

## **DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO SOLO LATERÍTICO DE CASCAVEL/PR POR MEIO DO CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA (CPD)**

Maycon André de Almeida (Centro Universitário Assis Gurgacz) E-mail: mayconalmeida@creapr.org.br  
Rodrigo Beliz de Freitas (Centro Universitário Assis Gurgacz) E-mail: rodrigobelizfreitas@gmail.com  
Vanessa Wiebbelling (Centro Universitário Assis Gurgacz) E-mail: vanessawi2@hotmail.com

**Resumo:** A previsão do comportamento de uma fundação é totalmente dependente do reconhecimento dos parâmetros do solo, que são em geral determinados através de ensaios de laboratório. O Cone de Penetração Dinâmica (CPD) é um equipamento versátil e de simples utilização, que permite determinar o índice de penetração de um cone através da queda de um martelo sobre um jogo de hastes, podendo ser utilizado para estimar parâmetros do solo, como o Índice Suporte Califórnia (I.S.C). Com base nisso, o objetivo deste trabalho foi realizar um poço de inspeção no Campo Experimental de Engenharia do Centro Univesitário Assis Gurgacz em Cascavel/PR e determinar, ao longo da profundidade, parâmetros do solo através de ensaios de campo e laboratório, correlacionando os mesmos com resultados de ensaios de penetração realizados com o equipamento de cone. Verificou-se que o CPD se apresentou como uma boa ferramenta para estimativa de índices físicos e parâmetros de resistência do solo, como ângulo de atrito e intercepto de coesão, sendo possível estabelecer equações com alto coeficiente de determinação e baixos p-valores, considerando regressões lineares simples ou duplas.

**Palavras-chave:** Caracterização Geotécnica; Cone de penetração Dinâmica; Parâmetros geotécnicos.

## **DETERMINATION OF CASCAVEL-PR LATERITIC SOIL PARAMETERS THROUGH THE DYNAMIC PENETRATION CONE (CPD)**

**Abstract:** The prediction of foundations behavior is totally dependent on the recognition of the soils parameters, which are usually determined through laboratory tests. The Dynamic Penetration Cone (CPD) is a versatile and simple-to-use device, that allows the determination of the penetration index of a cone by dropping a hammer on a set of stems, and can be used to estimate soil parameters such as California Bearing Ratio (CBR). Based on this, the objective of this work was to perform an inspection well at the Experimental Engineering Field of Assis Gurgacz University Center in Cascavel/PR and to determine, along the depth, soil parameters through field tests and laboratory, correlating them with results of penetration tests performed with the cone equipment. It was verified that CPD presented as a good tool for estimating soil index and resistance soil parameters, such as friction angle and cohesion intercept, and it was possible to establish equations with high coefficient of determination and low p-values, considering linear or double regressions.

**Keywords:** Geotechnical Characterization; Dynamic Cone Penetration; Geotechnical parameters.

### **1. Introdução**

Para a execução de obras que estejam sob influência direta do solo, como estruturas de fundações, barragens e contenções, é indispensável conhecer suas propriedades geotécnicas para que seja possível prever com segurança seu comportamento tanto em estado natural quanto em estado deformado.

Um estudo adequado do subsolo busca identificar e classificar as camadas que o compõem, para que se possa antever seu comportamento quando sujeito às cargas das estruturas, fora do estado de tensões naturais. As investigações geotécnicas são muito utilizadas nesse propósito de obter dados dos solos, e entre as mais usuais destacam-se o

Standart Penetration Test (SPT), o Cone Penetration Test (CPT), o Dilatômetro de Marchetti (DMT), dentre outras.

As investigações geotécnicas são muitas vezes relegadas em obras de pequeno porte, uma vez que seu custo significa um investimento alto com relação ao custo total da obra. Ainda que seja claramente justificável e importante para a qualidade do projeto, muitos proprietários dispensam a execução de sondagens. Nesses casos, cabe ao engenheiro estimar os índices do solo a fim de prever seu comportamento. Para esses casos, torna-se importante a elaboração de uma ferramenta mais prática e barata para a estimativa desses parâmetros, para auxiliar o trabalho dos profissionais de engenharia com uma margem de segurança maior.

Como relatado por Folque (1986), ensaios de penetração têm sido genericamente utilizados para a execução de projetos de fundações, estabilidade de taludes e outras obras geotécnicas. O uso do Cone de Penetração Dinâmica (CPD) possui a vantagem de ser um ensaio praticamente não destrutivo (semi-NDT), e que apresenta baixos valores de coeficiente de variação estatística (Cv).

