tomando-se como parâmetro, a Energia de Compactação Normal, constata-se que na Intermediária houve uma redução de 6,95% na expansão média, enquanto que

na Modificada, a mesma aumentou em 9,35%. Conclui-se, portanto, que em nenhuma das energias aplicadas, o solo poderá ser utilizado para subleito de rodovia, pois o mesmo não atendeu a especificação do DNIT, quanto à expansão ( $\leq 2\%$ ). A Figura 5 ilustra o comportamento da expansão do solo com a aplicação das três energias de compactação.

Figura 5 - Comportamento da expansão em função da energia de compactação



Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani.

A avaliação do gráfico acima demonstra que no solo objeto de estudo, ao aumentar-se a energia de compactação Intermediária para a Modificada, ao contrário do esperado, ocorre um aumento da expansão média em 17,52%. Considerando o aumento na densidade seca máxima e a redução na umidade ótima, apresentados pelo solo na Energia Modificada, não era de se esperar este comportamento. A explicação para tal fato está com certeza num percentual maior de argila presente nas amostras, utilizadas para determinação do  $ISC_{inundado}$  nesta energia.

A Energia Proctor Intermediária demonstrou o melhor  $ISC_{inundado}$  médio, dentre as três, devido à queda na expansão média. No entanto, não atingiu o valor exigido pelo DNIT.

### 3.3.4. ISC de uma amostra não inundada em função da energia de compactação

Devido às elevadas expansões encontradas nos ensaios realizados com as energias Proctor, determinou-se a obtenção do ISC com as amostras não inundadas, a fim de analisar a influência da ilita nos resultados de  $ISC_{\text{inundado}}$ .

Para tanto foram moldado um corpo de prova na umidade ótima média, para cada energia de compactação. Na sequência os corpos foram rompidos e realizados suas leituras de ISC, sem imergi-los em água. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos nos referidos ensaios.

Tabela 8 -  $ISC_{\text{não inundado}}$  em função da energia de compactação

<b>Energia de compactação</b>	<b>ISC (%)</b>
Proctor Normal	13,8
Proctor Intermediária	35,8
Proctor Modificada	49,3

Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani.

Com os resultados apresentados na Tabela 8, observou-se um aumento significativo do  $ISC_{\text{não inundado}}$  do solo, 159,42% na Energia Intermediária e 257,24% na Energia Modificada, ambas em relação à Energia Normal. Percebe-se, que para este caso, os aumentos na densidade seca máxima do solo e na redução da umidade ótima, proporcionaram a elevação do ISC, atuando conforme esperado pelo método de estabilização empregado. A Tabela 9 apresenta uma análise comparativa do  $ISC_{\text{não inundado}}$  com o  $ISC_{\text{inundado}}$  médio.

Tabela 9 - Análise dos valores de  $ISC_{\text{inundado}}$  e  $ISC_{\text{não inundado}}$  em função da energia de compactação

<b>Energia de compactação</b>	<b>ISC não inundado</b>	<b>ISC inundado médio</b>
Proctor Normal	13,8	3,5
Proctor Intermediária	35,8	4,2
Proctor Modificada	49,3	4,2

Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani.

Analisando a Tabela 9 é possível observar a influência da saturação dos corpos de prova nos resultados de  $ISC_{\text{inundado}}$ . A reação da água com a ilita ocasionou uma

redução do  $ISC_{inundado}$  para as energias Normal, Intermediária e Modificada de 294,28%, 752,38% e 1073,80%, respectivamente. Isto demonstra a influência da ilita na redução dos valores do ISC na condição inundada.

#### 4. CONCLUSÕES

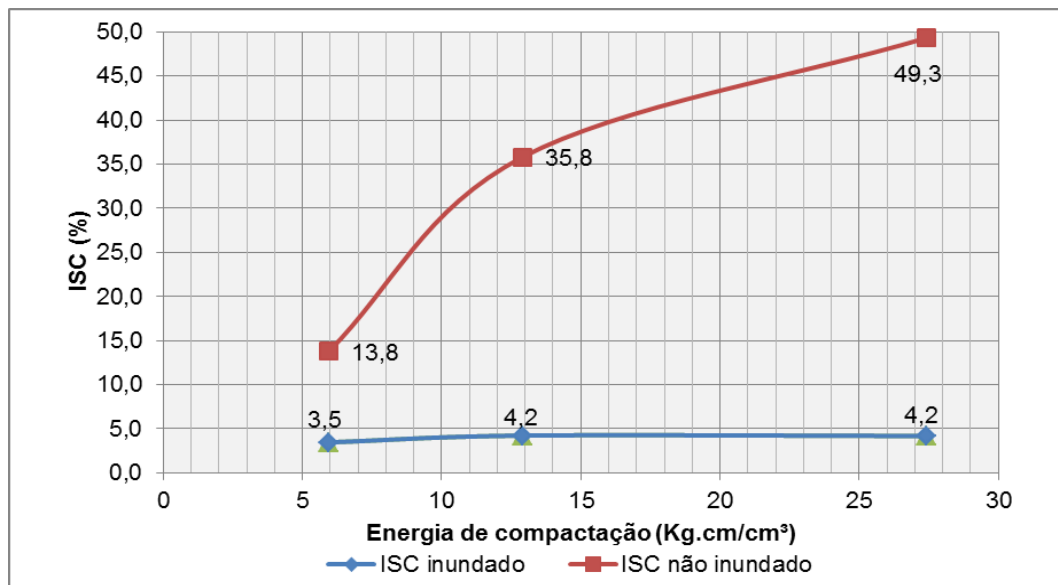
Com os resultados obtidos nesse trabalho, pode-se concluir que:

- a) o solo da Formação Palermo estudado é composto, predominantemente, por sílica (60,55%), óxido de alumínio (20,15%) e hematita (8,82%);
- b) mineralógicamente o mesmo é composto por 33% de quartzo, 24% de caulinita, 22% de ilita e 21% berthierine. As ilitas possuem uma estrutura molecular pouco firme, não conseguindo impedir a passagem das moléculas de água, tornando-as expansivas e instáveis. Portanto, conclui-se que a mesma é responsável pelo comportamento expansivo do solo, fato este verificado nos ensaios de expansão;
- c) a densidade seca máxima média e a umidade ótima média comportaram-se como esperado, no que se refere ao aumento da energia da compactação. Isto é, houve um aumento na densidade seca máxima de 9,68% para a Energia Proctor Intermediária e de 16,78% para a Modificada, enquanto que a umidade ótima reduziu 19,53% e 28,52%, respectivamente, quando comparadas a Energia Proctor Normal;
- d) as energias Proctor Intermediária e Modificada apresentaram um ganho de 20% no valor de  $ISC_{inundado}$  médio, em relação à energia Normal. Comparando-as entre si, observa-se que a energia Proctor Intermediária é mais vantajosa no âmbito econômico que a Modificada, pois necessita conferir ao solo uma energia 112,40% inferior para obter o mesmo valor de  $ISC_{inundado}$ ;
- e) todos os resultados encontrados de  $ISC_{inundado}$  médio ficaram superiores a 2%, enquadrando-se no valor exigido pelo DNIT para o ISC do subleito;
- f) os resultados de expansão média, obtidos através da saturação dos corpos de prova, demonstraram que a elevação da energia de compactação, não apresentou os resultados esperados para a estabilização mecânica. Ao aplicar à energia Proctor Intermediária, a expansão reduziu 6,95% em relação à energia Normal, comportando-se como sugerido pela teoria. Mas ao aplicar-se a Energia Proctor Modificada, houve uma elevação de 9,35% da mesma, quando era esperada uma redução ainda maior. Este fato indica que as amostras utilizadas na moldagem dos

corpos de prova, na Energia Proctor Modificada, possuía um teor de ilita superior as demais;

g) o comportamento mecânico do solo é influenciado diretamente pela presença de ilita. Isto pode ser observado quando se obtém os valores de ISC nas diferentes energias de compactação na condição não inundada e inundada, como demonstrado no gráfico da Figura 6.

Figura 6 – Influência da saturação dos corpos de prova no valor de ISC



Fonte: Jakson Alexandre Scarmagnani.

h) quanto maior o teor de ilita presente no solo, menor será o  $ISC_{inundado}$  e maior será a expansão;

i) todos os resultados encontrados para expansão média ficaram superiores a 2%, não se enquadrando no valor exigido pelo DNIT para o subleito;

j) Caso se queira implantar um pavimento sobre o solo da Formação Palermo, estudado no presente trabalho, deverá ser feita a substituição do mesmo, numa espessura de 60 cm, independente da energia de compactação aplicada.

## 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT): **NBR 6457**: Amostras de solos - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.



- \_\_\_\_. **NBR 6459**: Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
- \_\_\_\_. **NBR-7180**: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
- \_\_\_\_. **NBR-7181**: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.
- \_\_\_\_. **NBR-7182**: Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 1986.
- \_\_\_\_. **NBR-9895**: Índice de Suporte Califórnia – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

BRESCIANI, Denise. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de um solo da Formação Palermo, estabilizado com aditivo Perma Zyme®**. 2009. 151 f. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 1998. 6. ed. 234 p. il.

DAS, Braja M. **Fundamentos da Engenharia de Geotecnia**. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 560 p. il.

GALATTO, Sérgio Luciano. **Avaliação da eficiência de coberturas secas sobre rejeito de carvão visando à prevenção da drenagem ácida de mina**. 2006. 129f. Dissertação (mestrado). Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma.

GREGÓRIO, Jaqueline. **Estabilização de um solo da Formação Palermo com aditivo PZ Solution®**. 2010. 84 f. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

MAURILIO, Liana Hoffmann. **Estabilização de um solo da Formação Palermo com cimento e Perma Zyme® para fins rodoviários**. 2009. 71 f. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

ROSTIROLLA, Rafael Casagrande. **Determinação dos parâmetros físicos e mecânicos dos solos da Formação Palermo e Rio Bonito do município de Criciúma-SC**. 2012. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma.

SANTOS, Aline Selau. **Análise das propriedades mecânicas de solos estabilizados com aditivo químico Con-Aid® para Emprego em obras de pavimentação**. 2008. 140 f. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.