

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

**PARÁMETROS RESISTENTES DE SUELOS LATERÍTICOS COMPACTADOS  
EN RELACIÓN A LA HUMEDAD ÓPTIMA Y ENERGÍA DE COMPACTACIÓN<sup>1</sup>  
RESISTANT PARAMETERS OF COMPACTED LATERITICS SOILS IN  
RELATION TO OPTIMUM HUMIDITY AND COMPACTING ENERGY**

**Drewes Mario<sup>2</sup>, Drewes Ingrid Beatriz<sup>3</sup>, Burtnik Anahí Belén<sup>4</sup>, Blech  
Santiago Raúl<sup>5</sup>, Amores María Emilia<sup>6</sup>, Pintos Nicolás Agustín<sup>7</sup>**

<sup>1</sup> Proyecto de investigación. Código 16/I145. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Argentina.

<sup>2</sup> Integrante del Proyecto, Estudiante de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>3</sup> Integrante del Proyecto, Becario de Grado, Estudiante de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>4</sup> Integrante del Proyecto, Estudiante de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>5</sup> Integrante del Proyecto, Estudiante de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>6</sup> Integrante del Proyecto, Estudiante de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>7</sup> Integrante del Proyecto, Docente Departamento de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

## **1. Introducción**

La normativa argentina no contempla la particularidad de los suelos de la región noreste del país, además de las zonas próximas en el vecino país Brasil y Paraguay, ya que estos no se encuentran en toda la extensión de la República Argentina.

Los proyectos de ingeniería requieren el empleo de suelos compactados, por lo tanto, es de interés contar con los parámetros geomecánicos, propiedades físicas y con la caracterización del mismo para poder evaluar su comportamiento ante la presencia de cargas. La experiencia en la utilización de estos suelos en obras civiles muestra un comportamiento más que adecuado, incongruente con lo definido mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), y el Highway Research Board (HRB). Por esto, surge la necesidad de generar un registro de las características y parámetros resistentes de los mismos (Bogado G. O. et al., 2017 [1]; De Salvo O. E., 1990 [2]; Drewes, I. B. et al., 2017-2018 [3], [4] y [5]). Se busca obtener tendencias para los valores de Angulo de Fricción Interna y Cohesión con respecto a las humedades óptimas y energía de compactación de los ensayos Proctor Normal y Normal Alternativa B.

En el presente trabajo se exponen los resultados de los ensayos realizados en el proyecto de investigación "Estudio del comportamiento Geo mecánico de los suelos residuales lateríticos compactados", código 16/I145.

## **2. Metodología**

Las muestras de suelo utilizadas son extraídas en campo por los integrantes del proyecto y proporcionadas por empresas externas. Para cada rutina de ensayo se realiza la caracterización y

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

clasificación de la muestra, conformada por ensayos de granulometría vía humedad (IRAM 10507 [6]), Clasificación de Suelos (IRAM 10509 "SUCS" [7]) y determinación de límites de Atterberg (IRAM 10501 [8]); la obtención de probetas del ensayo de Proctor normal y normal alternativa B (IRAM 10511 [9]), y su posterior ensayo en cámara triaxial consolidado no drenado (IRAM 10529 [10]), incluyendo el remoldeo de puntos necesarios.

Las probetas resultantes de los ensayos proctor a 70 kgcm/cm<sup>3</sup> (Normal) y 100 kgcm/cm<sup>3</sup> (Normal Alternativa B) energía de compactación se tallan y se ensayan inmediatamente después, en medida de lo posible, para no alterar su contenido de humedad.

Para obtener los valores de cohesión y ángulo de fricción interna se realiza el ensayo en cámara triaxial en condición no consolidado no drenado, con la humedad correspondiente a cada punto y no en condición saturada, ya que se busca evaluar los parámetros resistentes en relación a dichas humedades. No se utilizan tres probetas, sino una sola, sobre la cual se realiza un escalonamiento de cargas. Estas modificaciones en el ensayo se realizan buscando simular el estado que tendría la muestra en el campo, y para reducir los errores de variación de humedad que pueden presentarse cuando se realizan las probetas.

Una vez obtenidos los datos de los ensayos mencionados se analizan para así hallar los parámetros resistentes de cada muestra de suelo. Y con estos configurar curvas *c vs humedad* y *φ vs humedad*, de las cuales se obtiene un valor de cohesión y un valor del ángulo de fricción interna correspondiente a la humedad óptima de cada suelo estudiado para ambas energías de compactación.

### 3. Resultados y discusión:

Se obtuvieron pasantes de tamiz #200 superior al 50%, tratándose de suelos finos.

Tabla 1. Resultados de caracterización y clasificación.