O presente artigo objetiva verificar a aplicabilidade do Cone de Penetração Dinâmica (CPD) na determinação de índices físicos e parâmetros do solo do município de Cascavel / PR. Para isso, foram realizados ensaios em um poço de inspeção localizado no Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz (CEEF), ao longo de sua profundidade. O solo de Cascavel é formado pelo intemperismo do basalto, contendo uma certa quantidade de óxido de ferro, o que torna sua coloração escura, além de possuir um material espesso que facilita a retenção da água, tendo baixa permeabilidade. No geral, tem-se um solo laterítico, residual e colapsível com intemperismo atuante até grandes profundidades.

## 2. Fundamentação teórica

### 2.1. Índices Físicos

Segundo Pinto (2006), os índices físicos são proporções entre pesos e volumes das três fases que compõem um solo (partículas, água e ar) e servem para avaliar as condições em que o solo se encontra por consequência de suas determinações. Eles determinam valores que são utilizados para estimar o comportamento do solo. Os principais índices físicos dos solos são representados pelas equações da Tabela 1.

Índice Físico do Solo	Equação	Legenda
Índice de vazios (e)	$e = V_v / V_s$	$V_v$ = volume de vazios $V_s$ = volume de sólidos
Porosidade (n)	$n = V_v / V_t$	$V_v$ = volume de vazios $V_t$ = volume total
Grau de saturação (Sr)	$Sr = V_w / V_v$	$V_w$ = volume de água $V_v$ = volume de vazios
Umidade (w)	$w = P_w / P_s$	$P_s$ = peso de sólidos $P_w$ = peso da água
Peso específico aparente úmido ( $\gamma_n$ )	$\gamma_n = P_t / V_t$	$P_t$ = massa total $V_t$ = volume total
Peso específico aparente saturado ( $\gamma_{sat}$ )	$\gamma_{sat} = (\gamma_s + e \cdot \gamma_w) / (1 + e)$	$\gamma_s$ = peso específico das partículas $\gamma_w$ = peso específico da água
Peso específico aparente seco ( $\gamma_d$ )	$\gamma_d = P_s / V_s$	$P_s$ = peso de sólidos $V_s$ = volume de sólidos

Tabela 1 – Principais Índices Físicos

O índice de vazios ( $e$ ) simboliza o estado no qual se encontra o material e representa uma proporcionalidade entre o volume de vazios e volume de partículas do material. As deformações volumétricas são proporcionais à uma variação do índice de vazios. Quanto maior o índice de vazios, maior a deformação volumétrica no momento em que o material é comprimido. O grau de saturação é igual a 100% nos materiais saturados, isto é, material cujos vazios estão totalmente preenchidos pela água.

A umidade tem pouca importância nas areias, ao contrário do que ocorre com as argilas, permitindo chegar-se a uma série de conclusões quanto à suscetibilidade da variação volumétrica por expulsão da água dos vazios. A umidade é determinada em laboratório a partir da relação entre o peso de uma amostra úmida e seu peso após a secagem em estufa, a 105° C durante 24 horas.

O peso específico aparente úmido ( $\gamma_n$ ) permite calcular as pressões na massa de solo, e as argilas apresentam valores na ordem de 13 a 17 kN/m<sup>3</sup>. A massa específica dos grãos ( $\gamma_s$ ) refere-se à relação entre sua massa e o volume ocupado por eles. O valor obtido para ( $\gamma_s$ ) está frequentemente na faixa de 2,6 a 2,8 g/cm<sup>3</sup> para solos argilosos lateríticos, característicos do Paraná.

## 2.2. Cone de Penetração Dinâmica

O cone de penetração dinâmico foi desenvolvido em 1956, na Austrália, por Scala. Em 1969 foi aperfeiçoado por Van Vuue, que desenvolveu uma correlação entre o CBR (Califórnia Bearing Ratio) e o CPD (Cone de Penetração Dinâmica).

O equipamento caracteriza-se por uma ponteira cônica com inclinação de 60 graus, altura de 30 mm e diâmetro de 20 mm. A cravação no solo é feita de forma dinâmica, ou seja, pela aplicação de golpes de um peso (martelo) com massa de 8 kg que cai à uma altura de 830 mm, deslizando livremente por uma haste metálica, na qual é atarraxada a ponteira. O equipamento de CPD representado na Figura 1 é atualmente normatizado pela ASTM D-6951 (2009).