Designación	LL [%]	LP [%]	IP [%]	Clasificación	Pasante #200 [%]
FI001	54,20	40,52	13,68	MH	94,95
FI003	53,01	35,16	17,85	MH	92,72
FI005	50,80	38,10	12,70	MH	93,81
FI006	66,16	44,08	22,08	MH	-
FI007	66,28	49,51	16,77	MH	96,59
FI008	57,33	45,76	11,57	MH	94,23
FI009	40,00	31,00	9,00	ML	56,20
FI010	49,45	35,15	14,30	ML	96,75
FI011	56,98	44,60	12,38	MH	96,72
FI012	79,15	51,91	27,24	MH	99,25
FI013	76,18	41,27	34,91	MH	99,02
FI014	47,46	35,55	11,91	ML	88,28
FI015	56,31	43,51	12,80	MH	96,25
FI016	63,06	44,22	18,84	MH	97,00
FI017	55,17	38,37	16,80	MH	96,76

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

Se realizan curvas de cada guarismo en relación a la humedad de moldeo y de estas se extrae un valor para la cohesión y ángulo de fricción interna, coincidente con la humedad óptima para cada muestra de suelo. Para realizar los gráficos se utilizaron curvas de tendencia polinómica de grado 2 (dos), debido a que estas son las que se adaptan de mejor manera al comportamiento de los guarismos.

En la siguiente tabla se emplazan los valores correspondientes a cada parámetro en función de la humedad óptima.

Tabla 2. Valores característicos obtenidos de ensayos Proctor y ensayos en camara Triaxial.

Muestra	Normal			Normal Alternativa B		
	c [KPa]	$\phi$	H.O [%]	c [KPa]	$\phi$	H.O [%]
FI001	46,00	22,00	30,50	77,00	22,80	30,00
FI003	50,00	18,60	28,40	60,00	24,60	27,40
FI005	32,00	24,70	29,40	55,00	25,50	27,50
FI006	73,00	16,70	25,30	128,00	22,00	23,80
FI007	98,90	20,40	32,70	134,00	30,00	32,00
FI008	124,00	16,40	34,50	152,00	22,30	33,00
FI009	48,00	20,20	27,00	100,00	16,90	25,00
FI010	48,00	19,50	29,00	80,00	18,30	28,00
FI011	77,00	22,60	32,50	113,00	23,10	31,50
FI012	60,00	20,30	37,00	93,00	25,00	35,00
FI013	60,00	20,00	31,50	72,00	22,30	31,00
FI014	72,00	26,00	27,50	164,00	15,30	26,00
FI015	53,00	19,80	32,00	76,00	22,30	30,50
FI016	89,00	18,00	33,00	74,00	22,50	31,23
FI017	64,00	18,80	31,70	33,00	16,30	31,80

De las 19 muestras ensayadas hasta el momento se tomaron en consideración solo 14 muestras, la muestra FI004 fue descartada a causa de que no se contaba con el material necesario para reproducir ensayos, las muestras FI002 y FI009 se descartaron porque corresponden a una clasificación distinta a las demás (puesto a que poseían un alto contenido de saprolito), y las muestras FI018 y F0019 no se tomaron en consideración debido a que no se completó la rutina de ensayo de las mismas.

Se puede ver que los valores de cohesión se encuentran entre 32,00 KPa y 134,00 KPa descartando algunos valores extremos, bajo el mismo criterio, los valores de ángulo de fricción se mantienen en el rango de 15° y 26°. Gracias a estos datos se pueden desarrollar curvas de tendencia para entender mejor el comportamiento del suelo con respecto a ambos guarismos, en relación a su respectiva humedad óptima y energía de compactación. Las cuales se muestran en las Figura N° 1 Y Figura N° 2.

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

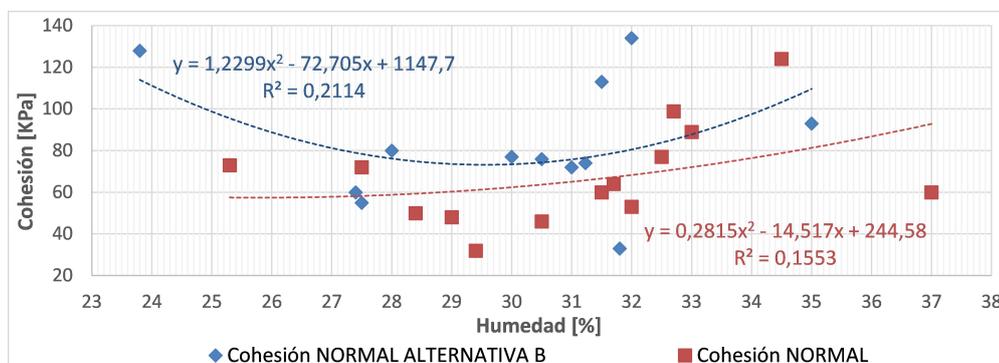


Figura 1. Graficas Comparativas Coesión vs Humedad Óptima.