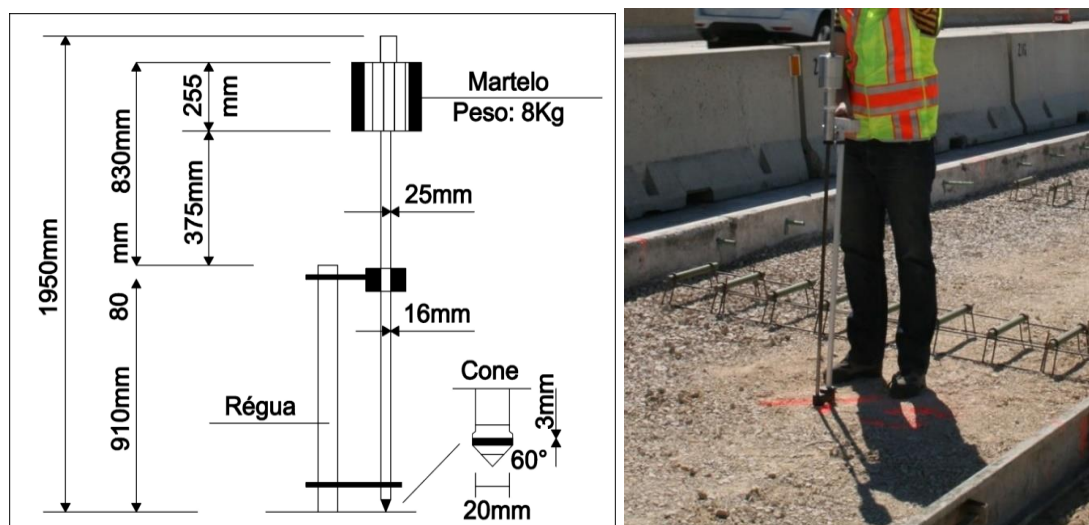


Figura 1 – Equipamento Cone de Penetração Dinâmica e sua utilização

O teste de penetração de cone dinâmico fornece uma medida de resistência in situ do

material penetrado. É apresentado por um índice em mm/golpe, obtido por meio da aplicação de 10 golpes do martelo, sendo o primeiro golpe desconsiderado, devido ao efeito dinâmico do equipamento. A penetração do cone é medida após cada golpe, e é registrada para fornecer uma medida contínua da resistência ao corte do solo.

O CPD é considerado um equipamento simples, portátil e de baixo custo, cujo ensaio revela ser praticamente não destrutivo. É um ensaio vastamente utilizado por pesquisadores e empresas do ramo da geotecnia, pois permite realizar uma grande quantidade de ensaios, obtendo-se uma melhor caracterização das camadas do solo e um baixo coeficiente de variação (ALVES, 2002). Com ele é possível determinar o perfil de resistência dessas camadas de solo, tanto compactadas quanto em estado natural, controlar a execução de obras viárias e avaliar estruturas de pavimentos (BERTI, 2005).

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Caracterização do Subsolo de Cascavel/PR

A pesquisa foi conduzida no município de Cascavel, região oeste do estado do Paraná, que possui como coordenadas geográficas: Latitude 24°56'52.5"S e Longitude 53°30'41.1"W, com uma altitude de 781 metros em relação ao nível do mar.

O solo do município é classificado quanto a sua origem como um solo residual proveniente da decomposição de rochas eruptivas (basalto), e possui comportamento laterítico (EMBRAPA, 1984). Segundo Melfi (1997), os solos lateríticos são os solos típicos da evolução em climas quentes e úmidos e invernos secos, encontrados principalmente em regiões tropicais.

A caracterização do solo do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz (CEEF) foi realizada por Zen e Almeida (2018). Segundo os autores, a classificação do solo, conforme especificado na ABNT NBR 7181 (2016) e de acordo com as curvas granulométricas determinadas metro a metro, apresenta cerca de 90% de partículas finas, sendo classificado como uma argila silto arenosa. Os autores realizaram ainda três ensaios de sondagem a percussão do tipo Standard Penetration Test (SPT) no CEEF, a fim de verificar o índice de resistência à penetração do amostrador padrão (N) no solo ao longo da profundidade. Na Figura 2 são apresentados os resultados dos ensaios SPT realizados, nos quais constatou-se uma variação do nível d'água entre as profundidades de 12 e 15 m.

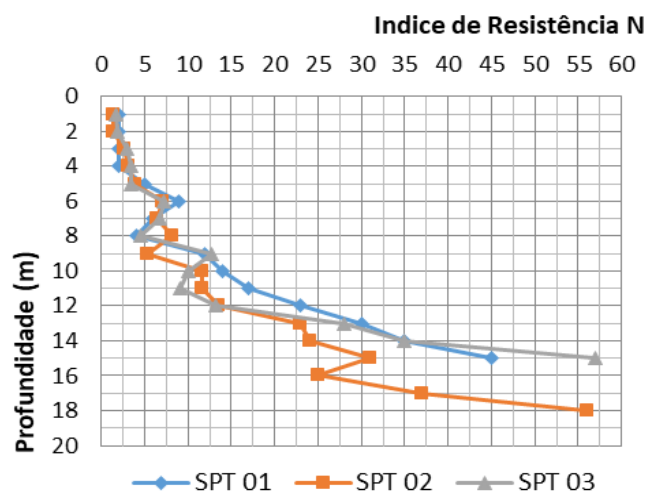


Figura 2 - Índices de resistência a penetração do amostrador padrão, ao longo da profundidade, para 3 furos SPT realizados no CEEF

Observando a evolução do  $N_{SPT}$  com a profundidade e, concomitantemente, utilizando a classificação quanto à consistência da ABNT NBR 6484 (2001), pode-se sugerir que, no geral, o subsolo do CEEF é constituído por duas camadas de solo distintas, até a profundidade amostrada. A primeira sendo composta por argila siltosa, porosa, marrom avermelhada, de consistência muito mole à média, até a profundidade de 9,0 m e, finalmente, em profundidades superiores a 9,0 m, uma argila silto arenosa, residual, de coloração marrom claro e consistência rija a dura, podendo apresentar nas cotas próximas ao lençol freático pigmentação esbranquiçada na estrutura do solo, provavelmente devido à presença de minerais na água.

Como resultado dos ensaios de caracterização, Zen e Almeida (2018) apresentaram a média dos principais índices físicos das camadas do CEEF, como demonstra a Tabela 2. Em relação ao sistema unificado (SUCS), classificaram o solo como argiloso muito compressível (CH). Já no sistema rodoviário (T.R.B), foi identificado como A-7-6, correspondendo a uma argila siltosa medianamente plástica, classificada como regular a mau para utilização como subleito.

Índice Físico	CAMADA 1 1 a 9 metros	CAMADA 2 10 a 15 metros
w (%)	34	53
LL (%)	53	59
LP (%)	38	42
IP (%)	15	17
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	12	12
$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	27	27
$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	17	16
Sr (%)	55	60
Argila (%)	70	56
Silte (%)	25	35
Areia (%)	5	9
Consistência	Muito mole a média	Rija a dura
Índice de vazios (e)	1,22	1,55

Tabela 2 - Resumo dos índices físicos médios das camadas de solo do CEEF

Utilizando ensaios de compressão triaxial com amostras indeformadas, Almeida e Oliveira (2018) determinaram interceptos coesivos e ângulo de atrito ( $\phi$ ) das amostras indeformadas do mesmo campo experimental, metro a metro, conforme Tabela 3.

Cota	Intercepto Coesivo (c)	Ângulo de Atrito ( $\phi$ )
1m	2 kPa	14,2°
2m	2 kPa	15,5°
3m	13 kPa	17,4°
4m	12 kPa	16,4°
5m	22 kPa	14,1°
6m	56 kPa	13,4°
7m	17 kPa	19,2°
8m	12 kPa	26,2°
9m	31 kPa	26,2°
10m	49 kPa	24,8°
11m	24 kPa	30,4°

12m	27 kPa	22,5°
13m	64 kPa	19,7°
14m	32 kPa	26,4°

Tabela 3 - Parâmetros de resistência ao cisalhamento para o subsolo do CEEF.

### 3.2. Realização de ensaios CPD

Para a realização dos ensaios, foi escavado um poço de inspeção com 1 metro de diâmetro. A cada metro de profundidade, foram coletadas 3 amostras de solo indeformadas com 54 mm de diâmetro por 51 mm de altura, resultando amostras com volume de 116,81 cm<sup>3</sup>. As amostras foram coletadas antes que o operador iniciasse os ensaios com o CPD, afim de evitar perturbações nas regiões dos ensaios, sendo uma amostra retirada no centro do poço de inspeção e as demais nas regiões periféricas.

Após a coleta das amostras, foram realizados 5 ensaios CPD na periferia do poço, à cada metro, com a execução de 10 golpes do martelo e sempre desconsiderando o primeiro golpe. Com isso obteve-se a medida do índice de resistência à penetração em mm/golpe. A Figura 3 apresenta uma amostra indeformada coletada com o amostrador de parede fina, além do equipamento posicionado para o ensaio do segundo metro de profundidade.



Figura 3 – Amostra indeformada coletada e ensaio CPD sendo realizado em profundidade

## 4. Resultados Obtidos

### 4.1. Índices Físicos determinados no CEEF

Através das amostras indeformadas coletadas no poço de inspeção, foi possível determinar em laboratório os principais índices físicos do solo: peso específico natural ( $\gamma_n$ ) e teor de umidade ( $w$ ). A massa específica natural foi determinada pela relação entre a massa total e o volume total do cilindro cortante. Já a umidade das amostras foi determinada pelo ensaio em estufa, onde permaneceram por um período de 24 horas à uma temperatura de 105°C.