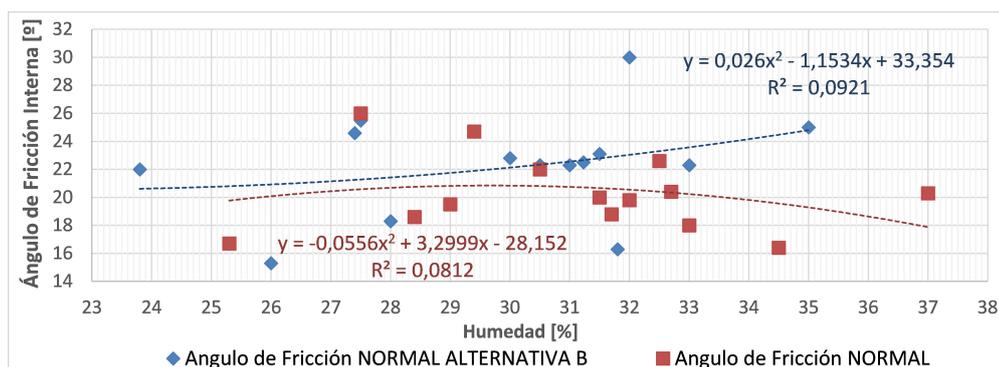


Figura 2. Graficas Comparativas Angulo de Fricción interna vs Humedad Óptima.

Respecto a los resultados obtenidos para la comparación de los parámetros resistentes en función de la humedad óptima, la cohesión crece a medida que aumenta la humedad óptima, pero si aumentamos la energía de compactación, decrece si la humedad óptima es menor a 30% y luego crece con la humedad. En cuanto al ángulo de fricción interna, existe un decremento del guarismo a medida que crece la humedad óptima, no obstante si se aumenta la energía de compactación esta tendencia presenta el comportamiento contrario. Además se observa que una mayor energía de compactación lleva a un aumento del parámetro, sin importar el contenido de humedad.

#### 4. Consideraciones Finales:

En el presente trabajo se emplazan los resultados de variación de guarismos de cohesión y ángulo de fricción interna, respecto a las humedades y a la energía de compactación utilizada, para suelos lateríticos residuales compactados, a manera de ampliar los resultados que se habían obtenido en anteriores trabajos (Drewes, I. B. et al., 2018 [5]).

Los valores de los guarismos continúan mostrando un crecimiento a medida que se aumenta la

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

energía de compactación utilizada en los ensayos proctor, sin embargo, la tendencia que se había definido anteriormente [5] para el ángulo de fricción interna, ya no es representativa. Aun al aumentar significativamente el número de muestras, la dispersión obtenida no permite establecer un comportamiento predecible de este parámetro.

Estos resultados presentan un avance en el objetivo de lograr un registro de las características de los suelos colorados. Resultan muy útiles en el ámbito práctico ya que con ellos se pueden conocer, los parámetros necesarios para definir la capacidad portante del suelo. Los cuales son indispensables para formular criterios de pre diseño.

Sin embargo, las funciones presentadas (Figuras 1 y 2) son aproximadas y, aun siendo las más representativas para los datos presentados, indican un ajuste muy bajo, por lo cual es necesario analizar un mayor número de muestras para definir de mejor manera las tendencias encontradas.

**5. Palavras Chave** - ângulo de atrito interno, coesão, Ensaio Triaxial, Ensaio de compactação.

**5. Keywords** - angle of internal friction, cohesion, Triaxial test, Compaction test.

## **6. Referencias:**

- 1 Bogado, G. O., et al. (2017). Geotechnical properties of residual soils from the North-east of Argentina. International Journal of Geotechnical Engineering, 2017.
- 2 De Salvo, O. E. (1990), El Perfil de Meteorización de las Rocas Basálticas y su Importancia en la Ingeniería de Fundaciones, Revista Técnica de las Asociaciones Paraguayas de Estructuras y Geotecnia (APE y APG), Ediciones y Arte SRL. Año 1, Nro. 1, Octubre 1990, Asunción, Paraguay.
- 3 Drewes I. B., et al. Evaluación de cohesión y ángulo de fricción en rama seca y húmeda de ensayos proctor normal. XXV Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO. Salão do Conhecimento. UNIJUI 2017.
- 3 Drewes I. B., et al. Evaluación de cohesión y ángulo de fricción interna de ensayos proctor normal. Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción 2017 de la Facultad de Ingeniería de la UNaM.
- 4 Drewes, I. B., et al. Comparación de Parámetros Resistentes de Suelos Regionales Según Energía de Compactación. Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción 2018 de la Facultad de Ingeniería de la UNaM.
- 5 Norma IRAM 10507 " Método de determinación de la granulometría por tamizado mediante vía húmeda " - 1986.
- 6 Norma IRAM 10509 "Clasificación de los suelos, con propósitos ingenieriles " - 1982.
- 7 Norma IRAM 10501 " Método de determinación del límite líquido y del límite plástico de una muestra de suelo. Índice de fluidez e índice de plasticidad " - 2007.
- 8 Norma IRAM 10511 " Método de ensayo de compactación en laboratorio " - 1972.
- 9 Norma IRAM 10529 " Método de ensayo de compresión triaxial en suelos cohesivos sobre probetas no consolidadas ni drenadas " - 1985.