Com estes dados e a massa específica das partículas ( $\gamma_s$ ) de 2,70 g/cm<sup>3</sup>, determinada por Zen e Almeida (2018), foi possível determinar o índice de vazios ( $e$ ) e o peso específico seco ( $\gamma_d$ ), para cada metro de profundidade do poço de inspeção. Na Tabela 4 são

apresentados os principais índices físicos determinados e o índice de penetração do CPD, metro a metro.

Prof. (m)	w (%)	$\gamma_{nat}$ (g/cm <sup>3</sup> )	e	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	CPD (mm/golpe)
1	48	2,03	0,97	1,35	39,33
2	53	1,82	1,01	1,26	37,56
3	53	1,82	1,25	1,20	38,11
4	51	1,58	1,57	1,14	28,89
5	46	1,90	1,06	1,24	26,11
6	45	1,68	1,32	1,18	25,44
7	43	1,96	0,97	1,20	25,88
8	44	1,94	1,00	1,33	18,18
9	41	1,81	1,11	1,26	14,44
10	48	1,91	1,11	1,28	21,78
11	52	1,87	1,19	1,21	17,00
12	51	1,62	1,52	1,11	17,22
13	52	1,86	1,21	1,20	15,44
14	57	1,79	1,37	1,20	18,56
15	54	1,88	1,19	1,22	18,89

Tabela 4 - Índices determinados através dos ensaios

#### 4.2. Correlações determinadas pelo índice CPD

Com os índices físicos do solo e os índices de penetração do CPD determinados metro a metro, foram realizadas regressões lineares simples e duplas (envolvendo uma ou duas variáveis para a determinação do índice de interesse). Na sequência foram analisados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e o *p-valor*.

O *p-valor* e o coeficiente de determinação  $R^2$  são valores estatísticos e trabalham juntos, indicando numericamente se a correlação pode ser considerada forte ou fraca. O valor-*p* é definido como a probabilidade de se observar um valor da estatística de teste maior ou igual ao encontrado. Conforme Ferreira e Patino (2015), valores de *p-valor* inferiores a 0,05 indicam que (quando não há alguma diferença), um valor tão extremo para a estatística de teste é esperado em menos de 5% das vezes. Os valores de *p-valor* inferiores a 0,05 e coeficiente de determinação  $R^2$  superiores a 0,5 indicam correlações fortes.

Para o presente artigo foram analisadas regressões lineares para determinar a massa específica seca ( $\gamma_d$ ), o índice de vazios (e), o intercepto coesivo (c) e o ângulo de atrito ( $\phi$ ). Em alguns casos foram realizadas regressões lineares duplas, utilizando para isso a massa específica natural ( $\gamma_n$ ) ou o teor de umidade (w) como segunda variável, pois são índices facilmente determinados em campo ou laboratório através do método do cilindro cortante ou pelo ensaio de estufa/frigideira. Tal análise foi necessária a fim de melhorar as correlações em alguns casos.

4.2.1 Peso Específico seco ( $\gamma_d$ )

Através da regressão linear foi determinada a Equação 1 que representa a correlação entre a massa específica seca ( $\gamma_d$ ), determinada ao longo da profundidade, e o índice de penetração médio do CPD, realizado metro a metro.

$$\gamma_d = 1,21 + 0,00085.CPD \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

Na Figura 4 são apresentadas as curvas com os valores reais de massa específica seca, determinadas através de ensaios de laboratório, e da regressão linear obtida através dos dados de CPD (Equação 1). Os valores do *p*-valor e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtidos para a equação foram de 0,80 e de 0,005, respectivamente, indicando que a regressão resultante é insatisfatória para a determinação do índice com segurança.

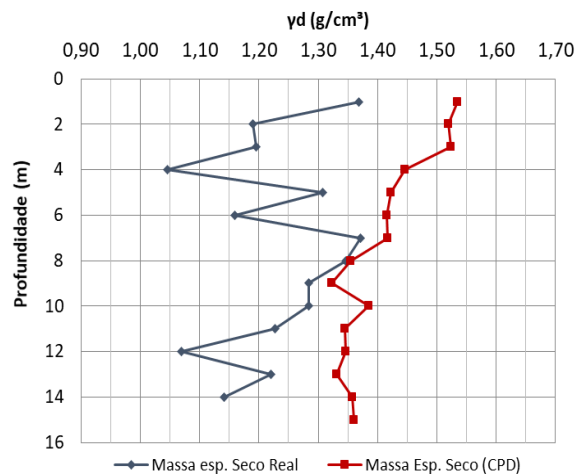


Figura 4 – Relação entre valores reais e determinados por regressão linear simples com CPD

Em vista da baixa confiabilidade da equação determinada, foram desenvolvidas duas regressões lineares duplas, ou seja, correlacionando os valores do CPD com a massa específica seca, juntamente com os valores de massa específica natural (Equação 2) ou teor de umidade (Equação 3), na busca por uma correlação mais confiável. Os resultados podem ser verificados na Figura 5.

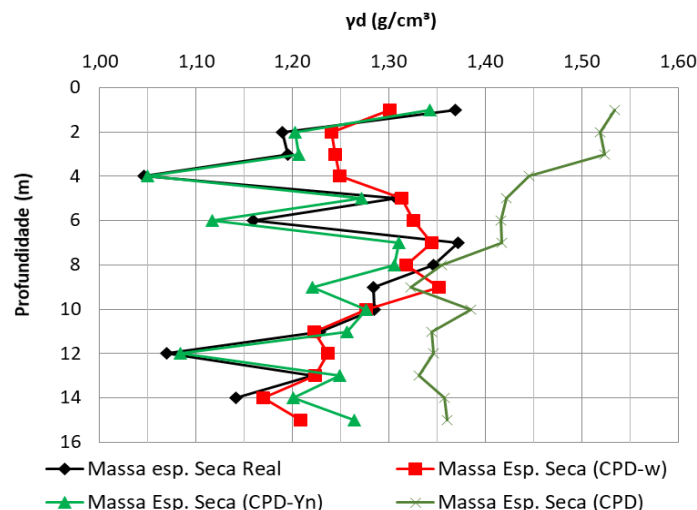




Figura 5 – Resultado das regressões lineares duplas para determinação da  $\gamma_d$

As Equações 2 e 3 geradas pelas regressões lineares duplas dependem de mais de uma variável. A Equação 2, que utiliza os variáveis CPD e massa específica natural ( $\gamma_n$ ) apresentou valores *p-valor* e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de  $4,46.10^{-6}$  e 0,82, respectivamente. Já a Equação 3, que utiliza as variáveis CPD e teor de umidade (*w*), apresentou valores de 0,08 e 0,25, respectivamente, para o *p-valor* e para o coeficiente  $R^2$ . Analisando os resultados é possível verificar que a Equação 2 apresenta boa aplicabilidade e é uma correlação muito forte, principalmente em função da massa específica natural que apresenta relação direta com a massa específica seca, como pode ser visto nos coeficientes de baixo valor relacionados ao CPD.

$$\gamma_d = 0,68. \gamma_{nat} - 0,0009. CPD \text{ (g/cm}^3\text{)} \tag{2}$$

$$\gamma_d = 1,83 - 0,0008.CPD - 0,0012.w \text{ (g/cm}^3\text{)} \tag{3}$$

#### 4.2.2 Índice de vazios (e)

Os valores para o índice de vazios (*e*) determinados foram posteriormente correlacionados com os valores de CPD através de uma regressão linear, no software Excel, para a estimativa dos valores de índice de vazios.

Através das regressões lineares simples e duplas realizadas, relacionando o índice de vazios determinado ao longo da profundidade com o índice de penetração médio do CPD também obtido metro a metro, combinado com a massa específica natural ou a umidade determinados, obteve-se os resultados apresentados na Figura 6.

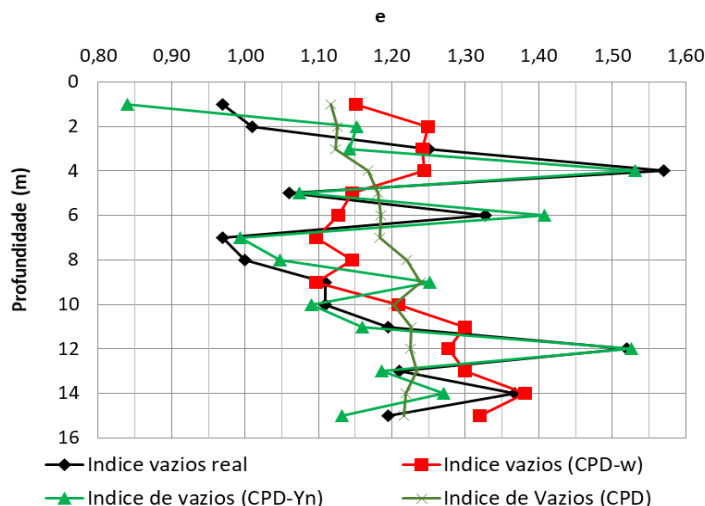


Figura 6 – Resultado das regressões determinadas para determinação do índice de vazios

Os melhores valores de *p-valor* e  $R^2$  foram determinados para a regressão linear dupla considerando o índice CPD e a massa específica natural (Equação 4), sendo eles  $6,65 \times 10^{-5}$  e 0,80, respectivamente. Já para a regressão simples utilizando apenas dados do CPD (Equação 5), apesar de não obter uma satisfatória correlação (com *p-valor* de

0,434 e coeficiente de determinação de 0,0477), apresentaram valores médios semelhantes aos reais do solo, conforme visualizado na Figura 6.

$$e = 3,94 - 0,004.CPD - 1,45. \gamma_{nat} \tag{4}$$

$$e = 1,31 - 0,005.CPD \tag{5}$$

### 4.2.3 Intercepto coesivo (c)

Correlacionou-se os dados de intercepto coesivo (c), obtidos através de ensaios triaxiais adensado não drenados realizados por Almeida e Oliveira (2018), com os valores de penetração do CPD encontrados nos ensaios. Após tentativas de regressões simples e duplas (utilizando o índice CPD com  $\gamma_n$  ou w), a Equação 6 foi a que apresentou menor dispersão e melhores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e *p-valor*, sendo ela uma correlação simples, que correlaciona os valores de intercepto coesivo diretamente com os valores do índice de penetração do CPD, em mm/golpe.

$$c = 56,61 - 1,23.CPD \text{ (kPa)} \tag{6}$$

Os valores de *p-valor* e  $R^2$  encontrados foram de 0,06 e de 0,20, respectivamente. A regressão linear simples apresentou boa relação entre variáveis se analisado o *p-valor*, porém para o valor do coeficiente de determinação observa-se que a correlação entre variáveis é fraca, apesar dos valores determinados serem bem próximos dos reais, como se observa na Figura 7.

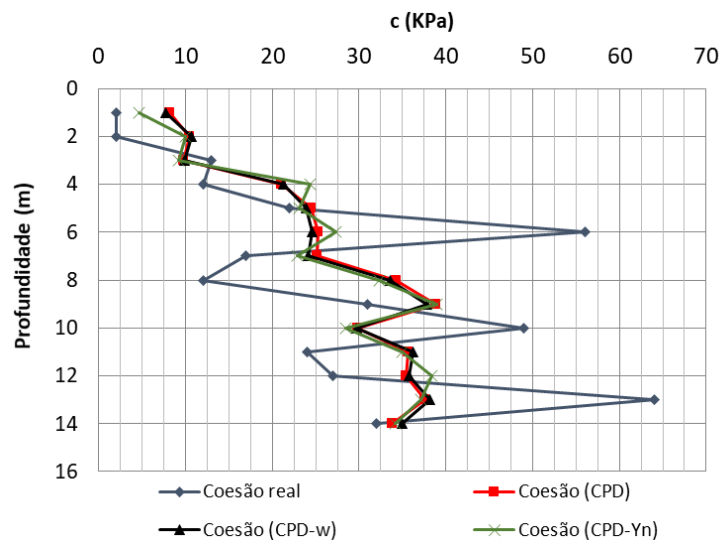


Figura 7 – Resultados das regressões lineares com o intercepto coesivo

### 4.2.4 Ângulo de atrito ( $\phi$ )

O ângulo de atrito foi o parâmetro que apresentou a melhor regressão linear e os índices estatísticos mais confiáveis, considerando o *p-valor* e o  $R^2$ . Após tentativas de regressões simples e duplas ( $\gamma_n$  e w), a regressão linear simples, apresentada na Equação 7, foi a que apresentou menor dispersão e melhores coeficientes de determinação (0,53) e *p-valor* (0,003), sendo uma correlação forte.

$$\phi = 32,11 - 0,48.CPD \quad (7)$$

É possível observar-se na Figura 9 a aplicabilidade da Equação 6 em comparação com os valores reais determinados por Almeida e Oliveira (2018), através de ensaios triaxiais não drenados com amostras indeformadas do CEEF.

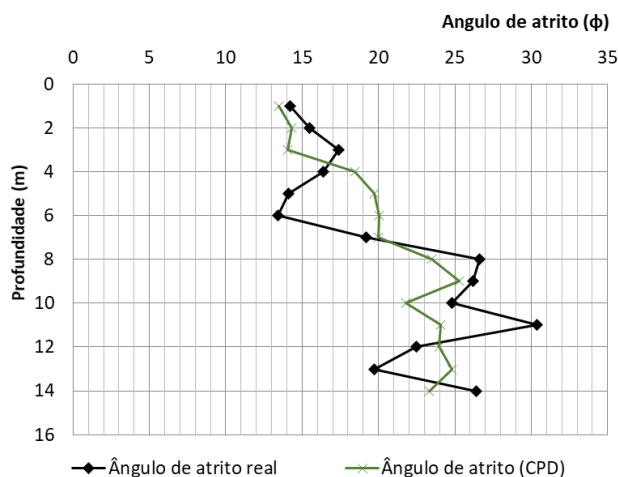


Figura 9 – Resultado da regressão linear simples para determinação do ângulo de atrito

## 5. Considerações finais

Pretendeu-se com o presente artigo verificar o potencial do Cone de Penetração Dinâmica (CPD) para a determinação de índices físicos e parâmetros geotécnicos do solo do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz (CEEF). Trata-se de parâmetros que são de extrema importância para dimensionamentos e verificações de segurança em obras geotécnicas, obtidos através de correlações com dados reais obtidos em campo.

Foram utilizadas regressões simples e duplas (com uma ou duas variáveis) afim de obter-se melhores coeficientes de determinação e *p*-valor para cada caso. Valores de *p*-valor inferiores a 0,05 e coeficientes de determinação  $R^2$  superiores a 0,5 indicam correlações fortes, conforme apontado por Ferreira e Patino (2015).

Os parâmetros avaliados foram: intercepto coesivo (*c*), ângulo de atrito ( $\phi$ ), índice de vazios (*e*) e massa específica seca ( $\gamma_d$ ). Tais índices são de extrema importância para dimensionamentos e avaliações de segurança de obras geotécnicas, como controle de compactação, análise de estabilidade de barragens e contenções, entre outras.

Com exceção do intercepto coesivo (*c*), para todos os demais parâmetros foi possível estabelecer uma correlação forte com os dados oriundos do ensaio CPD. Isso significa que apresentaram grandes coeficientes de determinação  $R^2$  e baixos índices *p*-valor. As melhores correlações envolvendo a massa específica seca e o índice de vazios foram regressões duplas, utilizando dados da massa específica natural e do CPD. Já para determinação do ângulo de atrito, a regressão linear simples já foi suficiente para estabelecer uma relação forte entre as variáveis. Para o intercepto de coesão as três regressões determinadas apresentaram coeficientes  $R^2$  e *p*-valor insatisfatórios e muito próximos entre si. Porém foi possível verificar que mesmo com a alta dispersão de

resultados, os valores médios determinados encontram-se dentro da faixa média de valores obtidos em laboratório.

Desta forma, conclui-se que o Cone de Penetração Dinâmica é uma ótima ferramenta para determinação de índices físicos e parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo residual e laterítico de Cascavel/PR. Cabe lembrar que tais correlações devem servir como uma ferramenta complementar de análise para auxiliar no caso de pré-dimensionamentos, não sendo recomendada, portanto, a substituição de ensaios de laboratório, que proporcionam dados reais e com maior exatidão.

### **Referências**

\_\_\_\_\_. **NBR 6484**. *Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio*. Rio de Janeiro. 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181**. *Análise Granulométrica*. Rio de Janeiro. 2016.

\_\_\_\_\_. **ASTM D-6951**: *Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications*. West Conshohocken, PA, USA, 7p. 2009 (Reapproved 2015).

**ALMEIDA, M. A. & OLIVEIRA, R. M. M.** *Estimativa do Ângulo de Atrito e Coesão Através de Índices de Resistência Obtidos pela Sondagem Spt em Solo Laterítico e Colapsível Característico da Cidade de Cascavel no Estado do Paraná*. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG). Salvador/BA. 2018.

**ALVES, A. B.C.** *Avaliação da Capacidade de Suporte e Controle Tecnológico de Execução da Camada Final de Terraplenagem utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone*. 171f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

**BERTI, C. & PAIVA, C. E. L.** *Correlações entre índices de penetração DCP e CBR disponíveis na literatura*. V Jornadas Luso-brasileiras de pavimentos: políticas e tecnologias. Trabalho v-031, Recife (PE), julho. 2006.

**EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.** *Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná*. Londrina, 1984.

**FERREIRA, J. C. & PATINO, C. M.** *O que realmente significa o valor-p?*. Educação Continuada: Metodologia Científica. Jornal Brasileiro Pneumologia. p. 485. 2015.

**FOLQUE, J. B.** *Investigação em Mecânica dos solos*. 1986.

**MELFI, A. J.** *Lateritas e Processos de Laterização* (Aula Inaugural de 655 1994). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos. USP. 1997.

**PINTO, C. S.** (2006). *Curso básico de mecânica dos solos*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2006.

**ZEN, B. A. B. & ALMEIDA, M. A.** *Implantação e Caracterização Geotécnica do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz em Cascavel/Pr*. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG). Salvador/BA. 2018.